UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Instituto de Biociências
Programa de Pós-Graduação em Ecologia

# Influência da Iluminação Artificial sobre a Vida Silvestre:
## técnicas para minimizar os impactos, com especial enfoque sobre os insetos

Cópia revisada

Alessandro Barghini

São Paulo
2008

Alessandro Barghini

# Influência da Iluminação Artificial sobre a Vida Silvestre:
## técnicas para minimizar os impactos, com especial enfoque sobre os insetos

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia no Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, para a obtenção de Título de Doutor em Ciências, na Área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos.

Orientador: Prof. Dr. Walter Alves Neves

São Paulo

2008

Autorizo a reprodução total ou parcial deste trabalho por qualquer meio tradicional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha Catalográfica

Barghini, Alessandro.
[Influência da Iluminação Artificial sobre a Vida Silvestre: técnicas para minimizar os impactos, com especial enfoque sobre os insetos/ Alessandro Barghini; orientador: Prof. Dr. Walter Alves Neves – São Paulo, 2005]
242 p. : Il.; 30 cm.

Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Ecologia.

1. Poluição Luminosa 2. Insetos 3. Iluminação Pública 4. Meio Ambiente I. Universidade de São Paulo. Instituto de Biociências. Departamento de Ecologia.

Comissão Julgadora

Orientador: Prof. Dr. Walter Alves Neves

*Daß ich nicht mehr mit saurem Schweiß*
*Zu sagen brauche, was ich nicht weiß;*
*Daß ich erkenne, was die Welt*
*Im Innersten zusammenhält,*
*Schau alle Wirkenskraft und Samen,*
*Und tu nicht mehr in Worten kramen.*[1]
Goethe, **Faust** 380-395

[1] P'ra que eu não deva, ôco e sonoro,/ Viver dizendo aquillo que ignoro,/ P'ra que perceba o que a este mundo/ liga em seu âmago profundo,/ os germes veja e as vivas bases,/ e não remexa mais em phrases. Goethe, W (s.d.), tradução de Jenny Klabin Segall.

# AGRADECIMENTOS

Dificilmente um trabalho como este poderia ter sido realizado fora de um ambiente universitário rico e diversificado como a Universidade de São Paulo. O principal receio em tentar agradecer os que participaram da execução do trabalho, é o de esquecer alguém, tantas foram as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a sua execução.

Um especial agradecimento vai ao meu orientador, o prof. Dr. Walter Neves, que com coragem incentivou a execução de um trabalho desta complexidade e, com seu gesto, depositou confiança na minha capacidade de destrinchar uma problemática tão ampla. Sua ajuda na estruturação do trabalho num formato acadêmico foi preciosa.

A execução do trabalho só foi possível graças à colaboração de outras instituições que compõem a USP. Os professores Delcio Natal e Paulo Urbinatti, da Faculdade de Saúde Pública, foram os primeiros a fornecer suporte prático, colocando à disposição as armadilhas New Jersey e a identificação de culicídeos no nível de espécie, em uma pesquisa realizada para estudar a resposta de culicídeos a lâmpadas incandescentes e fluorescentes, resultando na redação de um artigo em colaboração. O professor Geraldo Burani, na qualidade de Diretor do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP, ofereceu suporte da oficina para realização das armadilhas e permitiu utilizar os laboratórios de fotometria para realização dos testes. A física Cleide Gulveia, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas realizou os testes das lâmpadas e dos materiais de proteção das luminárias. O prof. Wanderley Messias da Costa, Prefeito da Cidade Universitária, autorizou o uso da região do viveiro de mudas para a realização dos testes. Finalmente o prof. Sergio Vanin deu preciosas sugestões e hospedou no Laboratório de Entomologia e de Aracnologia do Instituto de Biociências, os trabalhos de identificação das espécies de insetos coletadas, divididas em grandes grupos taxonômicos. No trabalho de coleta e de separação das amostras encontrei um dedicado colaborador no estudante de graduação Bruno de Medeiro, com o qual compartilhei as dificuldades e os prazeres da pesquisa experimental.

Não posso terminar os agradecimentos sem lembrar duas pessoas de fora do Campus. O primeiro, o astrônomo Mario G. Fracastoro[2], que nos anos de 1970 era diretor do observatório astronômico de Turim e na ocasião queria doar um telescópio ao Brasil para realizar intercâmbio de imagens do Hemisfério Sul com a Itália. Juntos realizamos algumas viagens ao interior do Estado de São Paulo, procurando um lugar, longe da poluição luminosa das cidades, para instalação do observatório. Foi a primeira vez que ouvi falar de poluição luminosa e hoje, 30 anos depois, algumas das nossas conversas ainda me tornam à mente. Com esse trabalho pago um tributo tardio à sua memória. O segundo, o Professor Carlo Barghini, meu irmão, com o qual, nos últimos cinqüenta anos, venho discutindo problemas de gnosiologia e de filosofia. Curiosamente, o estudo das ciências biológicas conferiu um novo significado às antigas teorias filosóficas que, em um período de minha vida, me pareceram inúteis.

São Paulo janeiro 2007.

[2] A International Astronomical Union quis honrar a memória de Mario G. Fracastoro dando seu nome ao asteróide n 3625 cfr http://cfa-www.harvard.edu/iau/lists/MPNames.html, consulta 11/10/2007.

# RESUMO

O impacto da poluição luminosa sobre o homem e o meio ambiente é fonte de preocupação crescente por parte dos ambientalistas. Ao mesmo tempo a população demanda quantidades crescentes de iluminação artificial para aumentar a segurança e o conforto.

Com a finalidade de satisfazer a necessidade humana de iluminação com equipamentos de impacto mínimo sobre o ecossistema, realizamos o teste de diferentes equipamentos comerciais de iluminação com diferentes lâmpadas e utilizando filtros seletivos de comprimento de onda da radiação. A hipótese básica do experimento é que o homem e os insetos apresentam sensibilidade visual diferente por comprimento de onda e que a atração da iluminação artificial sobre os insetos não representa um fototropismo. Os insetos utilizam a radiação artificial como baliza. Na verdade, utilizam o contraste entre radiação de onda curta (UV e violeta) e onda média (azul e verde) para identificar o espaço no qual voar. Selecionando os comprimentos de ondas da iluminação artificial é, portanto, possível minimizar a atração.

Durante dois anos foi realizada uma campanha de coleta de insetos utilizando armadilhas luminosas. Quatro tipos de sistema de iluminação foram comparados: lâmpada vapor de mercúrio a alta pressão (Hg); lâmpada a vapor de sódio a alta pressão (Na) sem e com filtro (Hg_f; Na_f) e uma armadilha sem lâmpada. Os resultados do experimento mostram que a armadilha Hg atraiu em média 70 insetos; a armadilha Na 45; a armadilha Hg_f 23 e a armadilha Na_f 16, contra apenas 8 no testemunho.

Os resultados confirmam amplamente as hipóteses básicas e oferece um poderoso instrumento para a elaboração de sistemas de iluminação de impacto no que tange os insetos.

# ABSTRACT

The impact of light pollution on man and on the ecosystem is a rising concern among ecologists however, in the same time the human population is demanding more lighting for safety and comfort.

In order to satisfy human lighting needs with a minimum impact on the ecosystem, manly on insects, we tested commercial equipments using different types of lights and using selective wavelength filters. The hypothesis underlying the experiment was that humans and insects have a different visual sensibility for wavelength, but insect attraction for lighting is not just a phototropism. Insects use artificial lighting as a landmark for navigation and contrast between short wave (UV and blue) and medium wave (green) radiation is used to screen the space. Selecting wavelength emission of the lighting systems could be possible to minimize insect attraction.

In a two years long campaign we undertook insect collection tests using insect traps. We compared four lighting systems: high-pressure mercury bulb (Hg), high-pressure sodium bulb(Na) without and with UV filter (Hg_f; Na_f) and a lighting fixture with an insect trap without bulb as a control. The results of the test have shown that **Hg** lamp attracted an average of 70 insects by night, **Na** lamp 45, **Hg_f** 23, **Na_f** 16 ad **Test** lamp 8.

The result confirm the proposed hypothesis and can be used in the elaboration of minimum impact lighting fixtures

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figuras

**Figura 2.1.1.** *Representação esquemática do sol* 12

**Figura 2.1.2.** *Efeito da atmosfera terrestre sobre a radiação solar* 13

**Figura 2.1.3.** *A janela da vida e da visão na radiação eletromagnética* 14

**Figura 2.1.4.** *A utilização dos comprimentos de onda na biosfera* 20

**Figura 2.1.5.** *Resposta de diferentes componentes da vida ao comprimento de onda da radiação eletromagnética* 21

**Figura 2.1.6.** *Plano da polarização da radiação violeta e ultravioleta em relação à posição do so.* 23

**Figura 2.2.1.** *Distribuição por comprimento de onda da energia radiante de um corpo negro entre 500 e 20.000 K* 26

**Figura 2.2.2.** *Características da energia radiante de um filamento de tungstênio* 28

**Figura 2.2.3.** *Excitação e emissão espontânea de radiação por parte de um átomo, princípio no qual são baseadas as lâmpadas de descarg.* 30

**Figura 2.2.4** *Diagrama grotriano dos estados do mercúri.* 31

**Figura 2.2.5.** *Energia radiante por comprimento de onda de uma lâmpada a vapor de mercúrio a alta pressão (400 W) comparada com a curva da sensibilidade espectral fotópica do olho humano* 32

**Figura 2.2.6.** *Diagrama grotriano dos estados do sódio.* 33

**Figura 2.2.7.** *Energia radiante por comprimento de onda de uma lâmpada a vapor de sódio a alta pressão (SON 400 W) comparada com a curva da sensibilidade fotópica espectral do olho humano* 35

**Figura 2.2.8.** *Distribuição típica da energia em uma lâmpada fluorescente* 38

**Figura 2.2.9.** *Energia radiante espectral de lâmpadas fluorescentes comerciais de diferentes temperaturas de cor* 39

**Figura 2.2.10.** *Energia radiante espectral de lâmpadas fluorescentes comerciais de diferentes temperaturas de cor* 40

**Figura 2.2.11.** *Representação gráfica do conteúdo de radiação UV em diferentes* 45

*modelos de lâmpadas comerciais. O modelo da lâmpada segue as especificações da Tabela 2.2. II.*

**Figura 2.2.12.** *Filtros UVA resistentes à temperatura.* 47

**Figura 2.2.13.** *Filtros de UVA a baixa temperatura.* 48

**Figura 2.3.1.** *Acanthobrahmaea europaea; "Psique do freixo"* 50

**Figura 2.3.2** *Evolução da geração de iluminação artificial na Inglaterra entre 1700 e 2000, por fonte de energia* 57

**Figura 2.3.3** *Evolução do custo da geração de iluminação artificial na Inglaterra entre 1700 e 2000* 57

**Figura 2.4.1.** *Efeito Purkinje Deslocamento do pico da sensibilidade em direção da radiação ultravioleta no processo de acomodamento do olho ao escuro* 64

**Figura 2.4.2** *Sensibilidade escotópica do olho acomodado ao escuro em duas espécies de sapos (0) e no homem* 66

**Figura 2.5.1** *Transformação do 11 transretinol a cistransretinol que permite a recepção visual.* 83

**Figura 2.5.2.** *Sensibilidade das opsinas de diferentes espécies* 85

**Figura 2.5.3** *A visão bicrômica* 87

**Figura 2.5. 4.** *Visão tri-crômica humana, CIE 1931* 88

**Figura 2.5.5.** *Diagrama bidimensional do espaço cromático CIE 193 com as variáveis XY, fixada à variável Z* 89

**Figura 2.5.6.** *Representação das três características da visão a matiz a saturação e a luminância ou brilho* 90

**Figura 2.5.7.** *Decomposição de uma imagem colorida A, in matiz B e luminância, C.* 92

**Figura 2.5.8.** *Taraxacum vulgare (Asteraceae)* 94

**Figura 2.5.9.** *O olho dos insetos* 95

**Figura 2.5.10.** *As diferentes configurações dos olhos dos insetos* 96

**Figura 2.5.11.** *Sensibilidade espectral do olho dos insetos com três rodopsinas* 98

**Figura 2.5.12.** *Sensibilidade cromática do homem* 98

**Figura 2.5.13.** *Arvore filogenética hipotética das opsinas dos vertebrados e dos artrópodes* 102

**Figura 2.7.1.** *Curva espectral da reação da melanopsina* 120

**Figura 2.7.2.** *Vista diurna de Paineiras em Flor* 127

**Figura 2.7.3.** *Vista noturna de Paineiras em Flor* 127

**Figura 2.7.4** *Espectro da lâmpada a vapor de sódio a alta pressão* 128

**Figura 2.7.5.** *Espectro da lâmpada a vapor de mercúrio* 128

**Figura 2.7.6.**. *Curva de absorbância por comprimento de onda dos fitocromos da Arabidopsis thaliana* 129

**Figura 3.1.** *Foto diurna do campo de coletas* 136

**Figura 3.2.** *Foto noturna do campo de coleta* 136

**Figura 3.3.** *Armadilha instalada nas luminárias* 138

**Figura 3.4.** *Espectro da lâmpada a vapor de sódio a alta pressão* 140

**Figura 3.5**. *Espectro da lâmpada a vapor de mercúrio* 140

**Figura 3.6.** *Representação gráfica da difusão da radiação e modelos de luminárias não cutoff e total cutoff* 141

**Figura 3.7.** *Transmitância por comprimento de onda de uma chapa de vidro comum* 143

**Figura 3.8.** *Transmitância por comprimento de onda de uma chapa de vidro de borossilicato* 144

**Figura 3.9.** *Transmitância por comprimento de onda de uma chapa de acrílico de 2 de mm de espessura* 144

**Figura 3.10.** *Transmitância por comprimento de onda de uma chapa de policarbonato de 2mm* 145

**Figura 3.11.** *Fotografia de um vidro temperado em um goniômetro polarizador* 147

**Figura 3.12.** *Duas fotografias em um goniômetro polarizador de uma amostra de policarbonato laminado de 2 mm de espessura com variação do plano de polarização de 90º.* 148

**Figura 3.13.** *Policarbonato moldado em abóbada* 149

**Figura 4.1.** *Primeira campanha: número de insetos coletados versus temperatura e fase da lua* 153

**Figura 4.2.** *Primeira campanha, número médio e desvio de indivíduos coletados por noite* 154

**Figura 4.3.** *Segunda campanha, média de indivíduos coletados por tipo de preparo* 155

**Figura 4.4.** *Média de indivíduos coletados por tipo de preparo nas duas campanhas* 156

*de coleta*

**Figura 4.5.** *Número de indivíduos por grupo taxonômico coletados na lâmpada a vapor de mercúrio* 157

**Figura 4.6**. *Número de indivíduos por grupo taxonômico coletados na lâmpada a vapor de sódio a alta pressão.* 158

**Figura 4.7**. *Número de indivíduos por grupo taxonômico coletados na lâmpada a vapor de sódio a alta pressão com filtro de ultravioleta* 158

**Figura 4.8**. *Número de indivíduos por grupo taxonômico coletados no testemunho (luminária sem lâmpada)* 159

**Figura 5.1.** *Visibilidade dos preparos versus rendimento das coletas.* 163

**Figura 5.2.** *Aranhas coletadas nas armadilhas por tipo de preparo* 166

**Figura 5. 3.** *Coleópteros coletados por tipo de preparo* 167

**Figura 5.4.** *Lepidópteros coletados por tipo de preparo* 167

**Figura 5.5.** *Dípteros, Himenopteros não formicidae e Hemípteros coletados por tipo de preparo* 168

**Figura 5.6.** *Dípteros indivíduos coletados por tipo de preparo* 173

**Figura 5.7.** *Thysanoptera. Número de indivíduos coletados por tipo de preparo* 173

**Figura A.2. 1** *Luminárias cutoff e não cutoff* 225

**Figura A.2. 2.** *A poluição luminosa é uma conseqüência não desejada da iluminação* 226

**Figura A.2. 3.** *Controle do fluxo luminoso para proteção das tartarugas marinhas* 227

**Figura A.2.4.** *Gráficos da sensibilidade do homem e dos insetos e da energia radiante das lâmpadas estudadas* 229

# LISTA DE TABELAS

**Tabela 2.1. 1.** *Níveis energéticos da radiação eletromagnética* 17

**Tabela 2.2. 1.** *Energia radiante visível e ultravioleta em lâmpadas a vapor de sódio* 36

**Tabela 2.2. 2.** *Conteúdo de ultravioleta em diferentes tipos de lâmpadas* 44

**Tabela 2.2. 3.** *Filtros de UV resistentes à temperatura* 46

**Tabela 2.2. 4.** *Filtros de UVA a baixa temperatura* 48

**Tabela 2.3. 1.** *A iluminação de rua em Londres (1599-1809)* 55

**Tabela 2.3. 2.** *Evolução dos filamentos das lâmpadas incandescentes* 59

**Tabela 2.4. 1.** *Sinais externos e modalidades sensoriais* 67

**Tabela 4. 1.** *Resultados da primeira campanha de coleta* 152

**Tabela 4. 2.** *Segunda campanha: estatísticas das coletas* 155

**Tabela 5. 1.** *Comparação das características dos diferentes preparos com o rendimento das coletas* 161

**Tabela 5. 2.** *Comparação da visibilidade dos preparos com o rendimento das coletas* 162

**Tabela 5. 3.** *Comparação da visibilidade dos preparos com o rendimento das coletas retirados os insetos coletados no testemunho.* 162

**Tabela A.2. 1.** *Os ambientes de iluminação (lighting environments) da CIE (2003)* 228

**Tabela A.2. 2.** *Propostas de alteração dos padrões de iluminância no plano vertical* 228

# SUMÁRIO

RESUMO ..... VII

ABSTRACT ..... VIII

LISTA DE ILUSTRAÇÕES ..... IX

LISTA DE TABELAS ..... XIII

Capítulo 1. Introdução ..... 3

1.1. As três culturas ..... 5
1.2. A estrutura da tese ..... 9

Capítulo 2. Contextualização ..... 11

2.1 A luz e a vida ..... 11
2.2. A irradiância das lâmpadas ..... 25
2.3. A difusão da iluminação artificial e o debate sobre seu uso ..... 49
2.4. A percepção do mundo externo ..... 61
2.5. A visão ..... 79
2.6. A atração dos insetos pela iluminação noturna ..... 105
2.7. A alteração dos ritmos circadianos. ..... 118

Capítulo 3. Materiais e métodos ..... 132

3.1. Escolha do lugar ..... 135
3.2. Escolha da armadilha ..... 137
3.3. Teste das lâmpadas ..... 139
3.4. Teste das luminárias ..... 142
3.5. Teste dos filtros ..... 142
3.6. Deformação do plano de oscilação da radiação eletromagnética (polarização) ..... 145
3.7. Procedimentos de campo durante a primeira coleta ..... 149
3.8. Procedimentos da segunda campanha de coleta ..... 150

Capítulo 4. Resultados ..... 152

4.1 Resultados da primeira campanha de coleta ..... 152
4.2. Resultados da segunda campanha de coletas ..... 154

Capítulo 5. Discussão ..... 160

5.1. Iluminação de impacto mínimo ..... 160
5.2. O comportamento das espécies ..... 164
5.3. Efeito de atração pelo álcool ..... 171

Capítulo 6. Conclusões e considerações finais ..... 175

Obras Citadas ..... 183

Apêndice I ..... 201

Documentação das coletas ..... 201

Apêndice II. ..... 221

Resenha das principais medidas de projeto para minimizar o impacto da iluminação artificial sobre o ambiente ..... 221

1. Controle da direção e da posição do cone luminoso ..... 222

2. Controle da intensidade ..... 223
3. Controle da polarização da luz ..... 224
4. Controle da temperatura de cor das lâmpadas ..... 224
5. Controle da radiação ultravioleta A e B ..... 224

# Capítulo 1. Introdução

Quando em 1879, Thomas Edison inventou a lâmpada elétrica a vácuo, afirmou que viria o tempo em que apenas as pessoas ricas poderiam utilizar velas. As argumentações de Edison tinham uma sólida base econômica: a nova lâmpada elétrica era muito mais eficiente que uma vela de cera, ou uma lâmpada a óleo de baleia, que naquela época começavam a ser substituídas pelos derivados de petróleo e do carvão, o gás de carvão e o querosene. A partir da produção da primeira lâmpada elétrica, a inovação tecnológica permitiu aumentar a eficiência da conversão de energia em radiação luminosa em mais de 100 vezes e ao mesmo tempo o preço da energia elétrica diminuiu em termos de poder de compra. Contra um rendimento de 1,68 lúmenes por watt na época de Edison, o rendimento da conversão passou hoje a 50 lúmenes por watt e os novos sistemas de iluminação ainda em fase experimental atingiram rendimentos de 150-200 lúmenes por watt.

A previsão de Edison, porém, não se realizou plenamente. De fato, hoje se estima que ainda existam 1,6 bilhões de pessoas, principalmente nos países em desenvolvimento, na região tropical e equatorial, que ainda não dispõem de energia elétrica e utilizam, a alto custo, cera, derivados de petróleo e outros combustíveis para romper a escuridão da noite (Mills, 2002). Hoje a falta de energia elétrica é considerada uma privação intolerável e grandes programas nacionais e internacionais tentam levar, com técnicas cada vez mais sofisticadas, o conforto da eletrificação às áreas mais isoladas. Nos países desenvolvidos, a iluminação privada e pública cresceu de forma gigantesca, principalmente devido à utilização de sistemas sempre mais eficientes de geração da radiação luminosa e da disponibilidade crescente de eletricidade (Fouquet e Pearson, 2003).

Apesar de ainda existirem amplas áreas que não se beneficiam da iluminação elétrica, a iluminação artificial externa alcançou um impacto astronômico: um observador colocado fora do sistema solar teria a possibilidade de ver a Terra como um planeta que brilha com luz própria. As fotografias de satélite mostram uma Terra que, em algumas regiões, é totalmente iluminada. Um grupo de astrônomos (Cinzano *et al*; 2001) calculou que em 18,7% das terras emersas os habitantes vivem em um ambiente no qual o olho não consegue se acomodar a uma visão escotópica, ou a uma visão no escuro; na prática, não sabem o que é a falta de luz. Nos EUA, Aberts e Duriscoe (2001) estimaram que 20% daquele país se encontram a uma distância de menos de 150 metros de uma lâmpada.

Esses fatos podem parecer apenas um sintoma do progresso, mas, já nos anos 1960, quando teve início a difusão em massa das lâmpadas a descarga para iluminação pública, muitos começaram a se preocupar com o impacto da iluminação externa sobre a vida.

Em um primeiro momento, apenas os "poetas" se queixaram da perda da visão do céu noturno. Em seguida os astrônomos começaram a perceber que os observatórios astronômicos construídos para observar as estrelas deviam ser reclassificados como observatórios solares, porque era impossível observar as estrelas devido à poluição luminosa. Com o passar do tempo começaram a aparecer indícios crescentes de que o aumento da iluminação artificial poderia acarretar conseqüências nefastas sobre o meio ambiente e sobre o homem. Hoje muitos daqueles indícios já foram provados pela ciência.

É dessa problemática que surgiu o estímulo para aprofundar o tema que se propõe neste trabalho. Aprofundamento que é complexo, não tanto pela literatura a ser consultada, que é imensa, mas pela interdisciplinaridade exigida. De fato, apesar de existir estudos bastante aprofundados sobre alguns aspectos do problema, em geral eles são dedicados apenas a um tópico específico, detalhando ora o aspecto biológico, ora o aspecto físico. Por outro lado, a engenharia, vale dizer a indústria de fabricação de lâmpadas, luminárias e de instalações de iluminação, tende a destacar apenas os aspectos práticos: conforto visual para o homem, segurança e economia. Na realidade, uma compreensão maior pode vir apenas de uma análise global do problema, sob a qual os aspectos estritamente físicos da geração da radiação luminosa sejam associados às conseqüências biológicas, permitindo, só então, abordar o lado humano das necessidades de conforto. Ao mesmo tempo, na falta de experiências biológicas sistemáticas, muitas das hipóteses sobre o impacto da iluminação sobre o ambiente permanecem apenas como hipóteses, que surgiram de relatos anedóticos como a antecipação da época da nidificação de algumas aves, o florescimento anômalo de algumas árvores, o afastamento ou atração de mamíferos ou de quelônios e o desaparecimento dos vaga-lumes. Todas elas experiências documentadas, mas não sempre testadas dentro de um padrão científico.

Consciente dos alertas realizados por diversos pesquisadores sobre o impacto da iluminação artificial sobre o ambiente, resolvi realizar uma campanha de teste, com o objetivo de elaborar sistemas de iluminação que, apesar de manter o conforto para o homem, pudessem ter um impacto mínimo sobre o ambiente e, em especial, sobre os insetos. A hipótese básica a ser testada é que, utilizando-se a sensibilidade visual distinta do homem e dos insetos, é

possível, utilizando-se lâmpadas e luminárias adequadas, realizar instalações de iluminação de mínimo impacto. Especialmente importante é a hipótese de que a radiação ultravioleta, à qual o homem não têm sensibilidade visual, é especialmente atrativa para os insetos e, portanto, a eliminação da componente ultravioleta, que não é visível para o homem, pode diminuir significativamente o impacto da iluminação artificial.

Com a finalidade de testar essa hipótese, instalei armadilhas para insetos nas proximidades de diferentes tipos de lâmpadas, colocando filtros seletivos da radiação ultravioleta, com o objetivo de verificar quantos insetos seriam coletados em cada preparo. A simples contagem dos insetos coletados, divididos por grandes grupos taxonômicos, ofereceria indicações concretas sobre o nível de atração dos diferentes preparos, fornecendo, dessa forma, subsídios concretos para minimizar o impacto da iluminação pública.

A interação dos comportamentos humanos com os sistemas naturais é muito pouco estudada, mas recentemente um grupo de pesquisadores, liderado por Liu (2007), analisou seis casos mostrando de que forma pequenos comportamentos humanos podem ter reflexos expressivos sobre os ecossistemas porque, tratando-se de sistemas complexos não lineares, pequenas alterações podem levar a conseqüências de largo alcance. Isso se aplica de forma especialmente significativa à iluminação artificial que, pelo seu amplo alcance, pode introduzir conseqüências muito mais amplas do que é possível imaginar à primeira vista. Por essa razão, o estudo da influência da iluminação artificial sobre o mundo vivente deve romper as barreiras entre diferentes áreas do conhecimento e tentar formar uma visão global do problema.

## *1.1. As três culturas*[3]

O fato deste trabalho exigir um aprofundamento em três áreas tão diferentes do conhecimento como a física, a biologia e as ciências humanas, constitui, em certo sentido, um desafio. Quase cinqüenta anos atrás, Robert Snow ([1959] 1988), em um livro que foi objeto de amplas polêmicas, apontou a dicotomia existente na definição de uma pessoa "culta": na época não era permitido a um cientista não conhecer Hamlet de Shakespeare, mas a um

[3] Tratei o tema mais amplamente em seminário no Instituto de Estudos Avançados da USP, vídeo da palestra disponível em http://www.iea.usp.br/iea/online/midiateca/filosofiadaciencia/index.html#seminario5tdcs, consulta 10/11/2007

intelectual com cultura humanística era permitido ignorar a segunda lei da termodinâmica. Diria que essa posição refletia, e em parte ainda reflete, uma dicotomia cultural que permanece viva hoje, mas Snow deveria ter falado das três culturas: a cultura humanística e a cultura físico-matemática tendem a ignorar a teoria da seleção natural e, apesar dos progressos da genética, que levaram a biologia à atenção do grande público, a lei da seleção natural é pouco conhecida e em muitos casos é veementemente combatida.

Essa oposição é antiga. Logo depois da formulação da teoria da seleção natural por Darwin, o principal opositor (ao lado do Bispo Samuel Wilberforce, ridicularizado por Huxley (1860; 1863) (cfr. Lucas; 1979) foi o grande físico William Thompson, em seguida nomeado Lord Kelvin, honrado universalmente pelos físicos com a letra K na escala da temperatura absoluta. Kelvin não foi apenas um detrator da teoria da seleção natural, como teoria que deixa tudo ao acaso, mas também manteve com Darwin uma forte polêmica. Na primeira edição da *Origem das espécies*, Darwin (1859) tinha estimado a idade da Terra a partir de considerações puramente geológicas. Calculando quanto tempo podia ter ocorrido para formação do Weald, um grande vale que se estende entre o Norte e o Sul dos *Downs* no sul da Inglaterra, estimou um período de mais de 300 milhões de anos. Era um tempo suficientemente longo para permitir que a evolução natural operasse para vir a formar a diversidade observada de espécies. Em 1862, Kelvin, partindo de considerações puramente físico-químicas (na época era ainda desconhecida a energia nuclear), calculou que a Terra não poderia ter uma vida maior que 20 a 30 milhões de anos e, entrando em polêmica direta com Darwin, escreveu:

> *What then are we to think of such geological estimates as 300,000,000 years for the "denudation of the Weald"?* (Kelvin, 1862: 289)

Como relatam Burchfield (1975) e Bahcall (2001) a controvérsia foi ampla, envolvendo, em defesa de Darwin, Thomas Huxley (1869) [4], com amplos debates, já que se

[4] Thomas Huxley, no discurso inaugural de 19 de fevereiro de 1869 da Geological Society resumiu as evidências geológicas da antiguidade da Terra, entrando em polêmica direta com os cálculos realizados por Lord Kelvin: "Mathematics may be compared to a mill of exquisite workmanship, which grinds you stuff of any degree of fineness; but, nevertheless, what you get out depends upon what you put in; and as the grandest mill in the world will not extract wheat-flour from peascod, so pages of formulae will not get a definite result out of loose data." Citado em Bachall (1999).

tratava dos dois cientistas mais famosos da Inglaterra. Para Darwin, a crítica de Kelvin, provavelmente o mais famoso cientista inglês vivo na época, representou um grave dilema e, pensando que seus cálculos pudessem estar errados, sua preocupação se voltou para o olho: como era possível que uma estrutura tão complexa quanto o olho tivesse evoluído em um tão curto período de tempo? E escreveu a seu amigo, e co-formulador da teoria da seleção natural, Alfred Wallace:

> *Thompson's views on the recent age of the world have been for some time one of my sorest troubles.*
>
> Darwin (1868), citado em Bahcall 2000.

Mas a oposição à teoria da seleção natural não se limitou a uma troca de artigos. Em 1887, a revista *Philosophical Transactions of the Royal Society* foi dividida em duas seções, a **A** e a **B**, porque os cientistas da área físico-matemática se recusavam a publicar artigos junto com cientistas que consideravam que a evolução fosse regida pelo acaso. Por essa razão, ainda hoje a prestigiosa revista britânica, a mais antiga revista científica em publicação, continua dividida em duas secções: a seção A, dedicada às ciências físico-matemáticas, e a seção B, dedicada às ciências biológicas (Dawkins 1996).

A separação entre ciências "exatas" e ciências biológicas tem longa data, e continua ainda hoje. De fato, aquela que Dennet (1995) definiu como a "idéia perigosa de Darwin" representou uma mudança de paradigma: o determinismo da mecânica clássica passava para segunda posição em relação a uma evolução da realidade determinada apenas pela seleção natural.

Mas seria injusto não reconhecer a importante adesão desde a primeira formulação da teoria da seleção natural de importantes físicos, primeiro entre eles, Ludwig Boltzmann, um dos fundadores da termodinâmica (junto com Rudolf Clausius e o próprio Lord Kelvin). Boltzmann ([1886] 1986), antecipando em quase um século a posição de outro físico-químico, Ilia Prigogine (1984), já considerava em 1886 o século XIX como o século de Darwin. Por outro lado, como o próprio Francis Crick (1966) reconheceu, ele mesmo um físico, a pesquisa que levou à descoberta da dupla hélice do DNA e à sua interpretação foi fortemente influenciada pelas teorias de dois físicos: Erwin Schrödinger ([1944] 1962), um dos

fundadores da mecânica quântica, e George Gamow (1954), físico nuclear, um dos primeiros a propor a teoria do *big bang*, que nos anos após a Segunda Guerra Mundial ofereceu uma série de contribuições importantes à teoria da codificação do DNA.

A crítica à teoria da seleção natural foi ainda mais forte na área das assim chamadas ciências humanas. A "idéia perigosa de Darwin" representou para a cultura humanística um forte choque, com uma oposição decidida contra qualquer tentativa de utilizar a biologia para compreender o homem. Por uma tradição que remonta a Alfred Russel Wallace (1869; 1870), que elaborou, independente de Darwin, a teoria da seleção natural, muitos autores consideram que o homem, com o desenvolvimento da cultura, se desvinculou dos condicionamentos biológicos. Para esses autores, recorrer às bases biológicas para analisar o comportamento do homem representa um reducionismo excessivo e a negação do livre arbítrio. Essa oposição não é compartilhada apenas por muitos pesquisadores na área das ciências humanas, mas é sustentada até por biólogos, principalmente de extração política marxista. Apenas para citar alguns exemplos, continuando com a ambivalência de Marx em relação a Darwin (cfr. Berlin, 1978; Runkle, 1961), biólogos como Richard Lewontin (1984) e Stephen Jay Gould (1981) e antropólogos como Marshall Sahlins (1977) chegaram a atacar violentamente as tentativas da etologia, da sociobiologia e da ecologia comportamental de utilizar a biologia para compreender comportamentos humanos. Essas tentativas são sumariamente liquidadas com o termo de "reducionismo biológico".

Em que pese o fato de que este não é o lugar apropriado para discutir o tema, cabe, porém, comentar as acusações de reducionismo e determinismo biológico utilizadas para descredenciar o uso da biologia no estudo do comportamento humano. Apenas um pequeno detalhe, melhor do que qualquer argumentação, refuta a acusação de determinismo biológico. Na longa história da evolução humana, aproximadamente 200 mil anos atrás, apareceu uma espécie com todas as características anatômicas do homem moderno, e os paleontólogos a chamaram de *Homo sapiens*. Entre 100 e 50 mil anos atrás, algo novo aconteceu com a espécie, a qual começou a mostrar, nos achados da cultura material, um comportamento diferente: apareceram manifestações de pensamento simbólico, e surgiram as primeiras obras de arte (Neves 2008). De um ponto de vista físico, os fósseis não mostram qualquer alteração no esqueleto. É possível que a capacidade de simbolização tenha sido causada pela interligação das diferentes regiões do cérebro, como proposto por Steven Mithen (1996). Poder-se-ia dizer que as alterações se verificaram nas partes moles, que não deixam rastros

nos restos ósseos. Mas a capacidade de pensamento simbólico representa o marco distintivo da espécie. Pensar que um biólogo evolucionista que considera a capacidade de pensamento simbólico como marca distintiva seja um reducionista biológico é sem dúvida destituído de fundamento.

## *1.2. A estrutura da tese*

Apesar da relativa simplicidade da campanha de coletas de insetos, os trabalhos preparatórios foram complexos. De fato, o próprio preparo do teste e a interpretação dos resultados exigiam conhecimentos em áreas bastante distintas do conhecimento. A iluminação artificial representa apenas uma pequena parcela da radiação eletromagnética presente na natureza e, para entender seu significado, era necessário entender de que forma a radiação natural, que é de longe a principal fonte de energia dos organismos autótrofos, é utilizada na biosfera e estrutura as redes tróficas. Era necessário também compreender a capacidade dos sensores das inúmeras espécies em responder aos diferentes comprimentos de onda da radiação eletromagnética, e entender os mecanismos neurais com os quais as informações são processadas.

Se, do lado do aspecto biológico do problema, foi necessário um aprofundamento amplo, uma complexidade não menor era representada pela compreensão dos diferentes sistemas de iluminação artificial, e pela evolução do uso da iluminação por parte do homem. De fato, a engenharia da iluminação é uma área em contínua evolução e, devido às diferentes sensibilidades visuais do homem e dos insetos, o exame dos sistemas de iluminação deveria se aprofundar em detalhes técnicos.

A compreensão dessas premissas é essencial para entender a experiência e a interpretação dos resultados. Por essa razão, a estrutura da tese apresenta uma seqüência um pouco diferente daquela tradicionalmente utilizada.

O primeiro capítulo refere-se a esta introdução ao trabalho no qual é caracterizado o problema objeto e são apresentadas as hipóteses a serem testadas.

O segundo capítulo representa uma ampla resenha dos elementos que permitem contextualizar a experiência dentro dos conhecimentos das diferentes áreas. Nele, cada tema específico é tratado em uma seção separada.

Na primeira seção analiso a formação da radiação natural dentro do sol e as transformações que ela sofre ao entrar na atmosfera, por interferência da atmosfera terrestre. Na segunda seção passo a analisar a radiação artificial, conforme a caracterização da intensidade e do espectro nos sistemas artificiais, da vela até os recentes diodos emissores de luz. Na terceira faço uma rápida síntese da evolução da difusão da iluminação artificial na história humana, mostrando que os atuais níveis são um fenômeno inédito. Na quinta e na sexta seção, é tratado, em um primeiro momento, a percepção do mundo externo em geral, e em seguida o problema da visão, portanto da percepção da radiação luminosa por parte das espécies. Colocados os pressupostos da percepção da radiação luminosa, na sexta seção trato especificamente os aspectos da visão dos insetos, e na sétima o efeito da iluminação artificial sobre os ritmos circadianos.

Terminada a contextualização do problema, o terceiro capítulo apresenta os materiais e o método utilizados no programa de coleta de insetos. O quarto capítulo apresenta os resultados e o quinto discute os resultados das coletas e suas conseqüências para projetos de iluminação artificial.

O sexto capítulo traz as conclusões do estudo, com algumas reflexões sobre o aumento crescente da iluminação artificial na vida contemporânea.

Dois apêndices integram o trabalho. No primeiro apêndice é fornecida a tabulação completa da seleção de insetos nas diferentes campanhas, que podem ser utilizadas por outros pesquisadores para novas analises dos dados. No segundo, com o objetivo de fornecer uma documentação sintética sobre o tema para quem opera na área de projetos de iluminação externa, são sintetizadas as recomendações para instalações de iluminação artificial de mínimo impacto baseadas na campanha de coleta e em informações extraídas na literatura internacional.

# Capítulo 2. Contextualização

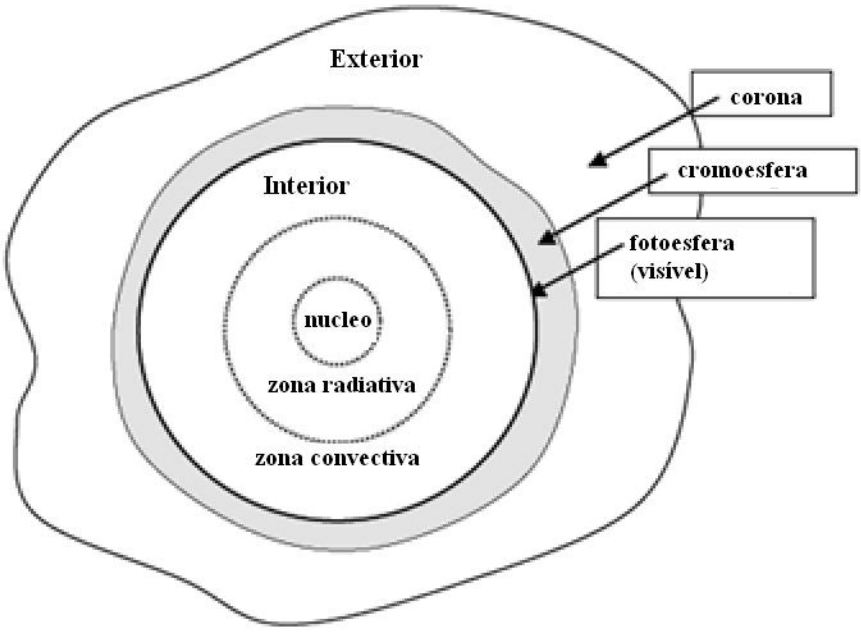
## *2.1 A luz e a vida*

Para entender plenamente a influência da iluminação artificial sobre a vida precisamos, em primeiro lugar, compreender o significado da luz sobre os ciclos vitais. De fato, aquela que chamamos luz nada mais é que uma pequena parcela da radiação eletromagnética incluída entre 380 e 700 nanômetros. Se pensarmos não apenas em termos da visão humana, mas da visão de outras espécies ou, em geral, dos diferentes processos fotobiológicos, incluída entre 280 e 1400 nm. Essa radiação, a luz, portanto, não é apenas a parcela da radiação eletromagnética que permite a visão, mas é também aquela parcela que alimenta a maior parte da demanda de energia necessária para a existência da vida sobre a Terra.

Para essa finalidade precisamos percorrer rapidamente o caminho ao longo do qual a alta energia gerada pelas reações no núcleo central do sol chega até a superfície terrestre, sofrendo, nesse processo, profundas alterações. Percorrer esse caminho nos permite entender o porquê da afirmação de Ilia Prigogine (1984), que a vida representa a ordenação dentro do caos, em uma temperatura próxima ao zero absoluto. Permite-nos também compreender o significado da afirmação de James E. Lovelock (1988) de que a radiação solar sobre a superfície terrestre é o resultado de uma coevolução com a biota.

Hoje, graças à campanha de pesquisas espaciais realizada pela NASA nos anos de 1960 (Eddy *et al.* 1979 e Nicholson 1982), nossos conhecimentos dos processos de geração e transmissão da energia dentro do sol são relativamente bem conhecidos. A fonte da energia solar é representada pelas reações nucleares, no interior da parte central do sol, nas quais quatro átomos de hidrogênio, através de diferentes reações, se transformam em um átomo de hélio, liberando uma quantidade enorme de energia. No núcleo central a matéria encontra-se na condição de plasma, a uma temperatura estimada em 15 milhões de graus Kelvin, e com uma densidade estimada em 160.000 kg por metro cúbico. A energia gerada pelas reações nucleares é liberada em forma de radiação eletromagnética de alta energia e curto comprimento de onda, principalmente em forma de raios cósmicos, $\gamma$ e $x$. Dentro do núcleo a

radiação se desloca à baixa velocidade e a energia gerada leva provavelmente de dez mil a cem mil anos para chegar até a superfície externa do sol. Passando pelas regiõe radiativa e convectiva as radiações perdem intensidade e, além de uma distância de 0,8 raios solares, as temperaturas diminuem e os núcleos atômicos conseguem capturar elétrons.

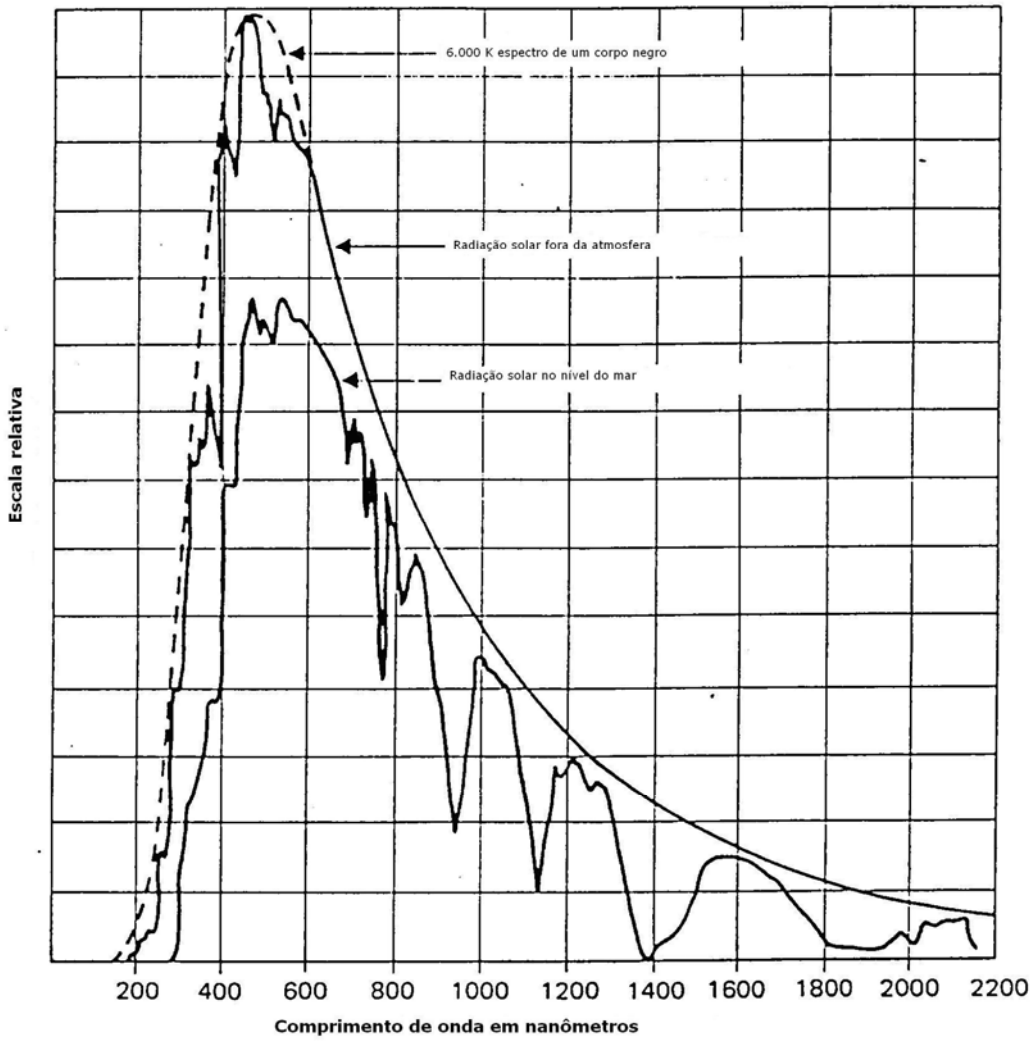



*Fonte: http://www.chara.gsu.edu/~crenshaw/16.Sun.pdf (consulta 06/07/2006)*

**Figura 2.1. 1.** Representação esquemática do sol

Nesse processo lento de absorção, dispersão e emissão, os fótons, absorvidos e emitidos muitas vezes perdem energia e a radiação de onda curta passa progressivamente a ultravioleta e a violeta, de onda mais longa e de menor energia até chegar à parte visível do sol, a fotosfera, que se encontra a uma temperatura da ordem de 6.050 graus K. Em volta da fotosfera ainda existem duas camadas, a cromosfera e a corona, nas quais a temperatura atinge valores elevados, da ordem de três milhões de graus Kelvin e que, portanto, emitem radiação de onda curta e de alta energia em forma de raios cósmicos, $\gamma$ e *x*. A cromosfera, porém, apresenta uma densidade de $10^{-12}$ da fotosfera. Portanto sua contribuição à radiação

representa apenas um milionésimo da radiação solar que atinge a Terra. Essa emissão de onda curta pode ter dado origem à vida, conforme a opinião de alguns biólogos e astrofísicos (NRC; 2005), e representou provavelmente um elemento que favoreceu as mudanças genéticas. O percurso seguido pela radiação do núcleo central até a coroa é representado na Figura 2.1.1.

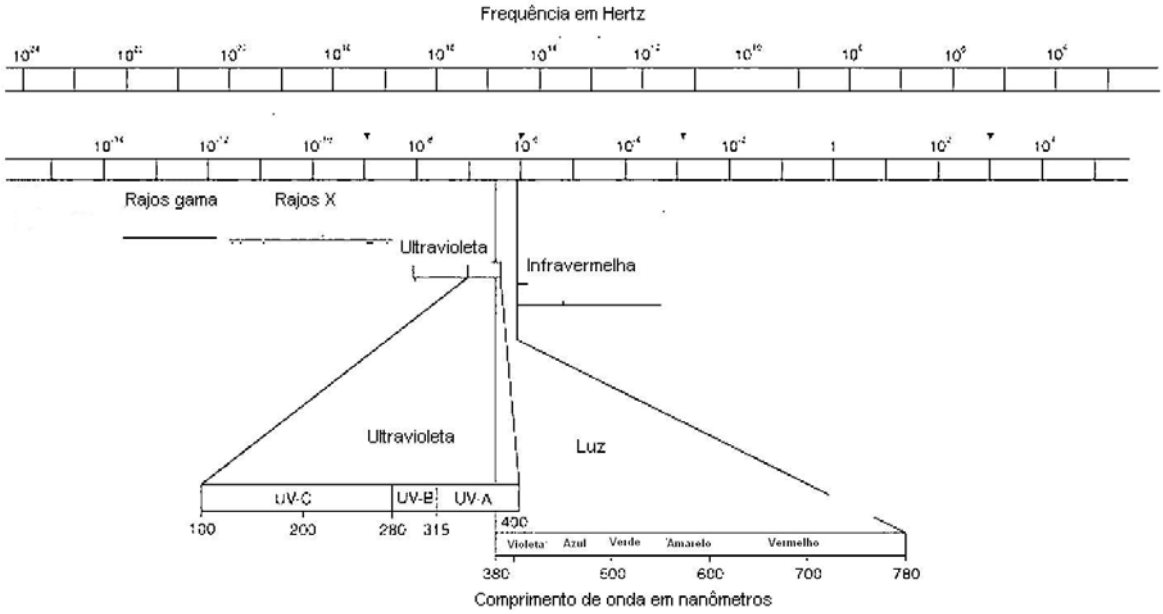



*Fonte: Modificado de Kreith e Kreider 1978:15*

**Figura 2.1.2.** *Efeito da atmosfera terrestre sobre a radiação solar*

Após essa série de transformações, e uma viagem de cerca de 149 milhões de quilômetros, a radiação emitida pelo sol atinge a camada externa da atmosfera terrestre como se fosse a radiação emitida por um corpo negro a uma temperatura de 6050 graus Kelvin, como mostra a Figura 2.1.2. Porém, a atmosfera terrestre não é neutra em relação à radiação, e a interferência com as moléculas de gás filtra parte da radiação e gera em alguns comprimentos de onda uma polarização do plano de oscilação da radiação eletromagnética.

Como resultado do fluxo da energia do sol e dos efeitos da transmissão seletiva da radiação por comprimento de onda a Terra permanece a uma temperatura constante com pequenas flutuações. É nesse ambiente que surgiu e se desenvolveu a vida na Terra. Essa situação justifica a afirmação de Prigogine citada no segundo parágrafo desse capítulo, que a vida se desenvolve em um sutil equilíbrio dentro de um fluxo de energia entre 15 milhões de graus Kelvin e 300 graus Kelvin, portanto, a uma temperatura próxima ao zero absoluto.




*Fonte: Modificado de IESNA 1999*

**Figura 2.1. 3.** *A janela da vida e da visão na radiação eletromagnética*

Para começar a entender o fenômeno, precisamos em primeiro lugar responder a uma pergunta clássica que todos os cientistas – de físicos, como Richard Feyman (1963), a biólogos, como George Wald (1959) – que trabalharam com a radiação eletromagnética e a

vida se colocaram. Porque, dentro da grande variedade de comprimentos de onda da radiação eletromagnética, a qual, como mostra a Figura 2.1.3., vai dos raios gama, de comprimento de onda de 0,1 Amstrong e de alta energia, as ondas rádios, de 1.000 metros e de baixa energia, apenas a parcela compreendida entre 280 e 1400 nanômetros é capaz de gerar uma resposta fotobiológica? Essa radiação não apenas assegura a fixação fotossintética da clorofila e orienta o crescimento das plantas, mas também assegura a visão em todos os seres vivos, invertebrados e vertebrados, que ocupam espaço na terra, no céu ou nos mares. Essa faixa foi justamente definida a *janela da vida* da radiação eletromagnética.

Na justificativa desse fenômeno e na distribuição da radiação solar por comprimento de onda na biosfera está, em certo sentido, a resposta à pergunta do porque a iluminação artificial pode provocar graves impactos sobre o mundo vivo, mas, para compreender isso, precisamos, em primeiro lugar, descrever sumariamente a radiação eletromagnética.

A radiação eletromagnética, como diz o próprio nome, é uma onda que se autopropaga no espaço com um componente magnético e um elétrico. A radiação eletromagnética é qualificada, com base no comprimento de onda decrescente em rádio freqüência, microondas, radiação infravermelha, radiação visível, radiação ultravioleta, raios X e raios gama. Na sua interação com a matéria a luz comporta-se também como se fosse composta de pequenos paquetes de energia, aos quais é dado o nome de fóton ou quanta. Por mais de dois séculos a interpretação da luz, como partícula – conforme a hipótese de Pierre Gassendi (1592–1655), filósofo e matemático francês, que seguiu a teoria atomista de Epicuro, aprofundada em seguida por Newton no *Optics* – ou como onda – conforme a hipótese lançada pelo cientista inglês Robert Hooke e aprofundada pelo matemático e físico holandês Christian Huygens que publicou em 1690 o *Tratado sobre a luz* – dividiu os cientistas. Apenas no começo do século XX, com as contribuições de Max Planck e Albert Eistein o debate terminou reconhecendo o duplo comportamento da radiação eletromagnética de partícula e onda. Uma posição difícil de ser entendida, que merece a citação de um texto de Richard Feynman a respeito.

> *Because atomic behavior is so unlike ordinary experience, it is very difficult to get used and it appears peculiar and mystery to everyone, both the novice and to the experienced physicist. Even the experts do not understand it the way they would like to, and it is perfectly reasonable that they should not, because all of direct human experience and human intuitions apply to large objects. We know how large objects act, but things on small scale just do not act that way. So we have to learn about them in a sort of imaginative fashion and not with our direct experience* (Feynman 1963: 37 1-2)[5].

Para a nossa finalidade, a radiação eletromagnética pode ser considerada como uma forma de transferência de energia, e do ponto de vista do impacto sobre o ambiente, e mais especificamente sobre a visão, é importante ressaltar que na maioria dos casos podemos considerar a radiação como uma partícula. Mas existem situações, como na percepção do plano de polarização da radiação (von Frish; 1949; 1973) e na percepção da radiação infravermelha por parte de alguns insetos (Callahan; 1985), que é necessário considerá-la como uma onda.

Por conveniência prática, todos os estudos sobre a energia radiante dos corpos são realizados com referência à energia radiante de um corpo negro. Um corpo negro é um corpo que absorve toda a energia incidente, independente do comprimento de onda e do ângulo de incidência. Nenhuma superfície emite e absorve tanto quanto um corpo negro. Pela lei de Stefan-Boltzmann, a energia radiante de um corpo negro é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta e depende de um fator de proporcionalidade:

$$E_T = \sigma \mathbf{T}^4$$

onde:

**T** = temperatura absoluta em Kelvin

$\sigma = \mathbf{5{,}672 * 10^{-8}\ W/m^2\text{-}K^4}$

[5] Dawkins (2006: 462), cita uma frase de Feynman mais concisa "Se você acha que entendeu a teoria quântica .... você não entende a teoria quântica", e uma afirmação similar é atribuída a Niels Bohr "Se alguém não ficar chocado com a teoria quântica é porque não a entendeu".Essa afirmação tem um profundo significado gnosiológico e se aproxima muito da posição assumida por Konrad Lorenz (1974) sobre o significado provisório das descobertas físicas, pelas limitações que os nossos sentidos possuem. Ela é especialmente significativa quando estudamos propriedades de percepção de outras espécies, como a visão a quatro ou cinco cores, ou a percepção da orientação do campo magnético, que não estamos em condições de experimentar e, por isso, nos parecem de difícil compreensão.

A energia radiante de um corpo negro não é uniforme em todo o espectro já que é distribuída por freqüência conforme a lei de Plank:

$$E_v(T) = \frac{2\,\pi h v^3/c^2}{e^{hv/kt} - 1}$$

onde:

**c** = velocidade da luz no vazio

**h** = constante de Plank

**k** = constante de Boltzmann

***v*** = freqüência da radiação

**T** = temperatura absoluta em Kelvin

Desenvolvendo a fórmula e aplicando-a a alguns comprimentos de onda característicos da fotobiologia, obtemos a energia específica de diferentes níveis de radiação, conforme mostra a Tabela 2.1.1, e podemos começar a entender porque apenas dentro desse pequeno grupo de comprimentos de onda se desenvolve a vida.

**Tabela 2.1. 1.** Níveis energéticos da radiação eletromagnética

| **Região do espectro** | **Raios γ** | **Raios X** | **Ultravioleta** | **Visível** | **Infravermelho** | **Microndas** | **UHF** | **UVF** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uso comum | Efeitos nucleares | Ionização | Transição eletrônica | Transição eletrônica | Transição vibracional | Transição rotacional | Eps | Nmr |
| **Frequência (Hz)** | $1{,}5\times10^{19}$ | $3\times10^{17}$ | $1{,}2\times10^{15}$ | $6\times10^{14}$ | $3\times10^{13}$ | $3\times10^{11}$ | $3\times10^{10}$ | $5\times10^{8}$ |
| **Comprimento onda** | 20 pm | 1 nm | 250 nm | 500 nm | 10 nm | 1 mm | 1 cm | 0,6m |
| **Energia do fóton (eV)** | $6{,}2\times10^{4}$ | $1{,}24\times10^{3}$ | 5 | 2,5 | $1{,}24\times10^{-1}$ | $1{,}24\times10^{-3}$ | $1{,}24\times10^{-4}$ | $2{,}07\times10^{-6}$ |
| **Energia do fóton (kJmol-1)** | $6\times10^{6}$ | $1{,}2\times10^{5}$ | 479 | 239 | 12 | $1{,}20\times10^{-1}$ | $1{,}20\times10^{-2}$ | $2{,}3\times10^{-4}$ |

*Fonte The digital photobiology compendium*

Muitas são as definições de vida, e provavelmente seria difícil encontrar dois biólogos que estejam de acordo sobre uma única definição. Se, porém, colocarmos essa definição dentro de uma visão bioquímica, seria possível encontrar um acordo sobre uma definição do tipo "a vida é uma forma de auto-organização da matéria possível dentro de um fluxo de energia". A vida não é apenas isso, mas sem a auto-organização assegurada pelo fluxo da energia, ela não existiria. Conforme a definição da quarta lei da termodinâmica, de Lotka (1922), a vida tende a maximizar o uso da energia, mas - e aqui reside o problema - pela termodinâmica de não equilíbrio a auto-organização é um fenômeno complexo, que se verifica apenas dentro de estreitos limites. Porque isso ocorre?

As razões se encontram, como já apontava George Wald (1959) quase cinqüenta anos atrás, na própria estrutura da matéria. A organização da vida é possível apenas quando os átomos dos quais são constituídos os organismos não são ionizados e conseguem manter suas ligações químicas. Se o fluxo de energia for tal que supera as forças de adesão bioquímica, as macromoléculas se rompem, e as estruturas acabam desaparecendo. Em princípio, portanto, a vida se desenvolve apenas dentro dos limites do 0 até 100 graus centígrados, quando a água é ainda líquida, mas não com a água na fase de vapor ou sólida. As poucas exceções são o resultado de expedientes bioquímicos sutis ou de situações anormais de pressão. Formas de auto-organização que possam perpetuar-se e reproduzir-se são possíveis apenas dentro desse estreito limite energético.

Postas essas premissas é fácil entender que uma radiação com uma energia superior a 114 kcal/mole é suficiente para destruir qualquer molécula orgânica, inviabilizando a sobrevivência da vida (por exemplo, lâmpadas de vapor de mercúrio a baixa pressão, que emitem radiação monocromática de 253 nm, são utilizadas para esterilização). Mas também uma energia da ordem de 300 nm ou 102 kcal/mole é ainda um nível excessivo. A ligação da dupla hélice do DNA é uma ligação fraca, de hidrogênio. Portanto, níveis elevados de energia acabam separando-a e, perdido o controle proporcionado pelo duplo genoma, favorecem a instauração de mutações com um ritmo superior à capacidade de sobrevivência da espécie (Eigen, 1992). É por isso que, com a redução da camada de ozônio e o conseqüente aumento da radiação ultravioleta, estão aumentando as doenças degenerativas da pele.

Se, na banda superior da radiação de onda curta de alta energia, a radiação eletromagnética é um obstáculo à vida, porque destrói as moléculas orgânicas, na área das radiações de onda longa, de baixa energia, a radiação eletromagnética torna-se ineficaz: a

energia da onda não consegue gerar reações fotobiológicas. Na realidade, passados os 700 nm, a energia da radiação eletromagnética, quando absorvida por uma estrutura viva, é apenas capaz de gerar aquecimento, mas algumas reações fotobiológicas continuam até 1400 nm, ou 2000 nm: é a química obscura.

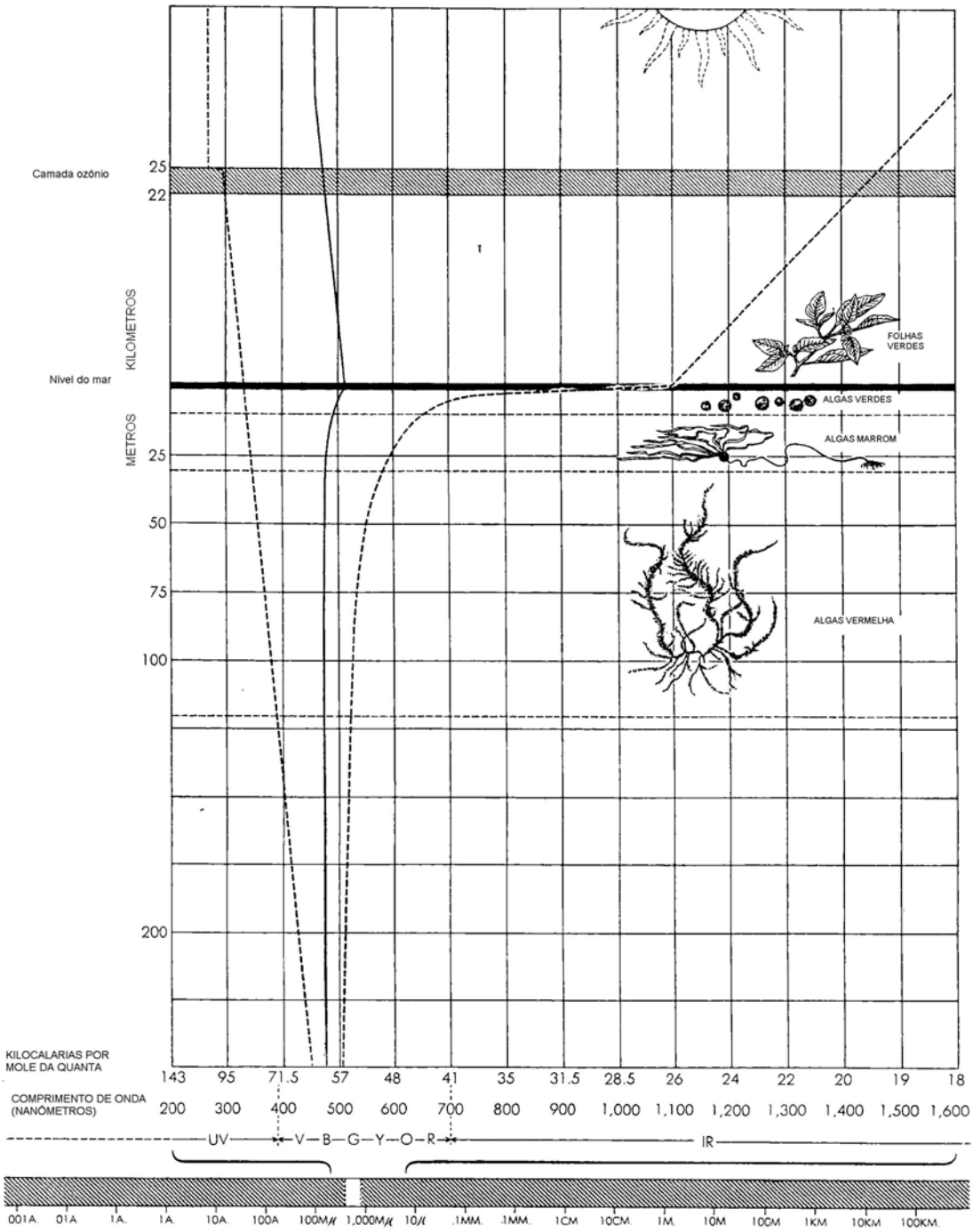
Observado sob esse ponto de vista, é fácil entender o porquê da distribuição dos principais fenômenos fotobiológicos na Terra.

Se observarmos o gráfico da distribuição da radiação solar na troposfera e sua evolução conforme o efeito de filtragem proporcionado pela atmosfera e pelos mares, (Figura 2.1. 4.), podemos observar que a radiação registra um processo progressivo de filtragem, que começa pela camada de ozônio, que filtra grande parte da radiação de UV B e parte da radiação UV A. Paralelamente, com a entrada progressiva na atmosfera, são também filtrados os comprimentos de ondas longas até 2.600 nm. Entrando na água, a radiação sofre um ulterior efeito de filtro, com um afunilamento da radiação em um estreito comprimento de onda entre 450 e 500 nm.

A vida, que se estrutura na sua dependência da radiação solar sobre a disponibilidade da energia ativa espelha essa distribuição: as plantas terrestres, de cor verde (portanto, refletem a radiação verde), utilizam as diferentes clorofilas (A B C e D), em duas bandas fundamentais entre 400 e 470 nm e entre 650 e 700 nm, e os fitocromos, que controlam a fotomorfogênese trabalham em duas bandas, entre 625 e 760 nanômetros e no infravermelho, entre 760 e 850 nm. As algas verdes, que se encontram nos primeiros metros das águas, continuam verdes operando com a clorofila, utilizando as bandas de 400 e 470 nm e de 650 a 700 nanômetros. Quando, porém, descemos abaixo de 10 metros, as algas se tornam marrom, já que começa a ser rejeitada parte da radiação na banda de 650 a 700 nm, e se tornam vermelhas abaixo de 30 metros, onde a radiação de 650 a 700 nm é mínima.

Em cada ambiente, portanto, a vida aproveita apenas a parcela da radiação que é mais abundante. Existe só uma exceção: apesar da radiação verde ser a mais abundante, a clorofila é pouco ativa nessa banda. A explicação do fenômeno não é simples. É sempre difícil justificar porque a natureza não escolheu um caminho que parece mais apropriado. Fenômenos de natureza bioquímica poderiam justificar a situação, como poderiam ser procuradas outras justificativas. Por exemplo, Wald (1959) indica que a reflexão da radiação verde, mais abundante, pode permitir a difusão da radiação nas camadas mais baixas da vegetação, favorecendo a fixação fotossintética sobre uma superfície maior. Outra explicação

poderia ser que um fluxo excessivo de energia poderia ser prejudicial ao desenvolvimento da planta.

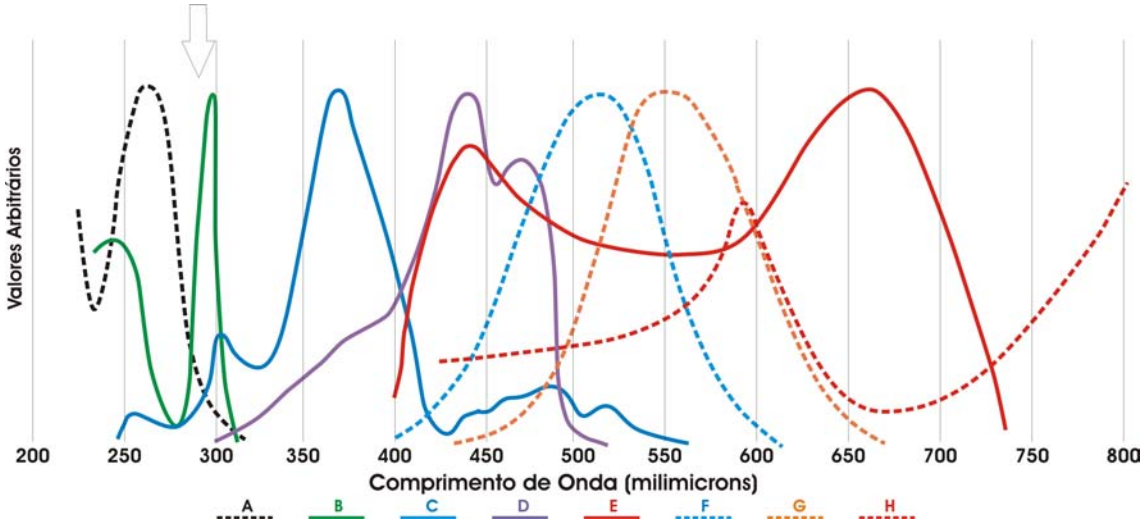



*Fonte: Modificado de Wald 1959*

**Figura 2.1.4.** *A utilização dos comprimentos de onda na biosfera*

Uma distribuição similar no aproveitamento da radiação solar também se verifica com os órgãos da percepção luminosa das diferentes espécies. Grande parte da sensibilidade visual das diferentes espécies está distribuída, como a humana, entre 400 e 700 nm. Cada espécie, porém, dependendo do ambiente no qual vive, apresenta uma sensibilidade a bandas específicas da radiação. Como veremos na secção 2.6, por exemplo, insetos e aves, circulando no ar, registram maior sensibilidade nas bandas do azul e do ultravioleta, que possuem, para eles, um significado específico, de espaço aberto.

A figura 2.1. . fornece uma imagem sintética da diferente utilização das diversas bandas da radiação nos organismos vivos.




*Fonte:Modificado de Wald 1959.*

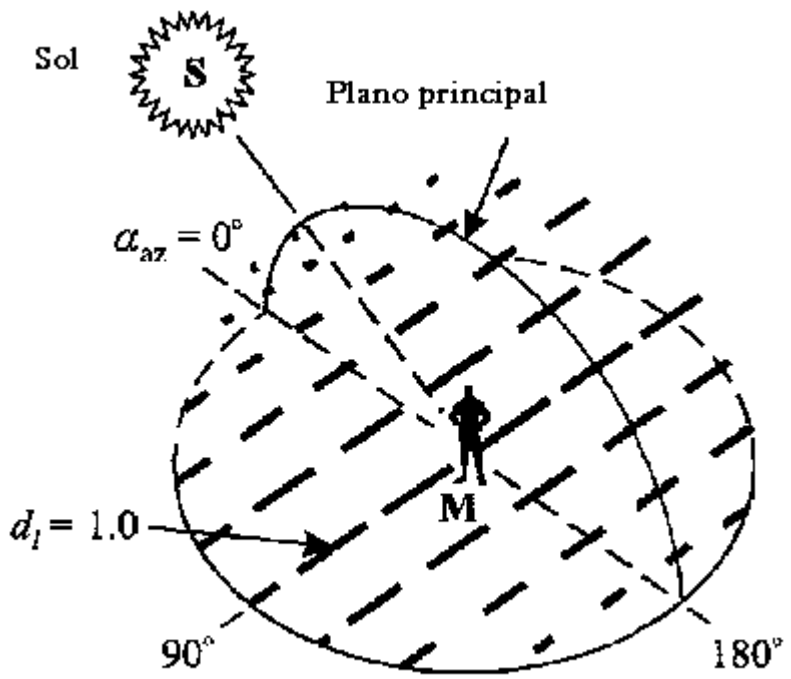
**Figura 2.1. 5.** *Resposta de diferentes componentes da vida ao comprimento de onda da radiação eletromagnética.*

A sensibilidade visual da radiação por comprimento de onda exige, porém, uma análise mais fina do efeito de filtro da atmosfera sobre os diversos comprimentos de onda, especialmente das ondas longas, na banda do infravermelho. Como mostra a Figura 2.1.2., a atmosfera não é neutra em relação à radiação infravermelha, porque os vários componentes da atmosfera, principalmente o vapor da água, exercem um efeito seletivo por comprimento de onda. A curva de absorbância apresenta-se, portanto, como um dente de serra. Nas bandas nas qual a atmosfera permite a propagação dos comprimentos de onda, existem áreas de

sensibilidade da flora (fitocromos), e áreas específicas do infravermelho são utilizadas por diferentes mecanismos sensoriais de insetos e répteis.

A vida, na terra, está estritamente estruturada sobre o fluxo de energia recebido com a radiação solar. Mas a vida não aproveita genericamente a radiação, mas se estruturou, ao longo da evolução, para aproveitar apenas alguns comprimentos de onda específicos para atender diferentes funções. (Figura 2.1.5) Por exemplo, no comprimento de ondas curtas, incluindo a ultravioleta A e B, caracterizados pelas curvas A e B da Fig. 2.1. V., possui efeitos mutagênicos, é evitada pela vida e no homem favorece o desenvolvimento de doenças da pele. Na curva C, em torno de 360 nm, encontra-se a sensibilidade da visão dos insetos, e é um comprimento de onda utilizado por muitas espécies, principalmente aves, tartarugas marinhas, como baliza de orientação noturna. A curva D caracteriza junto com os fitocromos e os criptocromos, não representados na figura, o fototropismo de uma arvore de carvalho; a curva E mostra a fotossíntese no trigo; a curva F, a visão escotópica, ou noturna do homem; a curva G a visão fotópica, ou diurna do homem; A curva H, a fotossíntese das bactérias.

Um segundo efeito importante da atmosfera sobre a radiação eletromagnética é representado pela interferência com os comprimentos de onda curtos, entre 340 e 400 nm. Nessas bandas a radiação sofre uma interferência com as moléculas do ar nas altas quotas (é esse o processo pelo qual o céu assume, durante o dia e a noite, a coloração azul) e gera uma difração da radiação, prevista teoricamente em 1871 por Lorde Rayleigh e chamada em sua honra de *Rayleigh scattering*, ou a difração de Rayleigh. As bases teóricas da difração receberam uma ampla análise teórica por parte do astrofísico Subrahmanyan Chandrasekhar *et al* (1951). Pelo efeito da difração, a radiação das ondas curtas (ultravioleta e violeta) sofre uma polarização do plano de oscilação. Berry *et al* (2004) fornecem uma descrição detalhada das linhas de polarização criadas na abóboda celeste. Seguindo a definição de Wehner (1976: 106), "O padrão de polarização do céu varia com a posição do sol, ou, mais exatamente, com a orientação do plano do triângulo formado pelo sol, o observador e o ponto observado (conforme mostra a Figura 2.1. 6.). Em qualquer ponto da esfera celeste a direção da polarização é sempre perpendicular ao plano desse triângulo." Esse fenômeno, invisível ao homem, é utilizado por algumas espécies como mecanismo de orientação. Conforme conta Karl von Frisch (1973) quando descobriu a percepção do plano de polarização da luz por parte das abelhas, houve entre os cientistas uma forte incredulidade. Hoje a cada dia descobre-se que um número crescente de espécies possui essa percepção.




*Fonte: Modificado de Smith 2007: 30*

**Figura 2.1.6.** *Plano da polarização da radiação violeta e ultravioleta em relação à posição do sol.*

O fato de algumas espécies serem sensíveis ao plano de polarização da radiação exige que, na análise dos sistemas de iluminação, sejam observadas as alterações que os artefatos humanos de iluminação podem gerar sobre o feixe luminoso.

Um último aspecto que deve ser observado na propagação da radiação luminosa são os efeitos que a reflexão de uma superfície gera sobre radiação emergente. As cores das superfícies são determinadas pela absorção seletiva dos vários comprimentos de onda. Dada uma radiação branca (portanto, com uma distribuição da radiação em todos os comprimentos de onda, similar à distribuição da radiação de um corpo negro), uma superfície absorve seletivamente alguns comprimentos de onda e reflete outros. A cor dos pigmentos é exatamente a resultante da parcela da radiação não absorvida pela superfície: por exemplo, a clorofila é verde porque absorve a parcela de radiação na banda do azul e do vermelho, refletindo a banda do verde. Ao lado dessas cores originárias de pigmentos, existem na natureza outras cores, que podemos definir como estruturais. Essas cores são o resultado da interferência da radiação com uma superfície, e podem gerar fenômenos de iridescência de cores brilhantes. Um típico exemplo é representado pela carapaça de alguns lepidópteros, nos quais a cutícula externa é parcialmente permeável à radiação, e de uma espessura de comprimento próximo ao comprimento de onda da mesma. O raio incidente penetra na

cutícula e é parcialmente refletido, de forma seletiva. Um segundo exemplo, provavelmente mais conhecido, é representado pela iridescência das cores das penas de algumas aves. Os fenômenos de difração são elementos importantes para o reconhecimento entre diferentes espécies, e Parker (2003) chegou até a afirmar que os primeiros olhos fósseis registrados nos *folheiros* de Burgess teriam estimulado a explosão do pré-cambriano.

## 2.2. A irradiância das lâmpadas

Vistas as características do espetro solar na troposfera, e sua transformação até a superfície terrestre, para entender o impacto da iluminação artificial sobre a vida silvestre é indispensável verificar o espectro de irradiância dos sistemas de iluminação hoje utilizados, e a propagação da radiação do conjunto lâmpada/luminária, para compará-los com a radiação natural.

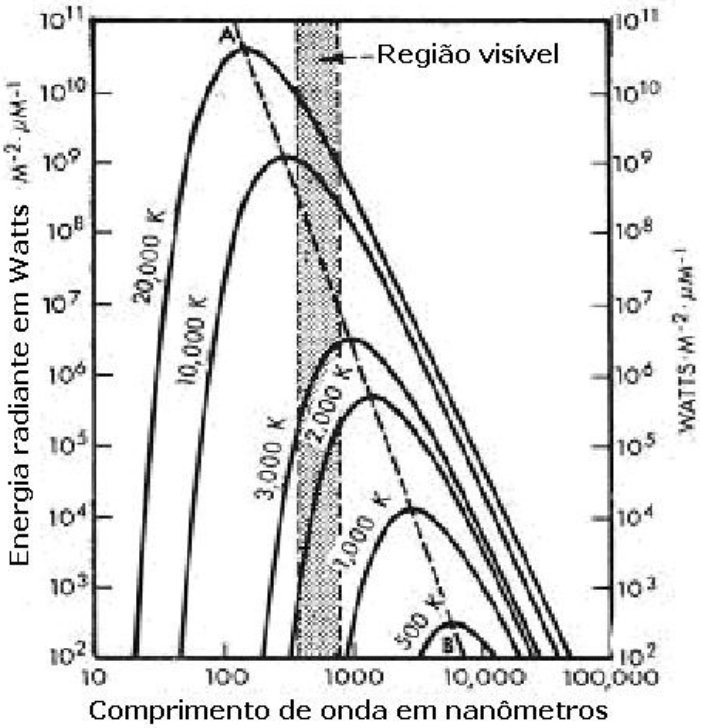
Estudando o poder de emissão das lâmpadas do ponto de vista da composição do espectro, é possível dividir os modelos hoje comercializados em dois grandes grupos: lâmpadas incandescentes e lâmpadas de descarga. Cada um desses grupos divide-se por sua vez em dois subgrupos: as lâmpadas incandescentes se dividem em lâmpadas a tungstênio tradicionais e lâmpadas a halogênio; as lâmpadas de descarga dividem-se em lâmpadas de descarga simples e lâmpadas fluorescentes. Existe finalmente um último tipo de sistema de iluminação, que poderá se afirmar em um futuro próximo, representado pelos diodos emissores de luz (LED – *Light Emitting Diods*) do qual trataremos mais adiante.

### Lâmpadas incandescentes

A família de lâmpadas incandescentes representa a evolução do modelo mais antigo de lâmpadas elétricas, as lâmpadas a filamento de carvão. O princípio físico da irradiância das lâmpadas incandescentes é simples: passando uma corrente elétrica em um filamento (hoje em geral de tungstênio), este se aquece pelo princípio de Joule, e é levado à incandescência.

O espectro da energia radiante desse tipo de lâmpada segue muito de perto a irradiância de um corpo negro, cuja distribuição espectral é determinada pela fórmula de Stefan-Boltzmann, e depende da temperatura na qual o filamento é aquecido. Todos os corpos emitem e absorvem radiação eletromagnética e, quando aquecidos até a incandescência, começam a emitir radiação na faixa visível. Como visto no capítulo 2.1., todos os estudos sobre a irradiância dos corpos são realizados em relação à irradiância de um corpo negro e são descritas pelas leis de Plank e de Stefan-Bolzmann.

A Figura 2.2. 1. reproduz a curva de distribuição da energia radiante por comprimento de onda de um corpo negro para algumas temperaturas.




*Fonte: Modificado de IESNA 1999*

**Figura 2.2. 1.** *Distribuição por comprimento de onda da energia radiante de um corpo negro entre 500 e 20.000 K, mostrando, ao longo da reta A-B, o deslocamento do pico de Wien. A região da radiação visível é hachurada.*

Como é possível notar, todas as curvas registram um máximo e, com o aumento da temperatura do corpo, o máximo da energia radiante por comprimento de onda desloca-se em direção à radiação ultravioleta. O deslocamento segue a lei de Wien, pela qual o comprimento de onda da distribuição espectral na qual a energia radiante registra um máximo é inversamente proporcional à temperatura do corpo negro:

$$\lambda_{max} = b/T$$

onde:

***b*** = constante de deslocamento de Wien: 2,898 * $10^{-3}$ m-K;

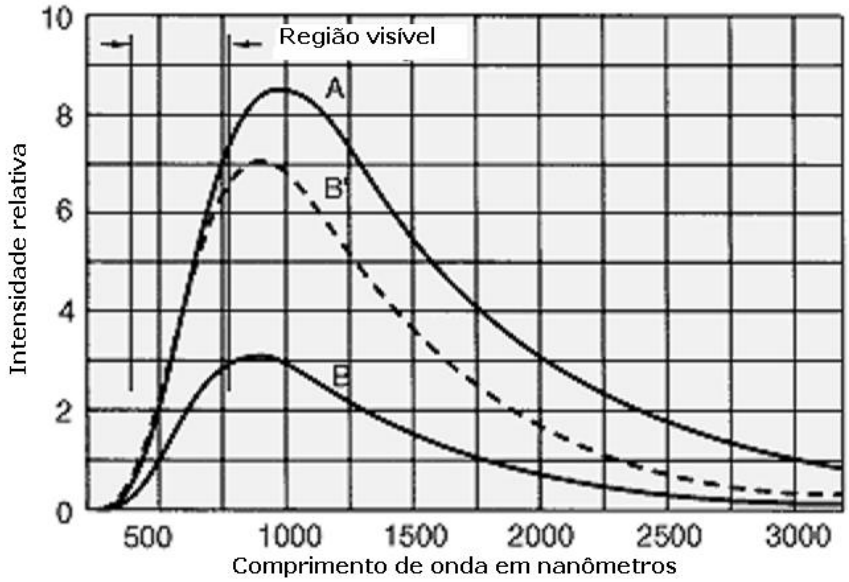
***T*** = temperatura absoluta em Kelvin

Observando o gráfico, podemos verificar três fenômenos distintos:

- ✓ O deslocamento do máximo da energia radiante, que ocorre ao longo da reta A-B, ou o deslocamento de Wien;
- ✓ A energia radiante irradiada na região da sensibilidade visual humana (hachurado na figura) nas diferentes curvas é pequena em relação à energia total emitida pelo corpo;
- ✓ O aumento da temperatura provoca o aumento da irradiância da radiação na banda do ultravioleta.

Limites físicos, como a temperatura de fusão e de evaporação do metal do qual é composto o filamento, determinam a temperatura máxima que é possível atingir. Por outro lado, o próprio filamento não é um corpo perfeitamente negro. Para contornar essa limitação, os filamentos das lâmpadas incandescentes são construídos em forma de espiral, aumentando a área de emissão, e registram um efeito de aproximação ao corpo negro pelo aumento da área de energia radiante proporcionada pela espiral. Ainda assim a irradiância de um filamento de tungstênio é considerada cinza, e não negra. A Figura 2.2.2. mostra a distribuição espectral da energia radiante de um corpo negro, e de 1 e 2,27 cm quadrados de tungstênio. Notar, no gráfico, a aproximação da curva do tungstênio com a curva do corpo negro na região visível, e a forte diferença na faixa do infravermelho.

A temperatura do filamento determina, em teoria, a irradiância por comprimento de onda e indiretamente a temperatura de cor da radiação emitida, além do rendimento cromático da fonte luminosa. O aumento da temperatura do filamento é, portanto, importante para aproximar a iluminação artificial da luz diurna que, como vimos, se aproxima à radiação de um corpo negro a uma temperatura de 6.050 K. Por outro lado, como pode ser notado na Figura 2.2.2., apenas uma pequena parcela da energia radiante de uma lâmpada é emitida na faixa visível pelo ser humano. Portanto, a eficiência desse tipo de lâmpada é baixa: dependendo da temperatura de cor varia entre 5 e 8%.




*Fonte: Modificado de IESNA 1999*

**Figura 2.2. 2.** *Características da energia radiante de um filamento de tungstênio. Curva A: fluxo radiante de um centímetro quadrado de um corpo negro a 3.000 K. Curva B: fluxo radiante de um centímetro quadrado de tungstênio a 3.000 K. Curva B': fluxo radiante de 2,27 centímetros quadrados de tungstênio a 3.000 K (igual à curva na região visível).*

Nas lâmpadas incandescentes convencionais, o filamento encontra-se em vácuo, ou em um gás inerte. O limite da vaporização do tungstênio (3.655 K) obriga, portanto, a trabalhar com temperatura bem inferior, entre 2.400 e 2.600 K, nas lâmpadas a vácuo, fornecendo uma luz com um tom avermelhado, e proporcionando uma baixa eficiência. O aumento da temperatura do filamento tem o objetivo de aumentar a eficiência e melhorar o rendimento cromático da iluminação artificial. Para contornar o problema da evaporação do tungstênio, nas lâmpadas a halogênio é introduzido um gás que tem a capacidade de regenerar o tungstênio evaporado e, quando a lâmpada é apagada, depositá-lo no filamento, regenerando-o. Com essa alternativa, é possível trabalhar com uma temperatura maior do filamento (entre 2.700 e 3.050 K), fornecendo uma cor mais "branca".

O aumento da temperatura do filamento determina também o tipo de vidro que pode ser utilizado, portanto, contra um vidro de boro silicato, normalmente utilizado nas lâmpadas incandescentes, as lâmpadas a halogênio utilizam vidros especiais, como o quartzo. Esse fato altera o espectro da radiação emitida pela lâmpada, porque os dois tipos de vidro registram

diferente capacidade de filtrar a radiação nos diversos comprimentos de onda. Enquanto o vidro de boro silicato é praticamente impermeável às radiações ultravioleta C e B, e parcialmente permeável à radiação ultravioleta A, o quartzo é fundamentalmente permeável à radiação ultravioleta. Portanto, esse último tipo de lâmpada, além de possuir maior componente ultravioleta devido ao aumento da temperatura do filamento, não possui o efeito de filtro do vidro. O componente ultravioleta das lâmpadas a halogênio é tão elevado que em muitos paises é proibida a comercialização de lâmpadas sem um vidro de proteção. (Sayre *et al* 2004; CIE 1981).

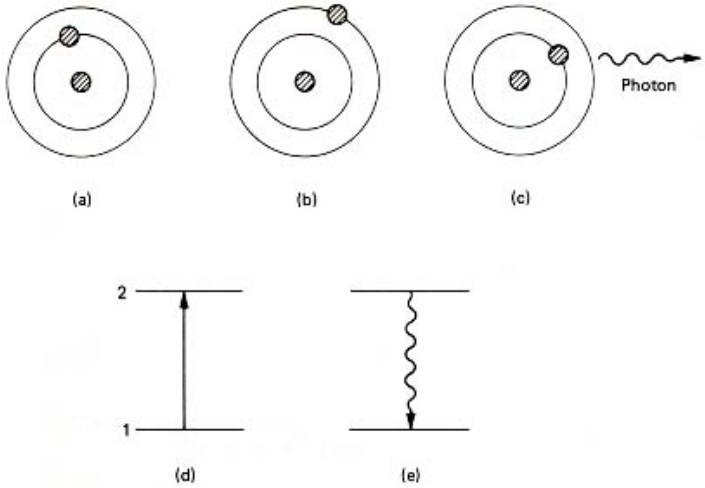
As conseqüências desse fato são bastante amplas para a iluminação artificial: na prática, as lâmpadas incandescentes, quando registram uma temperatura de cor superior a 2.700 K podem registrar um percentual de radiação ultravioleta sensivelmente superior ao registrado na luz "natural" que, como vimos no segundo capítulo, pode atingir uma temperatura de cor de 6.050 K, mas cuja radiação sofre a interferência da atmosfera e em especial da camada de ozônio, que filtra a radiação ultravioleta C e B e boa parte da radiação UV A.

### Lâmpadas de descarga

O limite da temperatura do filamento e a distribuição da radiação nas lâmpadas incandescentes induziram, desde o início do desenvolvimento de sistemas de iluminação elétrica, a projetar lâmpadas baseadas no princípio da descarga. O princípio no qual são baseadas as lâmpadas de descarga é simples: a passagem da energia em um gás ionizado determina um salto quântico dos elétrons do átomo do gás do estado fundamental (Figura 2.2. 3. a.d.) a um novo nível energético (Figura 2.2.3..a.b.). Os elétrons, que absorvem energia, retornando ao seu estado fundamental (Figura 2.2. 3. c.e.), emitem uma radiação cujo comprimento de onda depende da diferença de energia entre os dois níveis da órbita do elétron. Dependendo do gás utilizado, os níveis energéticos são variáveis, e são representados nos diagramas grotrianos do próprio gás.

Os espectros das lâmpadas de descarga não são contínuos, mas dependem especificamente do tipo de gás utilizado e do nível energético da lâmpada (pressão na qual se encontra o gás). Resolvendo o problema da temperatura de fusão do material com o qual é realizado o filamento, as lâmpadas de descarga podem ser muito mais eficientes que as

incandescentes, mas a radiação tende a apresentar um rendimento cromático inferior ao de uma lâmpada incandescente porque o espectro de emissão não é contínuo e depende da natureza dos gases. Por outro lado, uma vez que a energia radiante das lâmpadas depende da natureza do gás, existem limites quanto ao espectro das mesmas, já que parte da radiação emitida pode se encontrar fora da faixa visível.




*Fonte: Cayless e Marsden, 1983*

**Figura 2.2. 3.** *Excitação e emissão espontânea de radiação por parte de um átomo, princípio no qual são baseadas as lâmpadas de descarga.*

Uma maneira de contornar o problema reside em utilizar diferentes pressões de exercício da lâmpada, como se verifica, por exemplo, nas lâmpadas a vapor de sódio a alta e a baixa pressão, ou nas lâmpadas a vapor de mercúrio, a alta ou baixa pressão, ou utilizando misturas de gases diferentes, como se verifica nas lâmpadas a vapores metálicos. Outro caminho consiste em utilizar uma radiação não visível (na banda do ultravioleta) para excitar materiais fotossensíveis – os fósforos – que, recebendo radiação ultravioleta são excitados e, retornando ao seu nível energético de base, voltam a emitir na banda visível. É esse o procedimento utilizado nas lâmpadas fluorescentes, que são lâmpadas de descarga, mas nas quais a radiação visível é fornecida pela emissão dos fósforos.

## Lâmpadas de descarga simples

Apesar de existir uma grande variedade de modelos e de regimes de funcionamento, as lâmpadas de descarga simples podem ser agrupadas em três famílias, que abrangem mais duas subfamílias: vapor de mercúrio, a alta e a baixa pressão; vapor de sódio, a alta e a baixa pressão; e vapores metálicos.

### Vapor de mercúrio

O diagrama grotriano do mercúrio (Figura 2.2. 4.) mostra as bandas de energia radiante possíveis nesse tipo de lâmpada dependendo do nível energético do gás.

Como pode ser visto no diagrama, as lâmpadas a vapor de mercúrio a baixa pressão emitem energia radiante na banda fundamental de 253,7 nm, na região do ultravioleta C, não visível, e altamente prejudicial à saúde. Essa lâmpada, utilizando um invólucro de quartzo, permeável à radiação ultravioleta, encontra uso apenas para esterilização, já que esse comprimento de onda tem propriedades bactericidas.

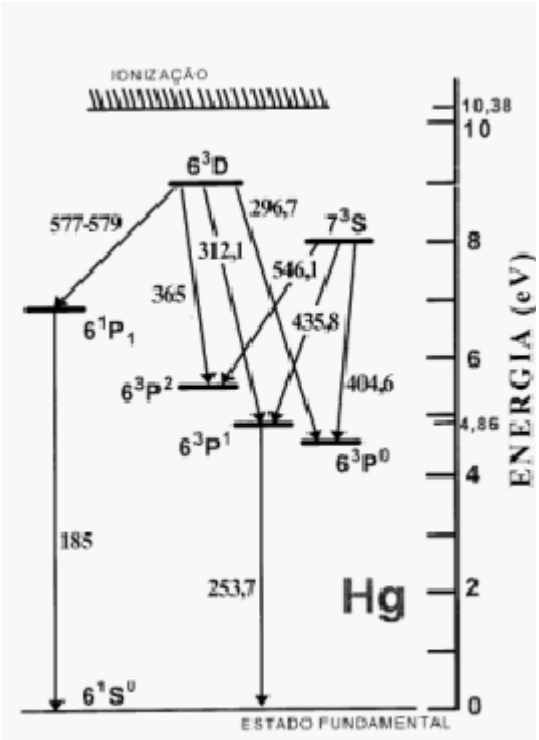
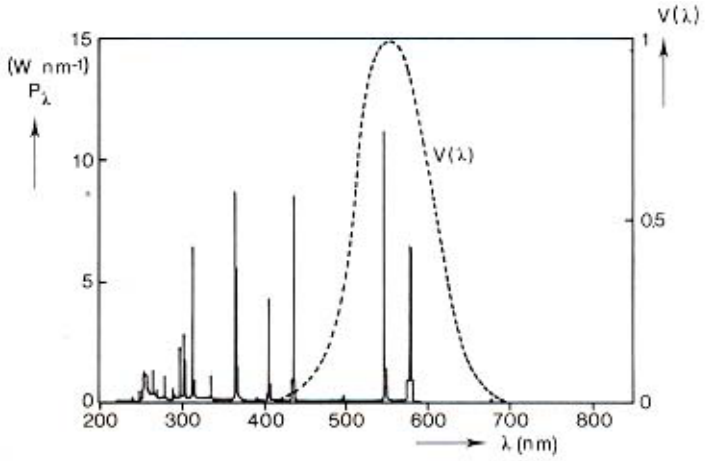



**Figura 2.2. 4** *Diagrama grotriano do mercúrio, fornecido pelo prof. Walter Kaiser da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.*



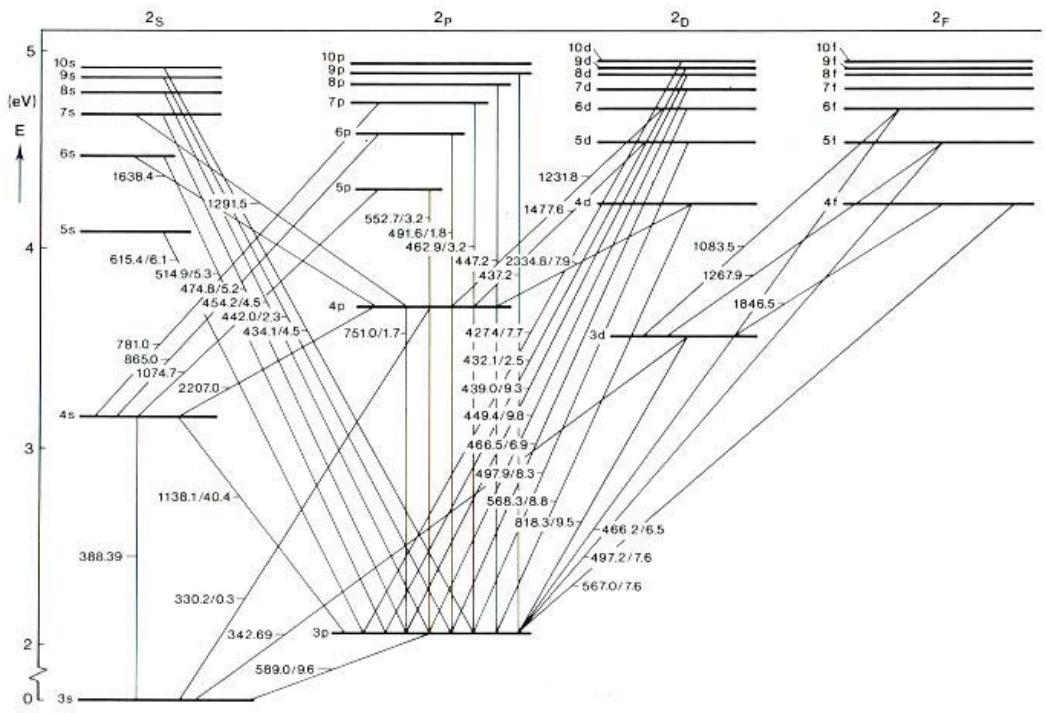

*Fonte: DeGrot e van Vliet, 1986.*

**Figura 2.2. 5.** *Energia radiante por comprimento de onda de uma lâmpada a vapor de mercúrio a alta pressão (400 W) comparada com a curva da sensibilidade espectral fotópica do olho humano.*

É importante notar que, enquanto as radiações ultravioleta C e B, perigosas para a saúde, são parcialmente filtradas pelo envoltório de vidro da lâmpada, a radiação ultravioleta A não é filtrada pelos vidros convencionais.

**Vapor de sódio**

O diagrama grotriano do átomo do sódio coloca em destaque as qualidades e as limitações desse gás quando utilizado em lâmpadas de descarga. De fato, o sódio, uma vez que a radiação do estado fundamental encontra-se na região visível (589 nm), é um gás que se adapta melhor à elaboração de lâmpadas de descarga eficientes. A principal limitação reside no fato que a radiação é concentrada na região do amarelo.




*Fonte: DeGrot e van Vliet, 1986*

**Figura 2.2. 6**. *Diagrama grotriano dos estados do sódio.*

Na lâmpada a vapor de sódio a baixa pressão a emissão é integralmente concentrada na região visível, em 589-589,6 nm, portanto, é a lâmpada que registra a maior eficiência entre as hoje disponíveis no mercado.

Do ponto de vista prático, sendo monocromática, essa lâmpada não permite discriminação das cores. Por outro lado, deve-se ressaltar que a curva da visibilidade humana à qual a energia radiante é comparada é a curva da sensibilidade diurna, ou visão fotópica. A eficácia efetiva da iluminação a vapor de sódio a alta pressão pode ser um pouco inferior àquela das lâmpadas a vapor de mercúrio.

Apesar de ser com freqüência considerada não estética, a lâmpada a vapor de sódio a baixa pressão registra algumas vantagens que merecem ser destacadas:

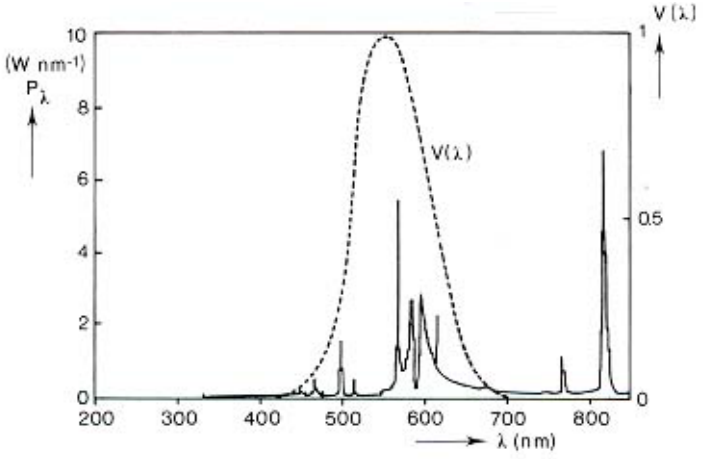
- A luz monocromática amarela não é difratada pela neblina, portanto, em ambientes úmidos apresenta-se como uma fonte de alta penetração, que assegura boa visibilidade.

- Do ponto de vista entomológico, a radiação amarela é pouco visível para a maioria dos insetos, portanto, o uso da iluminação monocromática representa um bom mecanismo para minimizar a atração de insetos.
- Do ponto de vista da astronomia, é a única fonte de iluminação artificial recomendada pela associação dos astrônomos, hoje preocupados com a poluição luminosa que interfere na observação do céu. Tratando-se de uma radiação monocromática, é simples colocar um filtro de banda na região da energia radiante do sódio, eliminando-se assim a poluição visual que perturba a observação astronômica. (Cfr.: Darksky; 2003)

Na lâmpada a vapor de sódio a alta pressão, como mostra o gráfico, as bandas fundamentais de energia radiante continuam a ser concentradas em volta da radiação amarela, com apenas alguma radiação em torno de 500 nm.

Apesar de fornecer um rendimento cromático baixo, a lâmpada a alta pressão ainda permite a discriminação das cores e registra uma baixa atratividade para os insetos.

Hoje, na tentativa de melhorar o rendimento cromático das lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão, são introduzidos na lâmpada alguns gases, como o mercúrio e o xenônio, que facilitam a partida a frio, e em parte contribuem na energia radiante das lâmpadas. A tecnologia está em evolução tão rápida que faltam informações atualizadas confiáveis sobre os espectros da energia radiante. Além disso, existe uma diferença entre a produção européia, mais sensível ao problema do meio ambiente, e a produção norte- americana. Nas lâmpadas européias, definidas como *mercury free* (isentas de mercúrio) utiliza-se principalmente o xenônio. Não existem, porém, gráficos disponíveis dessas lâmpadas. Medições realizadas por De Groot e vanVliet (1986), com misturas de gases, indicam o diferente impacto registrado com a adição de mercúrio e de xenônio sobre a irradiância no UV. Enquanto uma lâmpada apenas com sódio registra um percentual de UV de apenas 0,2% sobre a energia absorvida, a irradiância na banda do UV passa a 0,5% no caso do mercúrio e a 0,4% no caso do xenônio.




*Fonte: DeGrot e van Vliet, 1986*

**Figura 2.2. 7.** *Energia radiante por comprimento de onda de uma lâmpada a vapor de sódio a alta pressão (SON 400 W) comparada com a curva da sensibilidade fotópica espectral do olho humano.*

Esses dados são, porém, pouco claros uma vez que representam percentuais de irradiância sobre a energia total absorvida pela lâmpada, e a quantidade de radiação emitida na banda visível varia de lâmpada para lâmpada. Normalizando os dados, e calculando a irradiância na banda do UV em relação à irradiância na banda visível (para visão fotópica humana), obtemos valores bem diferentes, conforme mostrado na tabela 2.2. 1. A tabela demonstra que a incidência percentual da radiação UV dobra em alguns casos, quando a energia é calculada sobre a quantidade de energia visível emitida e não sobre a energia total absorvida pela lâmpada porque um percentual desta é dissipado em forma de calor por condução e de radiação infravermelha. Tratando-se da visão dos insetos, e não do homem, porém, esses valores podem ser considerados subestimados, já que os insetos possuem uma sensibilidade reduzida na região do vermelho, portanto o percentual de UVA sobre a irradiância visível para os insetos aumenta de forma significativa.

**Tabela 2.2. 1.** *Energia radiante visível e ultravioleta em lâmpadas a vapor de sódio**

| Tipos de Lâmpadas | UV% | Vis%** |
|---|---|---|
| Na | 0,61 | 99,39 |
| Na+Hg | 1,20 | 98,79 |
| Na+Xe | 0,43 | 99,56 |
| Standard HPS | 1,54 | 98,45 |
| Standard HPS+ Xe | 0,83 | 99,16 |

*Barghini 2003, sobre dados de De Groot e van Vliel (1986)*

** Distribuição da radiação visível (para o homem) e da radiação ultravioleta em lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão*

*** N.B. A radiação visível é calculada na base da curva da visão fotópica humana*

A confirmação do poder atrativo do componente ultravioleta das lâmpadas a vapor de sódio-xenônio a alta pressão pode ser encontrada na experiência realizada por Eisenbeis e Hassel (1999).

**Vapores metálicos**

Para contornar o baixo rendimento cromático das lâmpadas a vapores de mercúrio e de sódio, a indústria desenvolveu uma nova família de lâmpadas, nas quais outros vapores metálicos concorrem para gerar uma radiação mais próxima, para o olho humano, a uma radiação branca.

É difícil, dentro da grande variedade de lâmpadas a vapores metálicos, identificar espectros característicos, porque a quantidade e o tipo de vapores utilizados é muito grande e, tratando-se de lâmpadas de descarga, as linhas espectrais de energia radiante dos diferentes gases são fundamentais para a identificação dos espectros.

De uma forma geral, ainda assim é possível indicar algumas características básicas das lâmpadas a vapores metálicos. Sendo fundamentalmente lâmpadas de descarga, cujo conteúdo básico é o mercúrio, o espectro deste representa a base da energia radiante, à qual são

adicionadas linhas espectrais de outros gases. Dependendo da mistura de gases, o rendimento cromático das lâmpadas pode ser aproximado ao de uma luz "branca". As lâmpadas a vapores metálicos, porém, registram um forte componente ultravioleta, razão pela qual são especialmente agressivas para o ambiente. (Fonte: http://www.highend.com/news/metalhalide.html)

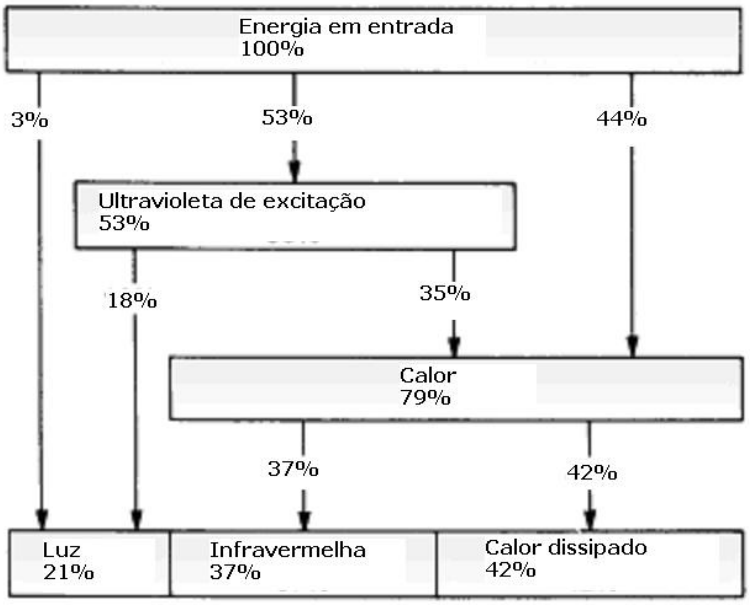
### Fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes, nos seus vários modelos retos e compactos, registram como origem uma lâmpada a vapor de mercúrio a baixa pressão, cuja radiação é transformada, com a interferência dos fósforos, em radiação visível.

A Figura 2.2. 8. mostra a distribuição da energia na transformação de uma lâmpada fluorescente.

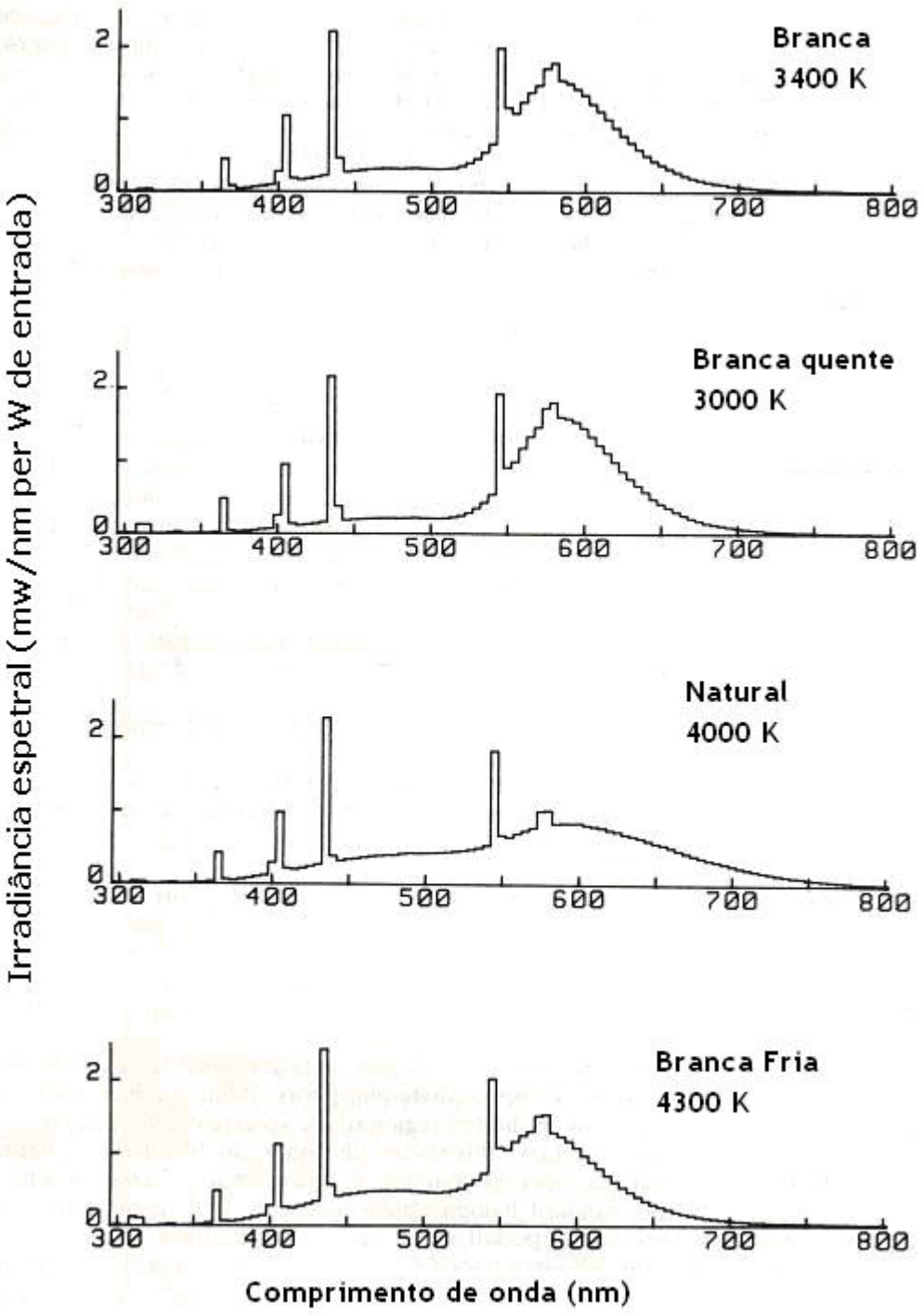
Dependendo do tipo de fósforos utilizados (por uma resenha cfr. IESNA, 1999 e Cayless e Marsden, 1983), o espectro da radiação emitida pode ser bastante variado, sendo possível projetar lâmpadas com espectros bem diferenciados. As figuras 2.2.9 e 2.2.10. fornecem os gráficos da radiação de uma série de lâmpadas, mas existe hoje um número muito maior de espectros disponíveis.

Sendo a lâmpada fluorescente originária de uma lâmpada a vapor de mercúrio a baixa pressão, grande parte da radiação não visível é convertida em radiação visível, levando a um aumento da eficiência (sobre a problemática da eficiência, cfr: Dutt, 1994). Em teoria, a radiação ultravioleta presente não convertida em radiação não visível deveria ser bloqueada pelo vidro. Mas, na realidade, como mostra o gráfico, e como confirma a permeabilidade da radiação ultravioleta A ao vidro, existe uma banda de emissão em 365, exatamente dentro da faixa da sensibilidade da UV A dos insetos, que não é filtrada. Todas as lâmpadas fluorescentes tendem, portanto, a registrar uma atração relativa dos insetos, por essa banda específica, independente da distribuição espectral nas outras bandas. Por outro lado, surgem críticas cada vez mais freqüentes sobre o excesso de energia radiante na UV A nas lâmpadas fluorescentes.



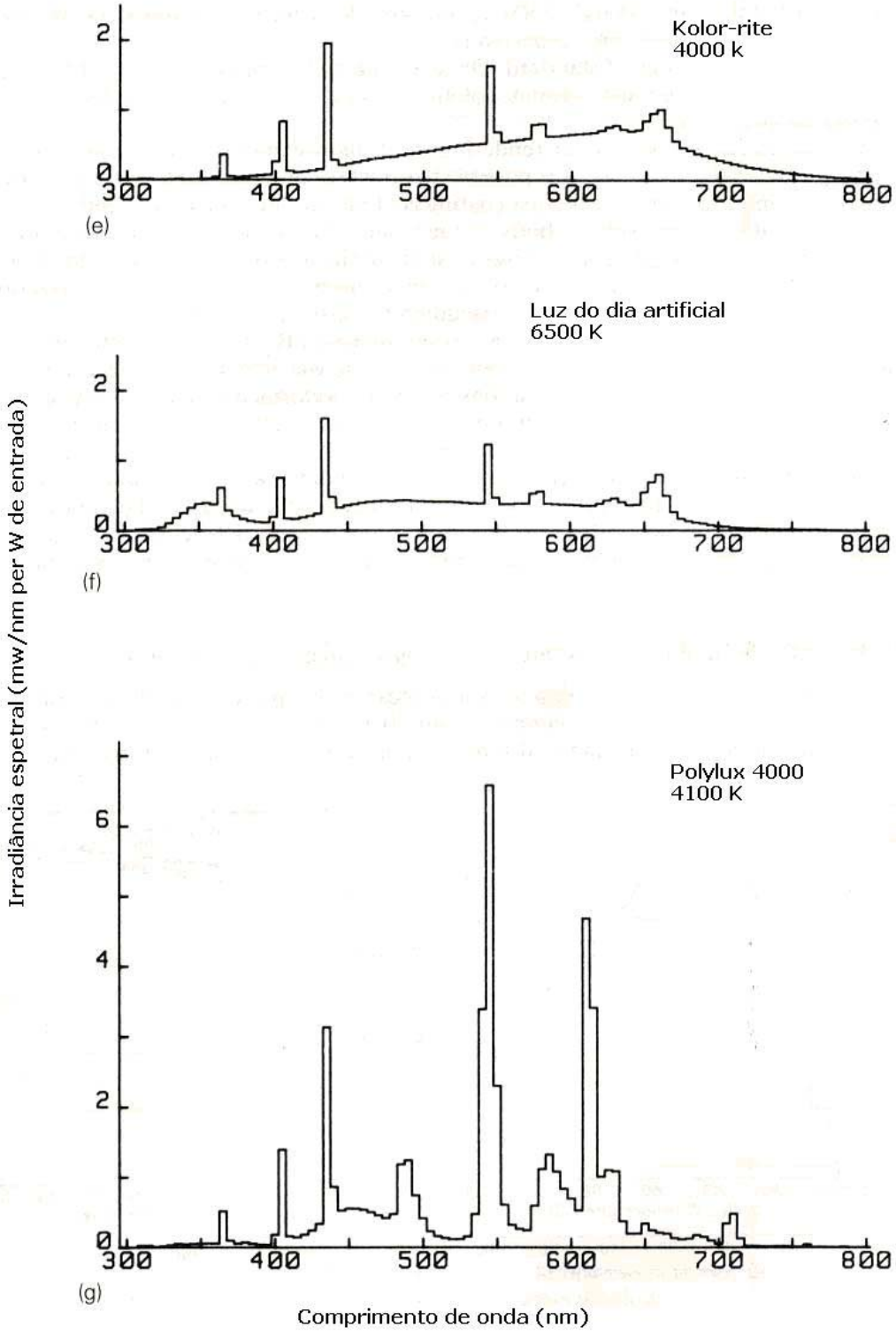

*Fonte: Modificada de IESNA 1999*

**Figura 2.2. 8.** *Distribuição típica da energia em uma lâmpada fluorescente modelo White cool (Branca Fria).*




*Fonte: Modificado de Cayless e Marsden, 1983*

**Figura 2.2. 9.** *Energia radiante espectral de lâmpadas fluorescentes comerciais de diferentes temperaturas de cor.*




*Fonte: Modificado de Cayless e Marsden, 1983*

**Figura 2.2.10.** *Energia radiante espectral de lâmpadas fluorescentes comerciais de diferentes temperaturas de cor.*

Em parte para responder a essas críticas, alguns fabricantes desenvolveram lâmpadas fluorescentes com um filtro de UV incorporado. Por exemplo, a GE (ref. http://www.gelighting.com/na/downloads/gld_covrgrd.pdf, consulta 10/05/2004) lançou a linha *Gold*, na qual o tubo de vidro é recoberto por uma película de Lexan ® (um polímero policarbonato), que possui um tratamento de filtro seletivo da radiação UV A. Conforme declaração do fabricante, as lâmpadas *Gold* possuem filtragem total da UV C, UV B e UV A, atenuando também a radiação visível entre 400-520 nm

### LED – *Light Emitting Diods*

Existe uma última classe de fontes de iluminação artificial, que poderia em um futuro muito próximo, se transformar no sistema mais utilizado na iluminação, pública e privada. Trata-se dos diodos emissores de luz: LED, ou *Light Emitting Diods*. Como indica o próprio nome, diferente das lâmpadas incandescentes e de descarga, os LEDs são baseados no princípio dos diodos eletrônicos. Um chip semicondutor no qual a junção *p-n* contém impurezas, ou é dopada. Como nos diodos, a corrente passa do cátodo, ou lado *p*, ao ânodo, ou lado *n*. Existindo uma diferença de potencial entre as duas junções, cria-se um fluxo de elétrons. Quando um elétron encontra um *gap* (furo), ele cai a um nível energético inferior, emitindo um fóton e gerando dessa forma eletroluminescência.

Tratando-se de um processo que utiliza a física do estado sólido, ele pode ser sensivelmente mais eficiente que os sistemas tradicionais de iluminação. Dependendo da estrutura de montagem de um conjunto de LED, existe uma grande flexibilidade na irradiância da fonte luminosa.

O processo é antigo, tendo sido descoberto paralelamente nos Estados Unidos e na União Soviética na década de 1920, mas os usos iniciais, depois da Segunda Guerra Mundial, foram limitados a utilizações de tipo eletrônico e painéis de controle. Com o desenvolvimento tecnológico, visando reduzir o consumo de energia elétrica, estão sendo realizados grandes investimentos para reduzir o custo de produção dos LEDs e torná-los mais eficientes e comercialmente viáveis. Tsao (2002), dos Sandia National Laboratories, avançou a hipótese de que, com adequados investimentos, a eficácia luminosa, em termos de lúmen por watt, poderia passar do valor atual de 25 l/w a 200 l/w em 2020. Desse modo, os LEDs tornar-se-iam o mais eficiente de todos os tipos de lâmpadas hoje disponíveis no mercado, inclusive as

lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão. Dois estudos preparados para o departamento de energia dos EUA mostram o grande potencial de redução do consumo de energia nesses equipamentos, e aconselham grandes programas de incentivo à pesquisa tecnológica e à sustentação comercial desses novos dispositivos (Navigant Consulting Inc. (2003); Kendall, M; Scholand, M (2001)).

Tratando-se de equipamentos ainda em fase inicial de comercialização, não merece ser analisado esse tipo de nova fonte de iluminação; merece, porem, serem feitos três comentários, um negativo, dois positivos.

Do ponto de vista negativo, a história dos últimos duzentos anos da iluminação mostra, conforme será visto no capítulo 2.3, que o limite ao fluxo luminoso é econômico e não fisiológico. Com o barateamento do custo do lúmen/hora, o desejo de iluminação parece aumentar exponencialmente, portanto, fontes mais baratas de iluminação podem levar a aumentar os atuais fluxos luminosos utilizados.

Do ponto de vista positivo é possível mencionar o fato de que o espectro de irradiância dos LEDs é muito mais flexível que o das lâmpadas incandescentes e de descarga; será, portanto, possível, existindo a vontade, montar sistemas de iluminação menos agressivos para o meio ambiente e para o homem. O segundo fato positivo é que, diferente das lâmpadas de descarga, cuja eficácia luminosa aumenta com a potência, nos LEDs é possível manter a mesma eficácia também em potências reduzidas. Esse fato permite montar sistemas localizados de iluminação, de mínimo impacto. Por exemplo, na Holanda, em uma região na qual está sendo desenvolvido um teste de iluminação de mínimo impacto, a iluminação das ruas está sendo realizada com LEDs a baixa intensidade, que operam mais como balizas que como luminárias.

### Resumo do espectro das lâmpadas

Dentro da grande variedade de modelos e marcas de lâmpadas existentes, é possível sintetizar as características essenciais na base de um estudo detalhado realizado por Saunders (1989) da *National Gallery*, de Londres, expressamente para avaliar o impacto da iluminação artificial sobre objetos de museu. As pinturas são especialmente sensíveis à radiação ultravioleta, independente do comprimento de onda, portanto, essa é uma das áreas nas quais existem mais estudos.

A tabela a seguir, 2.28.2 confirma o que foi apresentado em detalhe nos pontos anteriores. Concluindo, em relação à emissão de ultravioleta A, as lâmpadas podem ser reunidas em três grupos: alto conteúdo de UV, representado pelas lâmpadas a halogênio, a vapores metálicos e a mercúrio. Essas lâmpadas devem ser radicalmente evitadas em ambiente nos quais exista alta concentração de insetos ou perigo de transmissão de doenças. Lâmpadas de conteúdo médio de UV: fluorescentes e incandescentes. Trata-se de tipos de lâmpadas que em geral são utilizados apenas em ambientes internos. Essas lâmpadas deveriam, em ambientes com alta infestação de insetos, possuir filtros de radiação ultravioleta. Lâmpadas com baixo conteúdo de UV: a esse grupo pertencem apenas as lâmpadas a vapor de sódio a alta e a baixa pressão. Os dados da tabela se tornam mais visíveis quando representados em forma de gráfico (figura 2.2.11).

**Tabela 2.2. 2.** *Conteúdo de ultravioleta em diferentes tipos de lâmpadas*

| Resumo das características de algumas lâmpadas | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **N.Prog.** | **Tipo e modelo** | **Temperatura de cor** (K) | **Rendimento. cromático** | **Conteúdo de UV** microwat/ lumen |
| | **Incandescentes** | | | |
| 1 | Modelo Standard Tungstênio | 2.860 | 99 | 74 |
| | **Fluorescentes** | | | |
| 2 | Thorn Kolor-rite | 3.930 | 89 | 85 |
| 3 | Philips 83/Wotan31 | 2.980 | 83 | 84 |
| 4 | Philips 84/Wotan21 | 4.030 | 82 | 89 |
| 5 | Philips 93/Wotan32 | 3.010 | 94 | 49 |
| 6 | Philips 84/Wotan22 | 3.780 | 95 | 43 |
| | **Tungstênio/Halogênio** | | | |
| 7 | Lâmpada vida curta | 3.400 | 100 | 165 |
| 8 | Standard (1000 horas) | 3.190 | 100 | 127 |
| 9 | Longa vida (2000 horas) | 2.990 | 100 | 94 |
| | **Vapores metálicos** | | | |
| 10 | Wotan HQI-E 250W/D | 5.010 | 87 | 471 |
| 11 | Wotan HQI-R 250W/D | 4.900 | 86 | 167 |
| 12 | Wotan HQI-TS 150W/NDL | 4.300 | 68 | 697 |
| 13 | Wotan HQI-TS 70W/WDL | 3.050 | 26 | 215 |
| | **Mercúrio fluorescents** | | | |
| 14 | Wotan HQL 125 | 4.210 | 48 | 765 |
| 15 | Wotan HQL-R 80W deluxe | 3.270 | 58 | 471 |
| 16 | Wotan HQL 125W super deluxe | 3.110 | 53 | 272 |
| | **Mercúrio fluorescentes-tungstênio** | | | |
| 17 | Wotan HWL 160W | 3.500 | 61 | 601 |
| 18 | Wotan HWL-R 160W deluze | 2.940 | 68 | 368 |
| | **Sódio a alta pressão (SON)** | | | |
| 19 | Wotan NAV-T 400W | 2.300 | 23 | 31 |
| 20 | Wotan Nav 400W deluxe | 2.300 | 63 | 24 |

*Barghini 2003, baseada em dados de Saunders, 1989.*

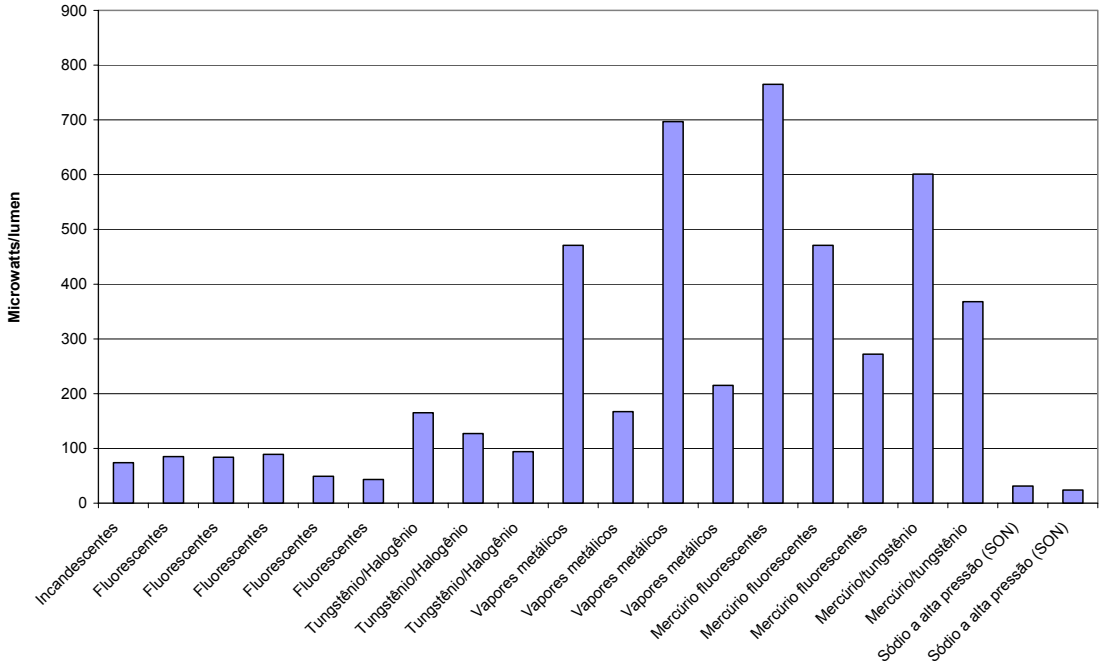



**Figura 2.2.11.** *Representação gráfica do conteúdo de radiação UV em diferentes modelos de lâmpadas comerciais. O modelo da lâmpada segue as especificações da Tabela 2.2. 2.*

## Poder de filtragem de materiais

Na iluminação externa, as lâmpadas estão sempre alojadas em um invólucro representado pela luminária, que tem a função de dirigir o feixe luminoso e proteger a própria lâmpada. Já que o envoltório da lâmpada, dependendo do material de que é feito, filtra parcial ou totalmente alguns comprimentos de onda, a proteção da lâmpada não é neutra em relação à energia radiante do conjunto.

Para reduzir a transmitância da radiação ultravioleta existem diversos materiais e tratamentos de superfície, mas em geral a literatura de engenharia da iluminação é concentrada sobre a UV C e B, prejudiciais à saúde humana e com efeitos de degradação sobre materiais orgânicos, e não sobre a radiação UV A. Entre as várias resenhas da literatura pertinente, Bergman et al. (1995) fornecem um quadro bastante detalhado.

A maioria dos vidros de diferentes composições bloqueia apenas parcialmente a radiação UV A. Ao contrário, os materiais plásticos mostram-se impermeáveis a essa radiação. A desvantagem dos materiais plásticos é que tendem a degradar-se com a exposição

à radiação UV e não são resistentes à temperatura. Os melhores filtros de radiação UV devem ser, portanto, multiestratos.

Utilizando os dados de David Saunders (1989), da National Gallery, de Londres, é possível agrupar as características dos filtros em duas classes: os resistentes à alta temperatura, e os não resistentes à alta temperatura.

**Tabela 2.2. 3. Filtros de UV resistentes à temperatura**

**Efeito de filtragem de alguns materiais resistentes à temperatura.**

| Filtro | Deslocamento da temperatura de cor K | Conteúdo de UV Microwatts/lumen | | Redução Radiação UV |
|---|---|---|---|---|
| Testemunho | 0 | 165 | 165 | 0% |
| Vidro Borosilicato | 10 | 155 | 155 | 6% |
| Filtro Ultravioleta Thorn | 0 | 135 | 135 | 18% |
| Vidro comum de janelas | 10 | 125 | 125 | 24% |
| Vidro Pilkington MR2 | -30 | 84 | 84 | 49% |
| Filtro Ultravioleta Erco | -110 | 43 | 43 | 74% |
| Vidro Schott Oralan | -190 | 33 | 33 | 80% |
| Vidro Schott Uviles1 | -170 | 7 | 7 | 96% |
| Filtro dicroíco Baush & Lomb | 30 | <1 | 0,5 | 100% |
| Filtro dicroico Balsers | -70 | <1 | 0,5 | 100% |

*Barghini 2003, baseada em dados de Saunders, 1989.*

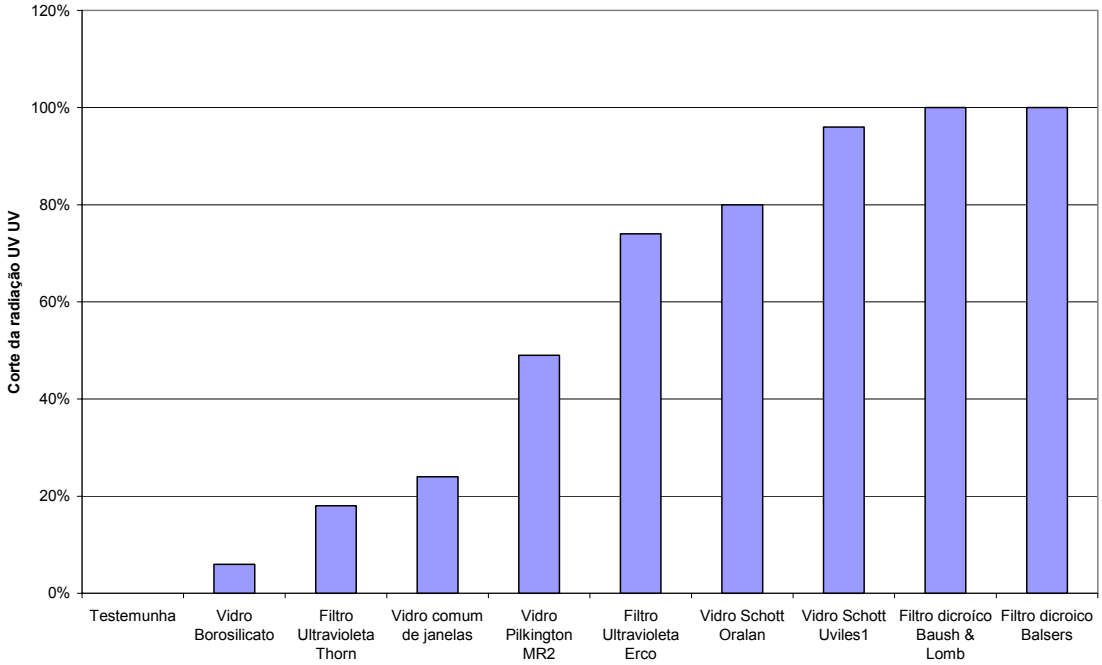



**Figura 2.2. 12.** *Filtros UVA resistentes à temperatura***.**

Quando se passa, porém, dos materiais resistentes ao calor aos materiais não resistentes ao calor, geralmente polímeros termoplásticos, como acrílico e policarbonato, a situação muda profundamente.

As figuras 2.2.12 e 2.2.13. reproduzem, a título de síntese, o corte percentual da radiação UV dos diversos tipos de filtro a baixa temperatura.

**Tabela 2.2. 4.** *Filtros de UVA a baixa temperatura.*

| Efeito de filtragem de alguns filtros de baixa temperatura | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Filtro | Deslocamento da Temperatura de cor (K) | Conteúdo de UV microwatts/lúmen | | Redução Radiação UV |
| | Testemunho | 0 | 85 | 85 | 0% |
| 1.a | Camisa fluorescente Erco | -50 | 2 | 2 | 98% |
| 1.b | Camisa fluorescente Encapsulite | -50 | 1 | 1 | 99% |
| 1.c | Camisa fluorescente Morden | -130 | 1 | 1 | 99% |
| 1.d | Camisa fluorescente Chamberlain | -90 | <1 | 0,5 | 99% |
| 2.a | Acrílico Plexiglas 209 3mm | -10 | 12 | 12 | 86% |
| 2.b | Acrílico Plexiglas 202 3mm | -50 | 11 | 11 | 87% |
| 2.c | Policarbonato Lexan 3mm | -70 | 2 | 2 | 98% |
| 2.d | Acrílico Perspex VE 3mm | -80 | <1 | 0,5 | 99% |
| 2.e | Policarbonato Makrolon 281 3mm | -30 | <1 | 0,5 | 99% |

*Barghini 2003, baseada em dados de Saunders, 1989.*

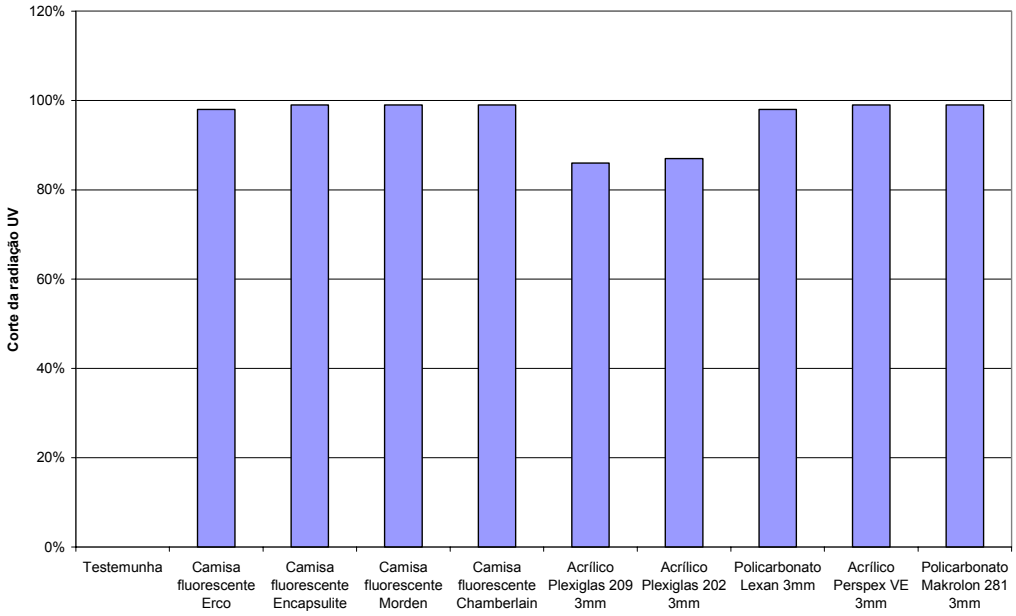



**Figura 2.2. 13** *Filtros de UVA a baixa temperatura.*

## 2.3. A difusão da iluminação artificial e o debate sobre seu uso

Acostumados a uma ampla disponibilidade de iluminação artificial, interna e externa, temos dificuldade em entender que o uso em larga escala de iluminação artificial é um fato recente: na maioria dos países tem pouco mais de 50 anos, e ainda hoje em muitos países o nível de utilização da iluminação é extremamente reduzido comparado com os grandes centros urbanos. As razões desse fato são técnicas e econômicas. De um ponto de vista técnico, obter uma boa iluminação artificial é complexo e apenas uma evolução de mais de 200 anos na elaboração de novos sistemas de iluminação permitiu atingir os atuais níveis de eficiência. Por outro lado, antes do desenvolvimento das lâmpadas elétricas a vácuo, a iluminação, realizada com chama de velas, óleo ou de gás era poluente e perigosa. Do ponto de vista econômico, exatamente pela baixa eficiência da produção de radiação eletromagnética visível dos sistemas tradicionais, dispor de luz artificial abundante representava uma despesa que não podia ser sustentada pela maioria das famílias. A afirmação de Fouquet e Pearson (2006: 139), de que "antes da metade do século XIX, a maior parte das pessoas vivia em uma escuridão quase completa, exceto na presença do sol ou da lua" representa provavelmente uma boa descrição do estado da iluminação externa pública e privada na história da humanidade.

Apesar de o homem ter conseguido controlar o fogo provavelmente entre 400 e 200 mil anos atrás (Steven 1989), uma chama, para assegurar um fluxo de radiação visível razoável, precisa atingir altas temperaturas, coisa que não é fácil de se obter sem sistemas específicos de queima. Se observarmos os sistemas de iluminação antes da revolução tecnológica do século XIX, podemos perceber que o progresso foi mínimo em relação ao Paleolítico. Conforme apontado por Harrison (1958), já nas cavernas do Paleolítico europeu encontram-se tochas de madeira e lâmpadas com óleo, que, com níveis maiores ou menores de sofisticação, dominaram a iluminação artificial antes do século IXIX. O único outro artefato importante para iluminação não encontrado no Paleolítico, a vela, é provavelmente mais tardio, e os primeiros testemunhos se encontram no Egito a partir do 3º milênio em todos os casos, não existe registro arqueológico antes da época histórica. Por outro lado, Leroi-Gourham (1973) notou que os sistemas de iluminação pré-industriais do ocidente e do oriente são profundamente similares, deixando imaginar uma origem comum, ou uma evolução convergente; afinal, as exigências de iluminação são similares em todos os povos, e os modos

de obter a iluminação são limitados. Certeiramente Harrison (1958) notou que, não só nas sociedades primitivas, mas também nas mais avançadas, a chama destinada a aquecer ou a cozinhar era, muitas vezes, suficiente para proporcionar o mínimo de iluminação artificial necessário para as tarefas noturnas. Em substância, a iluminação artificial era um luxo que muito poucas pessoas podiam se permitir, e ainda assim ela proporcionava apenas uma fraca radiação avermelhada, ou apenas alaranjada.

*Crédito/fonte Spiccarelli (2004)*

**Figura 2.3. I.** *Acanthobrahmaea europaea; "Psique do freixo"*

Apesar do pequeno efeito luminoso proporcionado por essas fontes de iluminação artificial, temos registro já na antiguidade da grande percepção de que a iluminação artificial atraía insetos: Aeschylus (525-456 A.C.) comentou no fragmento 288 o "triste fato da mariposa atraída pela luz", expressão que se tornou emblemática na literatura ocidental, sendo repetida, entre outros, pelo poeta inglês Percy Shelley e pelo ensaísta Ralph Emerson. Na cultura oriental existe o ditado chinês: "A mariposa atraída pela luz que queima as asas deve se queixar de si mesma". A percepção do efeito da atração da iluminação artificial era tão forte que a denominação de algumas espécies de lepidópteros noturnos pertencentes à família dos Psiquideos é *Psique (Psyquis)*. O termo é ainda hoje utilizado na linguagem popular em algumas regiões da Europa, por exemplo, na identificação da *Acanthobrahmaea europaea* (Figura 2.3.1.) "La Psiche del frassino" ou a "Psique do freixo" (Spicciarelli, 2002). Psique eram as mariposas noturnas, mas também a Alma, que a mitologia clássica representa com as

asas de uma mariposa. Por uma complexa simbologia, que de um lado via as metamorfoses da larva em mariposa como a alma libertando-se do corpo terrestre após a morte, e do outro a atração das mariposas pela luz como a lembrança da personagem mítica de Psique, cujo mito foi contado por Apuleio de Madaura (125-180 a.d.) no *Metamorphoseon* (4.28-6.24), psique e mariposa se identificavam (Erwin Rohde, [1890] 1970). Também outro termo da zoologia, *Falena*, utilizado para designar as borboletas noturnas da família dos Geometrídeos (mas hoje mais utilizado, especialmente no Brasil, onde essa espécie de lepidópteros não existe, em sentido metafórico para designar as meretrizes), vem do grego *phalaina*, que significa brilhar, para significar que esses insetos, atraídos à noite pela luz, brilham em volta dela. Em italiano, por semelhança, falenas são também as partículas de cinza que se formam sobre a brasa e que, a um sopro, se levantam e brilham na chama.

Uma idéia clara do uso parcimonioso da iluminação na Grécia pré-clássica e clássica é fornecida por Parisinou (2000), que, com base de uma análise de textos e de material arqueológico da época, descreve o papel da mulher no uso das lâmpadas nesse período.

Esses poucos exemplos mostram como o impacto da iluminação artificial sobre os insetos foi profundamente sentido no mundo clássico, apesar do escasso uso da iluminação, e do tom totalmente avermelhado da chama, bem diferente das fontes atuais de iluminação artificial. É oportuno, porém, destacar que no mundo clássico foi percebida a atração, principalmente dos lepidópteros. De fato, como veremos, os lepidópteros noturnos possuem uma sensibilidade especial à luz, e em alguns foi postulada até a existência de uma percepção espacial na banda da radiação infravermelha (Callahan; 1985), lançando a hipótese de que as sencilas de alguns lepidópteros apresentam essa sensibilidade porque nessa freqüência de onda emitem os ferormônios.

Acostumados a uma iluminação artificial externa forte, podemos ficar surpresos com essa percepção, mas basta lembrar que apenas pouco mais de cem anos atrás, em 1885, Reley escreveu:

> *Beneath them (lamps) the ground was strewn with moths and a quarter of them accumulate during a simple night in the glass of the globe surrounding each light. (Citado por Heinton 172:2)*

Na opinião de Hienton (1972: 2), do qual são extraídas essas informações, esta foi a primeira vez que na literatura entomológica foi citada a iluminação elétrica. Poucos anos depois, Reley (1892), na descrição da primeira armadilha luminosa elétrica, voltava a comentar "*Collections by the aid of a strong light is a favorite means*". Mas o caso mais famoso é sem dúvida aquele relatado por Denton (1900): no começo do século XX, em Washington (EUA), as luminárias públicas eram um importante lugar de coleta para as coleções entomológicas. Hoje muito poucos lepidópteros podem ser coletados à luz dos lampiões em Washington. Na cidade de São Paulo, Rob de Góes (2004) contou de forma divertida a progressiva redução dos insetos na cidade com o processo de expansão urbana. Nos últimos anos nota-se uma progressiva redução da fauna de lepidópteros (Szentkirályi; 2002). É difícil dizer se essa redução é devida apenas aos efeitos da iluminação artificial. É provável que outras causas concorram para a ocorrência do fenômeno, mas sem dúvida a iluminação artificial é uma delas.

Se a iluminação artificial era de qualidade ruim, apenas um brilho avermelhado, bastante irregular, sua quantidade era ainda mais escassa. Sistemas de geração de iluminação artificial ineficientes significam alto consumo de combustível, seja ele madeira resinosa, para as tochas, óleos, para as lâmpadas, ou cera ou gordura animal para as velas. Desconheço estudos sobre o uso da iluminação no mundo antigo, mas a impressão que se tem, pela literatura, é de um uso bastante parcimonioso, e um exemplo dessa parcimônia é dado pela parábola do Evangelho das 10 virgens (Mateus 25; 7) que esperam no escuro até a chegada do esposo para só então acender as lanternas e fazer festa.

Durante a Idade Média os dados são escassos, mas uma idéia do alto custo da iluminação pode ser obtida observando a valorização da cera de abelhas mostrada nas crônicas e nos documentos da época. Por exemplo, no registro dos pagamentos do dízimo da região do Lazio (Itália) durante os séculos XIV e XV, *Ratio Decimarum* publicado por Battelli (1946), é possível perceber que a quantidade de cera de abelha paga como dízimo ao Vaticano era um bom indício da riqueza da comunidade: cera de abelha era reservada apenas para culto da igreja e para as famílias muito ricas.

Maiores informações sobre a iluminação externa pública aparecem apenas no início da era moderna quando, com o crescimento das grandes cidades, a iluminação noturna das ruas tornou-se uma exigência da população para defender-se dos ladrões e dos assaltantes, mas os meios de iluminação continuavam os mesmos: as velas, com cera de abelhas ou de gordura

animal, que representavam a melhor fonte de iluminação, as lanternas a óleo e as tochas, para usos externos.

Considerado o custo da iluminação, especialmente externa, é normal que, em um ambiente natural, com baixa densidade demográfica, a iluminação artificial externa seja pouco necessária e tradicionalmente pouco utilizada. Isto acontece não apenas porque a iluminação artificial exige grande quantidade de energia, mas principalmente porque o olho acomodado ao escuro, ou à visão escotópica, tem uma grande capacidade de percepção durante a noite, mas o olho demora, para atingir a fase de acomodamento ao escuro, aproximadamente meia hora na ausência de qualquer fonte de iluminação artificial. Portanto, foi apenas a partir da formação dos grandes centros urbanos que começou a se sentir a necessidade da iluminação pública. Leonardo da Vinci descreve, nas suas anotações, diferentes sistemas possíveis de iluminação pública e na "cidade Ideal" imaginada pelos arquitetos italianos com freqüência aparece a idéia da iluminação pública (Munford, 1961), mais como utopia do que como realidade. Durante todo o período medieval e a Renascença, a iluminação externa era obtida apenas com o uso das tochas, em geral transportadas pelos servos no deslocamento de pessoas importantes, ou de pessoas que se deslocavam em grupo, após o pôr do sol, para maior segurança. Alguns dos prédios nobres tinham estruturas para receber tochas, mas eram utilizadas apenas poucas horas por noite, e em geral somente em eventos excepcionais.

Um fato curioso referente à iluminação pública, que fornece uma idéia da baixa intensidade fornecida antes da iluminação a gás, é a história da iluminação pública em Nápoles no século XVII. Nápoles, apesar de capital de um reino, não possuía iluminação pública e os esforços das autoridades para criar uma rede de iluminação eram frustrados pelos malandros, que apagavam as luminárias instaladas para poder agir livremente com o favor das trevas. Um tal Padre Rocco, como conta De la Ville sur Yllon (1887), teve a brilhante idéia de pedir licença real para concessão de iluminação pública. Obtida a licença, mandou fazer trezentas reproduções da pintura de Nossa Senhora com o Menino Jesus, guardada no Convento de S. Espírito, especialmente venerada em Nápoles. Feitas as reproduções, mandou colocá-las em tabernáculos nos cruzamentos das ruas. As imagens sagradas eram iluminadas pelos fiéis por uma vela, e os bandidos, com medo do castigo divino, não apagavam a luz. Dessa forma, foi garantida a iluminação sem despesa por parte do estado, porque era mantida pela devoção dos fiéis. A quebra das luminárias públicas não era um fato exclusivo da cidade

de Nápoles, e Schivelbusch (1987) fornece uma ampla série de exemplos na França, durante a Revolução Francesa e no século XIX.

A partir do século XVII, o aumento do tamanho das cidades e o aumento da insegurança induziram, em toda a Europa, a emissão de decretos exigindo, por parte dos donos dos edifícios, a iluminação das ruas nas quais se encontravam. Apesar dos regulamentos, a iluminação era sempre limitada a algumas horas da noite e a alguns períodos do ano, como pode ser visto por alguns casos, extraído da Wikipaedia (2006) e de Schivelbusch (1988). Apenas a título de exemplo, já em 1417 o prefeito de Londres, Sir Hanry Barton, ordenava que *"lanterns with lights to be hanged out on the winter evenings between Hallowtide and Candlemasse."* Notar que, apesar de recomendar a iluminação noturna, esta era obrigatória apenas no inverno, entre a festa de *Hallow tide*, ou *Todos os Santos* (1° de novembro) e da *Candelmasse*, ou festa da *Candelária*, ou data da apresentação de Jesus ao templo, quarenta dias após o nascimento (2 de fevereiro[6]). Ainda em 1668, no âmbito de uma série de regulamentos para melhorar as vias públicas, os residentes de Londres eram lembrados de pendurar as lanternas ao anoitecer, mas, apenas entre a festa de São Miguel (29 de setembro) e o Natal. Finalmente em 1716, um ato do conselho comunal de Londres ordenava a todos os proprietários de casas que se encontravam em ruas públicas pendurar uma ou mais lanternas todas as noites *do escurecer até às 23 horas*; na falta do cumprimento da regra, a multa era de um *shilling*.

Uma situação não diferente se verificava na França, onde em Paris a iluminação noturna tornou-se obrigatória a partir de 1524 e no século XVI foi ordenado aos habitantes para manter uma lanterna acesa fora das janelas de todas as casas que se encontravam nas ruas.

Fouquet e Pearson (2006) reconstruíram a provável ampliação do uso da iluminação pública em Londres entre 1599 e 1809, antes da entrada do gás, e oferecem um quadro bastante interessante, que mostra a escalada na demanda de energia para iluminação pública. Na reconstrução dos autores, o número de horas de iluminação externa passou, entre 1599 e 1809, de 189 a 4.000 por ano, enquanto a partir de um número de luminárias em 1736, estimado em cerca de 1.000, em 1809, portanto, quando iniciava a expansão da rede de iluminação a gás, o número de lâmpadas tinha aumentado para 35.000. No mesmo período

[6] É significativo que a festa cristã foi criada em 472 por Galerio para substituir uma festa pagã, os *lupercalia*, que consistia em uma procissão de velas, donde o nome de Candelária, ou "festa das candelas".

aumentava o número de horas por ano nas quais a iluminação noturna era utilizada, conforme mostra a tabela:

**Tabela 2.3. 1** A iluminação de rua em Londres (1599-1809)

| Data | -1599 | 1599-1663 | 1662-1694 | 1694-1736 | c. 1736 | c 1750 | c 1809 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Horas/ano | 189 | 303 | 351 | 750 | 4.000 | 4.000 | 4.000 |
| N. lâmpadas | | | | 1.000 | 4.800 | 15.000 | 35.000 |

*Fonte: http://www.eeg.tuwien.ac.at/teaching/courses/download/373012/fouguet&pearson-light.pdf 10/05/2006*

Foi apenas com a introdução do gás que a iluminação externa se tornou viável. Apesar das muitas experiências realizadas, somente em 1801 M. Le Bonne, em Paris, utilizou o gás para iluminar o jardim e a casa. A primeira instalação pública de iluminação a gás se deu, porém, em Londres em 1807, com a iluminação de Pall Mall. Em 1812, o Parlamento britânico garantiu um financiamento à London and Westminster Gas Light, e veio a formar-se a primeira empresa de iluminação pública. Em Paris, a iluminação pública a gás começou a se difundir a partir de 1820.

Após a invenção da pilha elétrica por parte de Alessandro Volta, logo começaram as primeiras experiências de iluminação elétrica (Mackechine, 1958), com lâmpadas a arco. Mas, apesar dos inúmeros desenvolvimentos tecnológicos, a eletricidade começou a competir com a iluminação a gás apenas após a patente de Thomas Edison, da lâmpada elétrica em ampola hermeticamente fechada.

A eletricidade tinha sem dúvida grandes vantagens ambientais, especialmente para a iluminação no interior dos edifícios, mas era ainda cara em comparação com a iluminação a gás. De fato, posto o custo do gás igual a 125 em 1900, o custo de igual quantidade de iluminação obtida com eletricidade era de 350. Foi somente a partir de 1920, com a queda dos preços da eletricidade e o aumento da eficiência das lâmpadas, que o custo da iluminação elétrica igualou o do gás.

Os ganhos tecnológicos na produção de iluminação despertaram os sonhos reprimidos de uma sociedade que tinha vivido no escuro. O exemplo mais emblemático desse desejo intenso de iluminação pública é representado pelo concurso da Exposição Universal de Paris de 1881, do qual participou um jovem engenheiro eletricista francês, Sébillot, junto com o

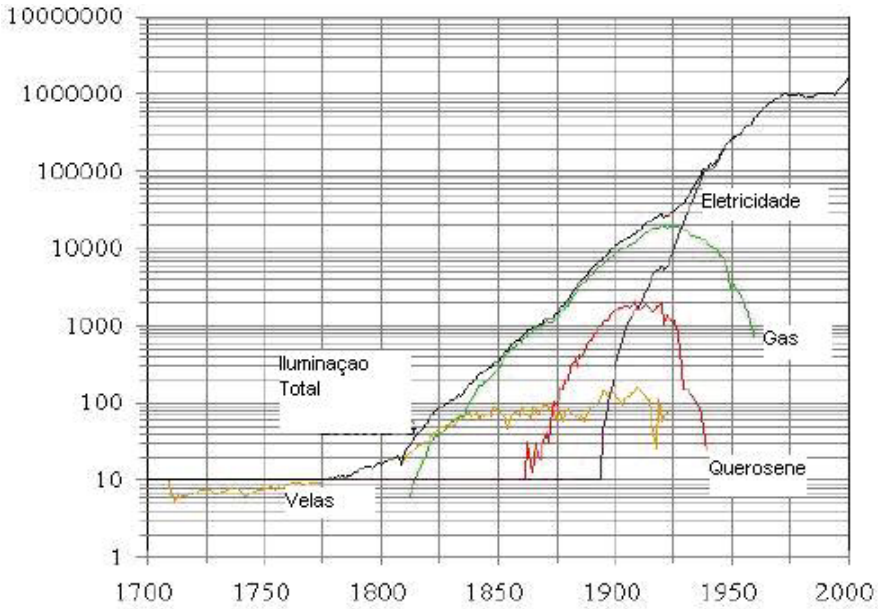
arquiteto Jules Bourdais, propondo a construção de uma torre de 360 metros de altura, a qual deveria suportar uma lâmpada a arco para iluminar *tout Paris* (Cordulack, 2005; Roland e Weidman, 2004). O concurso foi ganho por outro concorrente, o engenheiro Eiffel, mas mostra bem qual era o espírito da época. Por outro lado, a idéia de uma torre alta que pudesse iluminar uma ampla área era a prática da época. A cidade de Detroit possuía 122 torres de iluminação, que conseguiam iluminar 21 milhas quadradas da cidade. Como escreveu Schivelbusch (1988: 3), a torre do Sol de Bourdais é um monumento à fantasia do século XIX referente à luz, não importando se ele foi ou não realizado, apenas mostra a fantasia de que se pensava que, com os avanços tecnológicos, seria possível dispor de iluminação em quantidades ilimitadas.

O sonho de Bourdais não tardaria, porém, a se realizar. Como mostra o gráfico reproduzido a partir do ensaio de Fouquet e Pearsonl (2006), colocando as diferentes variáveis do uso e do custo da energia igual a um no ano 1800, na Inglaterra, a quantidade de iluminação passou a cerca de 7 em 1850, a 85 em 1900, em 1950 alcançou cerca de 2.000, até atingir cerca de 6.570 em 2000. Na prática, em duzentos anos, o uso da iluminação aumentou, na Inglaterra, mais de seis mil vezes. No mesmo período, seu custo passou de 1 a 0,0003.

O fenômeno é ressaltado pela Figura 2.3.2. da evolução do consumo de iluminação elaborado por Fouquet e Pearson (2003), no qual é mostrada a participação das diferentes fontes de energia na geração da iluminação.

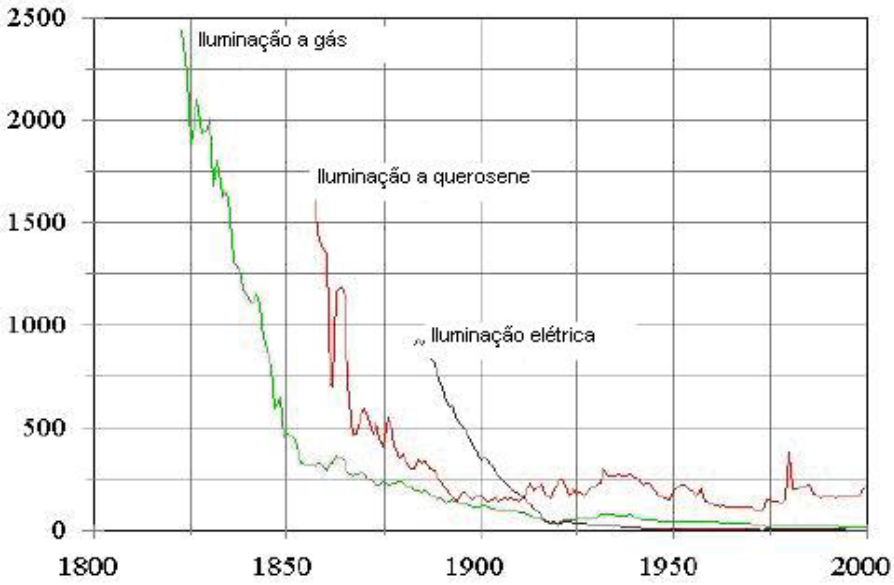
A Figura 2.3.2. ganha um significado especial quando comparado com o gráfico da evolução do custo da geração da iluminação artificial, elaborado pelos mesmos autores, reproduzido na Figura 2.3.3.

A consideração econômica nos leva a compreender melhor o significado da explosão exponencial do consumo de iluminação artificial. A iluminação no período noturno representa sem dúvida um elemento de segurança e de conforto. Com a queda vertiginosa dos preços, a demanda pública e privada, reprimida pelos altos custos, deixou de ter um dos fatores limitantes, e iniciou a sua expansão. Observando o gráfico podemos notar como ele, na situação inglesa, mostra uma subida na década de 1920, com um crescimento exponencial até a década de 1970, quando a primeira e a segunda crises do petróleo incentivaram um uso mais parcimonioso. A partir da década de 1990, porém, a demanda mostra um claro indício de volta ao crescimento.




*Fonte: Modificado de Fouquet e Pearson (2003).*
Dados em escala logarítmica em lúmen/hora x 10 9.

**Fiura 2.3.2.** *Evolução da geração de iluminação artificial na Inglaterra entre 1700 e 2000, por fonte de energia***.**




*Fonte: Modificado de Fouquet e Pearson (2003).*
Dados em libras esterlinas do ano 2000 por lúmen/hora x $10^{9}$.

**Figura 2.3.3** *Evolução do custo da geração de iluminação artificial na Inglaterra entre 1700 e 2000.*

Um aspecto interessante que merece ser assinalado é que as normas de iluminação, sensíveis ao fator econômico, mostraram também uma curiosa subida. As recomendações da IESNA (*Illuminating Engeneering Society of North America* 1951-1975) sobre as condições ótimas de trabalho em ambiente com iluminação artificial registraram entre a publicação da segunda edição (1951) e a quinta edição (1975) um aumento significativo, passando, em muitos casos, a dobrar os valores de iluminância (Stein, 1977). Essa foi exatamente a época na qual nos Estados Unidos se verificou a difusão da iluminação fluorescente nos escritórios.

Às vezes, os números não são suficientes para oferecer uma idéia clara do significado dessa evolução. A descrição de algumas situações reais da evolução da iluminação pública pode fornecer uma idéia mais clara das transformações registradas nos últimos cinqüenta anos. Praticamente até a Segunda Guerra Mundial, as lâmpadas de iluminação pública eram em grande parte lâmpadas incandescentes de 100 watts, instaladas em luminárias relativamente simples que hoje parecem mais um equipamento de uso domiciliar que de iluminação pública.

Um sistema de iluminação desse tipo podia garantir, com a eficiência das lâmpadas da época de 8 a 10 lumen por watt, um fluxo luminoso da ordem de 1.000 lux. Nos anos de 1950, com a introdução das lâmpadas a vapor de mercúrio de 125 e 250 watts, e um rendimento do fluxo luminoso de cerca de 40 lúmen/watt, o fluxo luminoso utilizado por luminária aumentou de 5 a 10 vezes, atingindo 5.000 ou 10.000 lux totais. Com a introdução de lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão, com uma eficiência de cerca de 85 lúmen/watt, o fluxo luminoso total por luminária dobrou, variando entre 10.000 e 20.000 lux por luminária.

O aumento da intensidade do fluxo das lâmpadas determinou uma alteração no padrão de iluminação pública, levando a um aumento da altura dos postes. De uma altura da ordem de 9 a 12 metros, dos primeiros postes, compatíveis com o fluxo luminoso reduzido das primeiras lâmpadas incandescentes os postes aumentaram em altura até 15 a 22 metros, com situações extremas destinadas à iluminação de grandes áreas, de até 60 metros, quando são utilizadas quatro lâmpadas a vapor de sódio de 250 watts, com um fluxo total de mais de 45.000 lux.

Uma situação similar verificou-se em grande parte dos países industrializados, mas uma simples olhada nas fotografias de satélite compostas por Cinzano *et al* (2001) mostra claramente como, também na área da iluminação, existe uma forte diferenciação entre os países.

Essa longa introdução ao problema da iluminação pública era necessária para equacionar o problema em dois pontos essenciais: a evolução da qualidade da iluminação e a evolução da intensidade da iluminação.

Conforme visto no capítulo 2.2., o aumento da eficiência das lâmpadas se verificou seguindo duas linhas distintas: a primeira, o aumento da temperatura dos filamentos incandescentes, a segunda com o desenvolvimento das lâmpadas a descarga. Nos dois casos, o aumento da eficiência afetou sensivelmente a qualidade da radiação luminosa e indiretamente o impacto sobre o meio ambiente.

Nas lâmpadas incandescentes, o aumento da eficiência foi possível com a escolha de materiais mais adequados utilizados para o filamento. A tabela 2.3. 2. mostra a evolução da eficiência das lâmpadas com a evolução da tecnologia:

**Tabela 2.3. 2.** *Evolução dos filamentos das lâmpadas incandescentes***.**

| Ano | Tipo de filamento | Eficacia lm/W | Vida em h |
|---|---|---|---|
| 1881 | Bambu carbonizado | 1,68 | 600 |
| 1884 | Celulose | 3,4 | 400 |
| 1888 | Bambu carbonizado e asfalto | 3 | 600 |
| 1897 | Óxido refratário | 5 | 600 |
| 1898 | Ósmio | 5,5 | 1000 |
| 1902 | Tântalo | 5 | 700 |
| 1904 | Carbono metalizado | 4 | 600 |
| 1904 | Tungstênio não dúctil | 7,85 | 800 |
| 1910 | Tungstênio dúctil | 10 | 1000 |

*Fonte: DiLaura, D. L. (2005; 90)*

O aumento da eficiência foi possível graças a um progressivo aumento da temperatura de cor das lâmpadas que, de uma luz avermelhada ou no máximo amarelada, registrou um progressivo aumento da temperatura, assumindo, no caso atual das lâmpadas a halogênio, uma temperatura de cor de 3.200°C. Esse fato é extremamente importante, porque esse deslocamento determina um aumento da radiação de onda curta (nas bandas do azul, do violeta e do ultravioleta) exatamente na área de maior sensibilidade da visão escotópica, e também na região na qual é maior a sensibilidade visual dos insetos. Para o homem, como comentarei em breve, o deslocamento da radiação na direção do violeta e ultravioleta significa maior capacidade de estimular os receptores de melanopsina, portanto, maior influência na ativação dos ciclos circadianos.

Apesar dessas desvantagens, as lâmpadas incandescentes possuem, em relação às lâmpadas de descarga, uma vantagem significativa: a distribuição da radiação por comprimento de onda se aproxima muito da distribuição da radiação por comprimento de onda de um corpo negro, isto significa que o olho está em certo sentido pré-adaptado a essa distribuição e consegue interpretá-la corretamente. Por exemplo, apesar da irradiância de uma vela ser absolutamente distorcida, na ciência da iluminação a qualidade da cor é considerada boa: evidentemente o sistema visual humano possui a capacidade de compensar o deslocamento da irradiância das lâmpadas incandescentes.

Depois da lâmpada incandescente a filamento, a segunda grande revolução da iluminação verificou-se com o desenvolvimento das lâmpadas a descarga. Nessas lâmpadas, a limitação da temperatura do filamento foi contornada utilizando a excitação de um gás, proporcionando uma eficiência muito maior. Como destacaram com acuidade Bright e Maclaurin, (1943), as lâmpadas de descarga representaram uma verdadeira revolução econômica, porque permitiram aumentar significativamente o rendimento luminoso das lâmpadas, mas exigiram a incorporação de tecnologias sofisticadas, protegidas por muitas patentes. A evolução das lâmpadas a descarga, apesar de aumentar a eficiência, introduziu uma nova variável no espectro de emissão, como vimos no capítulo anterior analisando o espectro de irradiância de diferentes tipos de lâmpadas.

## 2.4. A percepção do mundo externo

Vistas as características da radiação natural e da radiação artificial, antes de passar a examinar o tema específico da visão das diferentes espécies, vou analisar mais em detalhe a percepção do mundo externo e, para isso, é necessário manter em mente duas características essenciais das sensações: a primeira estrutural e a segunda funcional.

Do ponto de vista estrutural é fundamental lembrar que as sensações representam sempre um comportamento ativo por parte do organismo que exige um dispêndio de energia. Por mais forte que seja o impacto de um corpo externo, ou por mais elevada que seja a contribuição energética de uma onda sonora ou uma onda luminosa, a sensação exige sempre a transdução da informação em um sinal elétrico, que é transmitido ao sistema nervoso periférico ou central. O sinal elétrico que corre nos terminais nervosos é o resultado de uma fonte de energia interna.

Do ponto de vista funcional é importante lembrar que as sensações em si são apenas um sinal elétrico emitido por um sensor. Elas devem ser interpretadas pelo organismo e essa interpretação depende da maneira como está estruturada a comunicação em relação ao sistema nervoso periférico e central.

Vou analisar com maior atenção essas duas variáveis.

### O ponto de vista estrutural

O fato de que a sensação é um processo ativo, e não passivo, do organismo pode parecer um fato evidente, mas suas implicações são enormes. Em primeiro lugar, a sensação, como já mencionei, representa um dispêndio de energia. O sensor, excitado, altera a permeabilidade da membrana, gerando a passagem de um impulso elétrico. Quando confrontamos o nível energético do sinal recebido, mostrado na Figura 2.1.3., percebemos que os sensores amplificam o sinal, permitindo que sejam percebidos sinais com nível energético mínimo. No caso da visão, a energia de um fóton é de $4 \cdot 10^{-19}$ Joules por receptor – energia difícil de medir mesmo com um equipamento eletrônico sofisticado – o que determina uma polarização da membrana que gera uma diferença de cerca de 120 mV entre o potencial em repouso e o potencial de ação, gerando um impulso elétrico, que é possível de medir com um

eletroretinograma (Lindauer; 1994)[7]. Apesar da grande amplificação, a visão é possível porque o olho consegue detectar simultaneamente milhões de fótons a cada instante (aproximadamente a cada 1/30 de segundo, tempo de permanência da imagem na retina), e processar a informação. O gasto energético da visão, porém, não se limita à transdução do sinal luminoso em sinal nervoso, mas é também exigido pelo processamento do sinal.

O consumo energético da sensação não é, porém, limitado apenas pelo gasto energético da mesma. Em primeiro lugar, sensação exige sensores, e o investimento nos sensores representa um ônus muito alto para o organismo. Não deve, portanto, surpreender que, nas diferentes espécies, o número de sensores seja altamente variável e que, na história evolutiva das espécies, registra-se uma forte seleção quanto a número e qualidade de sensores. Se considerarmos a sensação como um verdadeiro processo de conhecimento do mundo externo, é exatamente a sensação que permite, a cada espécie, elaborar novas estratégias de sobrevivência e reprodução.

O alto dispêndio energético em termos de percepção, processamento da informação e investimento em tecidos representa o grande elemento seletivo que condiciona um uso parcimonioso dos sentidos: apenas as informações efetivamente vitais para a sobrevivência da espécie são percebidas pelo organismo. Um excesso de informação representaria um dispêndio inútil de energia para sua recepção e exigiria um investimento ainda maior para seu processamento.

Um exemplo sobre as características do sistema visual de uma espécie pode servir para se verificar o alto poder seletivo da quantidade de informação necessária para sua sobrevivência.

Um exemplo explícito é representado pela diferenciação do sistema visual das abelhas operárias e dos zangões. Enquanto uma abelha possui cerca de 3.000 omatídios – o número suficiente para se orientar no espaço, descobrir áreas de forrageamento e voltar até a colméia –, um zangão possui mais de 7.500 omatídios (Gould e Gould: 1998). Considerando que a função dos zangões é apenas assegurar a reprodução sexuada da espécie, esse número elevado poderia parecer injustificado. Na realidade, o acoplamento dos zangões com a rainha da-se no ar, e um número elevado de zangões luta pela possibilidade do acoplamento. Para um zangão, portanto, ter uma alta percepção visual representa um aumento da capacidade de identificar no ar a rainha e de deixar descendentes. Do ponto de vista fisiológico, o zangão não tem apenas

[7] O processo descrito é nos artrópodes, como comentarei no próximo capítulo, nos vertebrados a sensação da visão é determinada por uma despolarização da membrana.

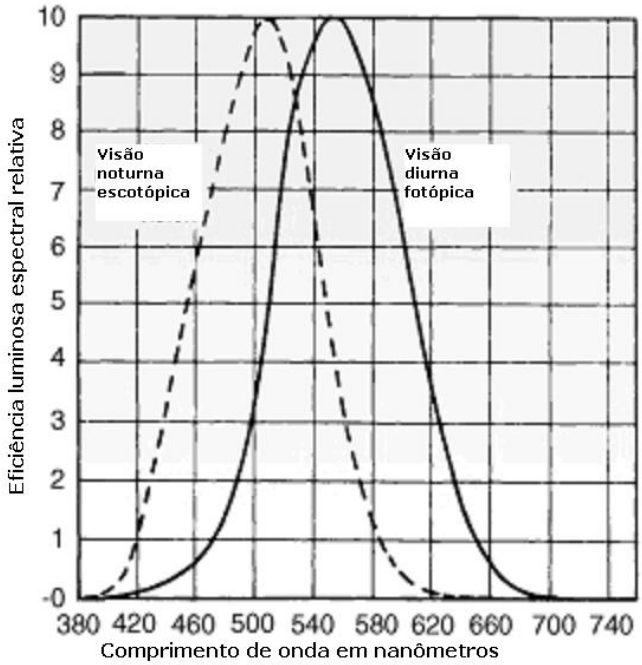
um número superior de omatídios, mas existe uma concentração na área fronto-dorsal do olho, que é a parte com a qual detecta a rainha em vôo (Land, 1997). Frente a essa consideração, não restam dúvidas que o aumento da percepção visual nos zangões representa uma verdadeira corrida armamentista em relação a co-específicos. Por essa razão, apesar da atividade extremamente limitada dos zangões, a evolução favoreceu um sistema mais complexo que nas abelhas, as quais na realidade têm um nível de atividade muito maior. O dimorfismo no sistema visual não se verifica apenas nas abelhas, como escreveu Land (1007; 171):

> *Many insects have a forward or upward-pointing region of high acuity. Where both sexes have the specialization (mantids, dragonflies, robber-flies), predation is the reason, but more commonly only the male has the acute zone (simuliid midges, hoverflies, mayflies, drone bees), implying use for sexual pursuit. In male houseflies and blowflies the acute zone may be little more than a local increase in the acuity of the "forward flight" acute zone common to both sexes. At the other extreme they may be separate eyes, as in the dorsal eyes of male bibionid flies and the "turbanate" eyes of male mayflies, used for detecting females against the sky.*

Mas existe ainda outro elemento limitante na evolução da percepção do mundo externo por parte de uma espécie: o sinal recebido pelo organismo deve ser um sinal não viesado. O ambiente bombardeia o organismo com uma quantidade elevada de sinais, radiação eletromagnética de diferentes comprimentos de onda, eflúvios químicos (odores e sabores), sensação térmica, sensação de pressão, de campo magnético. Se um organismo tivesse de perceber todas as informações provenientes do entorno, se tivesse que conhecer "o mundo todo", o número de sensores deveria aumentar desproporcionadamente, e deveria existir uma capacidade de processamento de todos os sinais, inviabilizando a tomada de decisões. As sensações poderiam inclusive ser contraditórias, levando a situações de conflito entre a informação recebida por um sensor e por outro. A sensação deve proporcionar uma informação objetiva, não ambígua, em relação ao ambiente ocupado pela espécie, visando especificamente sua possibilidade de sobrevivência, seja ele sobre a capacidade de identificar uma presa ou a capacidade de fugir de um predador, ou de encontrar um parceiro para reprodução. Dessa forma, dentro da grande variedade dos sinais provenientes do mundo externo em cada espécie foram sendo selecionados apenas os sinais relevantes não viesados.

O exemplo típico do valor seletivo de uma informação não viesada é fornecido pela evolução do acomodamento do olho ao ambiente escuro. De fato, o olho humano, mas também o de outras espécies sofre um acomodamento na transição de um ambiente iluminado a um ambiente escuro. O processo de acomodamento, descoberto pelo anatomista tchecoslovaco Johannes Evangelista Purkinje no século XIX, é chamado pelos oftalmologistas de efeito Purkinje.

No homem, o processo definido de visão fotópica, para visão no claro, e visão escotópica, para visão no escuro, é em parte determinado pela alternância da sensibilidade entre cones, concentrados no centro de maior acuidade visual, a fóvea, e responsáveis pela visão diurna, e os bastonetes, situados na periferia do olho, e incapazes de discriminação cromática. Durante esse processo de acomodação (os especialistas em visão preferem usar o termo adaptação, que é impróprio do ponto de vista da biologia evolutiva) do olho ao escuro, a sensibilidade aos comprimentos de onda se desloca em direção à radiação ultravioleta, conforme mostra a Figura 2.4.1.




*Fonte: Modificado de IESNA, 1999*

**Figura 2.4.1.** *Efeito Purkinje: **d**eslocamento do pico da sensibilidade em direção da radiação ultravioleta no processo de acomodamento do olho ao escuro.*

Esse fenômeno é bem determinado no homem, até com uma troca dos elementos sensíveis, mas ele existe em todas as espécies, e tem uma base bioquímica. No processo de acomodamento registra-se uma série de transformações bioquímicas do ambiente visual (descritas por Leibrock *et al* (1998)), por meio do qual se determina um deslocamento da sensibilidade. A transformação de um olho acomodado à luz a um olho acomodado ao escuro (ou a transição de uma visão fotópica para uma visão escotópica) registra, na maioria das espécies, uma duração aproximada entre 15 e 30 minutos. Essa duração, que corresponde aproximadamente ao tempo de penumbra, na transição entre a noite e o dia, fornece já uma pista sobre a antiguidade do processo. Em 1948, Stiles lançou a hipótese de que o deslocamento do pico da sensibilidade em direção ao ultravioleta seria originário de uma adaptação determinada pela necessidade de um melhoramento do canal de informação do sinal.

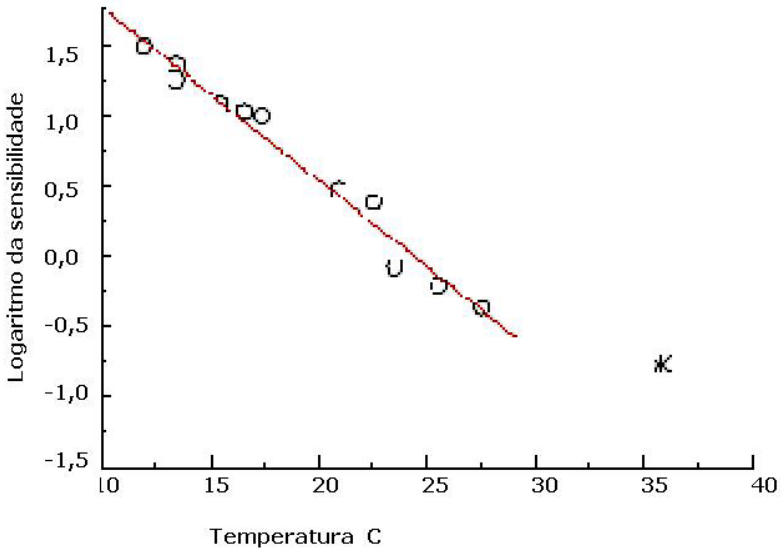
Neste ponto é necessário lembrar a distribuição de energia por comprimento de onda, apresentado na Tabela 2.1.1. Como parece claro, aumentando o comprimento de onda registra-se uma diminuição da energia e, do ponto de vista da molécula, a energia recebida aproxima-se a uma energia capaz apenas de determinar a agitação molecular. Comprimentos de onda maiores que o vermelho não foram selecionados (exceto em poucas espécies de sangue frio), porque a radiação possuiria uma energia igual àquela determinada pela agitação molecular. Na prática, o sinal luminoso poderia ser confundido com a agitação térmica interna do olho.

Pela teoria de Shannon (1949), a informação de um sinal em relação ao ruído de fundo pode ser calculada pela fórmula da entropia do canal. Intuitivamente, o ruído em relação a um sinal cresce com a diminuição da intensidade do sinal até o ponto em que o sinal atinge a mesma intensidade que o ruído e, portanto, a informação é perdida. Em termos formais, utilizando-se a fórmula da entropia de Shannon, assumindo-se que o ruído registra uma distribuição aleatória (é um ruído branco) e que os fótons seguem uma distribuição de Poisson, é possível demonstrar que o ruído N* é igual à raiz quadrada do numero de fótons N, ou:

$$N^* = \sqrt{N}$$

Considerando que a agitação térmica molecular se mantém constante, em condições de baixa intensidade fotônica, a agitação térmica do próprio olho estimularia a emissão espontânea de sinais que seriam superiores ao próprio sinal. No homem o fenômeno é tão acentuado que, em condições de baixa luminosidade os circuitos cerebrais eliminam o ruído reconhecendo como sinal efetivo apenas quando mais de um fóton atinge áreas próximas da retina. Ainda assim pode ser observado que, em condições de perfeita escuridão, o olho percebe lampejos.

Uma vez que o componente térmico representa uma forte fonte de ruído, Stiles (1948) lançou a hipótese de que o deslocamento do pico da sensibilidade visual no olho acomodado ao escuro (visão escotópica) seria uma maneira de melhorar a percepção do sinal. Experiências de laboratório, interpretadas diferentemente por vários autores, parecem confirmar a hipótese. Comparando a barreira da sensibilidade escotópica de dois sapos (animais de sangue frio, portanto, com temperatura corporal variável e inferior à humana) e do homem, é possível ver, conforme mostra Figura 2.4.2. que, diminuindo-se a temperatura corporal, aumenta-se a sensibilidade.




*Fonte: Modificado de Fyhrquist 1999:13*

**Figura 2.4.2.** *Sensibilidade escotópica do olho acomodado ao escuro em duas espécies de sapos (0) e no homem (*). Em ordenadas o logaritmo da sensibilidade mínima.*

Essas considerações devem sempre ser levadas em conta, e veremos de que forma elas afetam a visão nas diferentes espécies e, portanto, a influência da iluminação artificial sobre o mundo vivo.

**O aspecto funcional**

Por uma tradição escolástica, tipicamente antropomórfica, estamos acostumados a definir a percepção do mundo externo com os cinco sensores mais evidentes do homem: o tato, o olfato, a audição, o paladar e a visão. Fora da visão estritamente escolástica, podem ser adicionados o equilíbrio e a propriocepção.

Na realidade, fugindo da visão estritamente escolástica, e pensando nos sinais que o ambiente pode fornecer a um organismo, é mais lógico organizar as diferentes sensações na base do estímulo recebido. Podemos, assim, classificar as sensações em grandes grupos, conforme a tabela proposta por Withers, (1992):

**Tabela 2.4. 1.** *Sinais externos e modalidades sensoriais*

| **Sensory Phisiology** | | |
|---|---|---|
| Modalidade | Limiar | Nível energético |
| **Cemorecepção** | | |
| Química | Única molécula | $10^{-20}$ J receptor |
| Humidade | 1-2% RM | |
| **Temperatura** | | |
| Não infravermelho | 0,01º C | |
| Radiação infravermelha | 0,003º C | |
| **Mecanorecepção** | | |
| Amplitude da curva | $10^{-9}$ cm | $10^{-18}$ J receptor |
| Amplitude sonora | $10^{-12}$ cm | 2 x $10^{-21}$ J receptor |
| Pressão sonora | 10 Pa | 2 x $10^{-21}$ receptor |
| Eletrorecepção | $10^{-8}$ V cm | |
| Magneto recepção | 0,05 x $10^{-4}$ weber m2 | |
| Photorecepção | 1 fóton | 4 x $10^{-19}$ receptor -1 |
| Nociception (dor) | — | — |

*Fonte: Modificado de Withers, (1992; 255)*

Fixada a natureza do sinal externo, resta estabelecer de que forma a mensagem recebida é processada pelo organismo, para definir aquilo que Jakob von Uexkül (s.d.) chamou de "mundo próprio da espécie". É importante entender que, por mais simples que seja o sistema de interpretação do sinal pelo organismo, ele é organizado, no sistema nervoso central ou periférico, para que o sinal proporcione uma informação sobre o mundo externo. A meu ver, dois fatores são essenciais nesse processo.

Em primeiro lugar, o organismo deve eliminar as redundâncias, o excesso de informação, reduzindo-a ao que é efetivamente essencial. Para se ter uma idéia, conforme afirma Lindauer (1994), foi calculado que o homem recebe uma quantidade de informação, apenas por intermédio da visão, do ouvido e do tato, de $10^{9}$ bit/segundo, mas na percepção consciente chegam apenas $10^{2}$ bit/segundo.

A seleção da informação verifica-se em dois níveis. Em um primeiro nível, existem processos de inibição lateral, pelos quais as percepções próximas são tratadas conjuntamente. Em um segundo nível, as informações são pré-processadas, em módulos específicos, que transmitem apenas a informação relevante. Por exemplo, no sistema visual humano, foram identificados até o momento cerca de 30 módulos de processamento (Gregory, 1997; Ramachandran 1998, 2003). Fenomenologicamente é significativo que, quando desejamos nos concentrar sobre uma determinada percepção, fechamos os olhos, reduzindo, dessa forma, voluntariamente, os estímulos externos para podermos nos concentrar sobre o estímulo que desejamos analisar.

Em segundo lugar, verifica-se uma convergência das informações em nível neuronal: percepções de modalidades diferentes são integradas em um único sinal. Um exemplo típico é, no homem, o paladar que é integrado com o olfato, ou nas abelhas, que têm os receptores do olfato nas antenas integrados com o tato. Como afirma Lindauer (1994), as abelhas podem perceber o olfato plasticamente. A idéia de que sensações não visuais são utilizadas para "ver" começa a se difundir de forma crescente no âmbito da biologia.

A convergência da informação pode, na realidade, dar-se por diferentes caminhos e provavelmente é o mecanismo mais importante para dar um sentido à percepção do mundo externo. Poder-se-ia dizer que a percepção do mundo externo é organizada, nas diferentes espécies, em volta de dois parâmetros: o tempo e o espaço, e os sentidos convergem para dar uma visão global do espaço vivenciado pela espécie. Portanto, as percepções isoladamente não possuem um significado se não forem colocadas dentro da vivência do organismo.

Precisamos, por isso, explorar mais em detalhe o fenômeno.

No caso das plantas, o funcionamento da clorofila, dos fitocromos e dos criptocromos na morfogênese da *Arabidopsis thaliana* fornece um bom exemplo da integração espaço-temporal de uma planta a partir dos sinais luminosos. A radiação solar não é apenas necessária para fixação fotossintética – como fonte de energia –, mas é essencial também para que as plantas "conheçam" o ambiente no qual se desenvolvem. Uma idéia da complexidade da interação das plantas com o ambiente e o uso do sinal solar para seu desenvolvimento é fornecido hoje pelo conhecimento dos múltiplos sensores que se encontram em uma planta. Não sabemos quantos desses sensores já existiam na origem das primeiras formas de vida autótrofa, ou organismos que produzem sua própria energia por intermédio da radiação solar, mas sabemos com certeza que há mais de 3 bilhões de anos as cianobactérias apresentavam um relógio biológico controlado pela radiação solar.

Hoje o estudo da *Arabidopsis thaliana*, uma planta que, pela facilidade de cultivo é, para os botânicos, o equivalente do que é a *Drosophila melanogaster* para os zoólogos, permite detalhar com bastante clareza os genes que controlam as várias funções influenciadas pela radiação solar.

Conforme detalham Nemhauser e Chory (2002), ao lado das duas clorofilas, de onda curta e longa, é conhecida a existência de quatro classes de fotorreceptores, e suspeita-se da existência de outros. As classes conhecidas são: os fitocromos PHY, que são ativos principalmente nas bandas da radiação vermelha (660 nm.) e infravermelha (730 nm.), mas registram também uma sensibilidade na banda do azul (400nm.) (Wang, Wang Deng 2002); os criptocromos (CRY), que respondem à radiação azul e ultravioleta (Robertson et al 2002a); as fototropinas, que respondem principalmente à radiação azul, e os receptores de radiação ultravioleta, que ainda não foram adequadamente caracterizados. Suspeita-se que existam outras famílias de receptores (Robertson et al 2002: 11). O sutil equilíbrio entre os diversos receptores determina a fotomorfogênese (Liscum 2002), o fototropismo (Liscum 2002) e a regulagem dos ciclos biológicos, do ciclo circadiano ao ciclo circa-anual (Robertson et al 2002b). Os fotorreceptores representam verdadeiros sensores do ambiente, que, solicitando a emissão dos hormônios, fazem parte de um verdadeiro sistema de sinais que são processados dentro do organismo e permitem a adaptação ao ambiente (Wand e Wand Deng, 2002).

O aspecto importante a ser assinalado é que esses fotorreceptores são dependentes do comprimento de onda. Parece-me provável que os receptores, que percebem as duas

extremidades da região na qual podem produzir-se efeitos de fotossíntese, consigam, por intermédio de uma comparação entre os dois sinais, expressar um ajuste adequado ao ambiente. Essa hipótese parece confirmada pela analogia da morfogênese do crescimento em situações de sombra, nas quais o padrão de crescimento é determinado pela razão de fótons recebidos da radiação vermelha e infravermelha. Uma razão V/IV de 1,2 inibe o crescimento do *ipocom* enquanto uma baixa relação infravermelho/vermelho favorece o alongamento (Nemhauser e Chory, 2002: 2). Em certo sentido, pode-se falar de um verdadeiro sistema de sinalização proporcionado pelos receptores (Wang e Wang, 2002); poder-se-ia dizer, portanto, que a *Arabidopsis thaliana* vê o mundo externo.

No caso das plantas, organismos fixados localmente no terreno, as respostas aos sinais do mundo externo são lentas, determinadas essencialmente pela emissão de hormônios. Quando chegamos ao mundo animal, as reações são mais rápidas e a determinação do tempo e do espaço no qual agir se dá com mecanismos mais complexos. As reações estão presentes também em organismos extremamente simples, como o paramécio, um protozoário unicelular ciliado, que vive na água e não apresenta órgão de visão. Ele se alimenta absorvendo nutrientes presentes na água e seu principal sensor é um sensor de acidez. Material orgânico dissolvido na água diminui o *Ph*, portanto, o nível de acidez da água é um indicador da disponibilidade de alimentos. A sua estratégia de forrageamento é simples: ele se movimenta seguindo o gradiente de acidez. Se o gradiente tende a diminuir, ou encontra um obstáculo, os cílios determinam uma rotação do organismo (Iwamoto 2003) até encontrar um ambiente favorável. O paramécio recebe do entorno a percepção de espaço a uma dimensão, na qual existe apenas um na frente e um atrás, e se movimenta nesse mundo de forma aleatória, até encontrar a fonte de alimentos. Além dessa percepção do espaço, o paramécio possui também a sensação de tempo, fornecida, como indicam Hasegawa *et at* (1997), por sensores circadianos, que coordenam as atividades fisiológicas. Assim, apesar da simplicidade unicelular, ele dispõe de uma percepção do tempo e do espaço.

Conforme as espécies ganham complexidade, aumenta o número e o tipo de sensores, mas apenas as informações relevantes para atender as funções são realmente selecionadas. Um exemplo típico é o do carrapato, um artrópode da ordem dos ácaros, classificado nas famílias Ixodidae e Argasidae. São ectoparasitas hematófagos, responsáveis pela transmissão de inúmeras doenças. Conforme relata von Uexküll (s.d.), a fêmea, já fecundada, sobe até a parte superior de um arbusto e baseada principalmente no olfato, sente as emanações dos

subprodutos do metabolismo de animais de sangue quente, como o de ácido *butirrico* e o $CO_2$, e se deixa cair sobre a presa.

> *"Se vem a cair sobre qualquer animal de temperatura constante, que um apurado sentido térmico lhe denunciou – então atingiu a sua vítima, e só falta agora, ainda com o auxílio do seu sentido do tato, encontrar uma zona tanto quanto possível livre de pêlos, para se introduzir, até por trás da cabeça, nos tecidos cutâneos daquela; e põe-se a sugar lentamente o sangue quente que jorra. Experiências feitas com membranas artificiais e com outros líquidos que não sangue mostram que a caraça é desprovida do sentido do paladar, pois que depois de perfurar a membrana absorve qualquer líquido, contanto que este esteja em temperatura conveniente". von Uexküll (s.d.; 30)*

Na realidade, os carrapatos possuem uma visão bastante embrionária, com uma resolução de apenas 5 graus, (Kaltenrieder; 1989), e se orientam em grande parte pelo olfato e pelo sentido térmico. O aspecto importante desse comportamento é que a espécie mostra uma extrema parcimônia nos sentidos, até o paladar pode ser eliminado, substituído por uma série de informações, principalmente o olfato e a percepção da temperatura.

Quando os organismos se tornam mais complexos, aumenta o número de sensores e a capacidade de análise do ambiente pode-se dar através de diferentes sentidos. Alguns exemplos podem ser úteis para entender a complexidade da integração dos sentidos para a compreensão do ambiente.

Um caso exemplar é sem dúvida o de algumas mariposas, estudadas por Phyllip Callaham. Muitos insetos dispõem de antenas extremamente desenvolvidas e articuladas, cuja finalidade é fundamentalmente sentir cheiros e identificar os ferormônios específicos para o acasalamento. Um caso típico é o dos quironomídeos que, no estágio efêmero de adulto, não se alimentam, apenas procuram o parceiro para o acasalamento e possuem antenas extremamente desenvolvidas. No caso da mariposa do verme-da-couve, Callahan (1976; 1977) verificou a extrema complexidade das antenas e verificou que sem dúvida elas serviam para identificação do ferormônio do parceiro. Estudando o ferormônio e as características das antenas, percebeu que o ferormônio emite no infravermelho (na região de 17-μm), e que a antena, além de ser um receptor químico é também um receptor da freqüência de irradiância no infravermelho do ferormônio. Embora a causa da baixa energia da radiação infravermelha, ela não seja suficiente para determinar a transição do retinol da forma *cis* à configuração *trans*, ela pode apenas ser percebida como sinal térmico. No caso da mariposa, porém, as

antenas operariam como uma verdadeira guia de ondas, como as antenas de um rádio ou de um televisor. As mariposas da couve, portanto, conseguem "ver" o ferormônio (ou a radiação do ferormônio) no infravermelho, que pode assim ser percebido espacialmente. A forte atração por uma vela por parte de algumas mariposas que, como vimos, era percebida já na antiguidade européia e oriental derivaria do fato de que, para as mariposas a vela é um atrativo sexual ou, como afirma Callahan (1977: 3089) "*the candle flame. [ is ..] a sexual mimic of the coded infrared wavelengths from the moth scent*". O mesmo autor verificou essa característica em outras espécies (Callahan; 1985).

A percepção da radiação infravermelha como informação espacial não é, por outro lado, rara. Provavelmente o caso mais conhecido é o das serpentes, como as víboras (Crotalidae) e alguns pítons (Boidae). Eles possuem, entre os olhos e a presa, duas fossas que são verdadeiros bolômetros[8]. As duas fossas contêm duas membranas que criam uma câmara termicamente isolada do resto do corpo. Quando a radiação infravermelha incide na membrana externa, esta se aquece e terminais nervosos sensíveis à temperatura geram um sinal. O fato importante é que o sinal segue o mesmo percurso do nervo trigêmio, mas, chegando ao cérebro, entra no *tectum* visual, que recebe também o sinal dos olhos. Portanto, algumas serpentes podem "ver" a radiação infravermelha. Esse recurso é extremamente valioso para identificar, à noite, um animal de sangue quente do qual alimentar-se.

No caso dos insetos, surgem com certa freqüência sinalizações que utilizam a radiação infravermelha como orientação espacial. Recentemente, em parte por razões militares, para desenvolvimento de mecanismos de detecção no escuro, estão sendo estudados alguns coleópteros com características comportamentais originais. Algumas espécies, por exemplo *Melanophila acuminata* (Schmitz e Bleckmann;1998), põem os ovos em florestas queimadas, lugares onde as larvas, ao nascerem, encontrarão vegetação que está brotando e um reduzido número de predadores já que foram eliminados pelo fogo. A detecção da área queimada se dá através de sensores capazes de perceber incêndios a dezenas de quilômetros de distância, com mecanismos também similares àqueles de bolômetros.

Uma descoberta recente mostrou que algumas aves migratórias estão em condição de "ver" o plano de magnetização do eixo terrestre. Quando digo "ver", estou dizendo em sentido real, não metafórico. Há tempos é sabido que algumas aves migratórias apresentam uma espécie de bússola que indica o norte magnético, utilizada para orientação durante as

[8] Bolômetro, dispositivo utilizado na física que detecta a radiação infravermelha utilizando a elevação térmica determinada pela radiação incidente medindo a elevação da temperatura.

migrações. Estudando a atividade neuronal de aves migratórias, Dominik Heyers *et al* (2007) estiveram em condição de demonstrar uma ligação funcional entre os neurônios da retina e o *Cluster N*, que processa o sinal magnético. Pela afirmação dos autores, as aves migratórias podem "ver" a direção do campo geomagnético terrestre. Para mostrar a complexidade da interpretação dos sinais externos, Dawkins (1986; 2006), por sua vez, tem repetido que é possível que os morcegos possam "ver" as cores com o ouvido.

Esses exemplos demonstram como a formação de mapas espaciais na mente é determinada por um conjunto de sensações as mais diversas, numa mesma espécie, e entre as diferentes espécies. Um indício de que esses mapas espaciais são provavelmente estruturas neurológicas independentes de uma ou de outra sensação é fornecida por situações de indivíduos que perdem uma ou outra sensação, mas ainda assim conseguem perfeitamente se orientar, utilizando os sentidos ainda em funcionamento. Provavelmente, o exemplo mais surpreendente é o dos indivíduos que, perdida a visão na infância, conseguiram recuperá-la já em idade adulta. É importante que exista um período inicial durante o qual a criança teve a possibilidade de usar a visão, porque de outra maneira não estaria em condição de recuperá-la. De fato, a percepção visual é um processo que se completa na morfogênese durante os primeiros dois anos de vida. È curioso que esse tema, antes de ser tratado por médicos ou por biólogos, foi tratado por filósofos. Como conta mais em detalhe Richard Gregory *et al* (1963), e sintetiza Oliver Sacks (2006:114-115):

> *O filósofo do século XVII William Molyneus, cuja mulher era cega, colocou a seguinte questão a seu amigo John Locke: "Suponhamos que um homem nascido cego, e agora adulto, a quem é ensinado a distinguir o cubo da esfera pelo tato, volte a ver: [será que poderia agora] pela visão, antes de tocá-los [....] distinguir e dizer qual é o globo e qual é o cubo?". Locke considerou o problema em seu Essay concerning human understanding, de 1690, e decidiu que a resposta era não. Em 1709, examinando detalhadamente o problema e toda a relação entre a visão e o tato, George Barkeley concluiu que não havia conexão entre o mundo tátil e o da visão..."*

O estudo detalhado de casos clínicos, especialmente do caso de S.B., estudado por Gregory (1963), e de Virgil, estudado por Sacks (1995), mostram que os filósofos tinham razão: indivíduos que voltam a ganhar a visão em idade adulta não conseguem mais integrar a visão às sensações que serviram, no período da cegueira, a determinar o espaço. É significativo que S.B., o paciente de Gregory, levado à frente de um torno, equipamento que

no período no qual se encontrava cego era para ele um grande atrativo, não conseguiu perceber o objeto quando foi mostrado a ele e quando lhe foi permitido tocar com as mãos a ferramenta, fechou o olho e exclamou, "*Now that I've felt it I can see*" (Gregory; 1963: 31).

Essa e outras experiências me induzem a pensar que o tempo e o espaço tem áreas no sistema nervoso destinadas a processar essas duas percepções, que conseguem se manifestar a partir de estímulos os mais diferentes, destinadas exatamente a fornecer ao indivíduo as coordenadas nas quais agir. Poder-se ia dizer, utilizando um termo filosófico, que tempo e espaço são *a priori* kantianos, porque independentes da experiência sensorial. Mas a forma *a priori* do espaço não é determinada por uma sensação específica. Na nossa visão antropomorfa, tendemos a identificar a sensação do espaço com a visão. Na realidade, a visão representa apenas um componente, provavelmente para os seres humanos o componente dominante, para determinação da percepção espacial, mas todos os sentidos podem contribuir para a formação da percepção espacial. A audição, que na sua forma estereofônica é exatamente destinada a facilitar uma percepção espacial da origem do som. Mas também o olfato, o tato, a sensação do calor, e até a propriocepção, a sensação da posição dos órgãos internos em relação ao horizonte (portanto, o peso deles), contribuem globalmente para a formação da percepção do espaço no qual interagimos e temos de sobreviver. De qualquer forma, os módulos espaciais e temporais parecem, especialmente no homem, se ajustar durante a morfogênese aos sinais efetivamente recebidos. Em espécies com vida mais curta, o processo de ajustamento é provavelmente menor, e a interpretação da maioria dos estímulos externos já vem gravada em hardware.

Darwin comentava que, se cada órgão cumprisse apenas uma função, e se cada função fosse atendida apenas por um único órgão, não poderia existir a evolução. Essa afirmação de Darwin, destacada por Stephen Jay Gould (1993) me veio à mente lendo um ensaio sobre a orientação espacial das aves, cujo autor comentava, em relação à função da iluminação artificial com referência à orientação, a problemática mais complexa das aves, as quais, tendo de se orientar em um espaço de três dimensões, e na impossibilidade de parar no ar, precisam utilizar todos os sentidos para se orientar[9].

[9] A reflexão sobre essa situação me permitiu entender plenamente algo que aconteceu mais de 50 anos atrás. Quando moço, quis fazer pára-quedismo esportivo e, pela regulamentação italiana da época, era obrigado todos os anos a passar por uma Junta Médica da Aeronáutica Militar. A visita consistia em uma série de testes clínicos ordinários, mas também em testes ergométricos em ambientes confinados: cadeira giratória, orientação em um ambiente obscuro, com olhos vedados e com paredes à prova de som, câmara hipobárica. Hoje entendo que a finalidade dos testes consistia basicamente de ir excluindo a possibilidade de orientação com um dos sentidos clássicos, visão, audição, canais semicirculares (pelo efeito da força centrífuga) e verificar se o corpo conseguia

A referência a Emanuel Kant, citando a codificação do espaço e do tempo na filogênese dos organismos deve-se ao fato que foi exatamente a partir de Kant que Konrad Lorenz (1973; 1941)[10] iniciou a formulação da sua teoria da evolução como mecanismo de conhecimento do mundo. Utilizando as próprias palavras de Lorenz:

> *But just as the hoof of the horse is adapted to the ground of the steppe which it copes with, so our central nervous apparatus for organizing the image of the world is adapted to the real world with which man has to cope. Just like any organ, this apparatus has attained its expedient species-preserving form through this coping of real with the real during a species history many eons long (Lorenz 1941, pp. 103-104).*

Apesar da crítica lançada mais vezes por Lorenz (por exemplo, 1983: 30;174-175) a David Hume, o conceito do conhecimento moldado sobre a realidade (na época ainda não tinha sido formulada a teoria da seleção natural darwiniana), é extremamente claro no experimentalismo inglês. Ele é antecipado em *An Essay toward a New Theory of Vision* (1709) de George Barkley, e em *A Theory of Moral Sentiments* (1759) de Adam Smith, mas explicitamente formulado por David Hume, in *A Treaty of Human Nature* (1739). A citação do empirismo inglês não é apenas uma tentativa de ostentação de erudição, ela é importante para recolocar em justa posição o darwinismo[11]. Por explicita admissão de Darwin (mas também de Wallace), *An Essay on the Principle of Population,* de Thomas Malthus, foi a inspiração para a formulação da teoria da seleção natural. Na realidade, como reconheceram Gould (1993) e até Lewontin (2000), a seleção natural nada mais é que a mão livre do mercado de Adam Smith, formulação que se tornou famosa em *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations* (1776). Mas já tinha sido formulada explicitamente em *The Theory of Moral Sentiment (1759)* e antecipada pelo mesmo Smith in *The History of*

---

ainda assim orientar-se. Da mesma época lembro ainda as palavras do instrutor de vôo com planadores, aviões que possuem um mínimo de instrumental para se orientar: "o avião se dirige com o coccige" ("cóccix", mas na realidade utilizava uma expressão chula, de sentido mais imediato), e lembro como realmente o único indicador da inclinação correta do avião nas viradas era a percepção do peso do corpo perpendicular ao assento: quando o corpo percebia a virada como força centrífuga, o avião "glissava", perdendo o rumo.

[10] Em 1940 Konrad Lorenz foi nomeado professor de Filosofia natural em Königsberg, recebendo a cadeira que tinha sido de Emanuel Kant. Provavelmente foi exatamente esse encargo que levou a um conhecimento mais profundo da filosofia kantiana, e a fundamentar o estudo da percepção do entorno por parte dos seres vivos, apesar da crítica ao idealismo, sobre aquele filósofo (Lorenz, 1973: 29).

[11] A influência de David Hume sobre Darwin é demonstrada pelas freqüentes citações do filósofo nos *Notebooks* (1836-1884), portanto, anteriores à *Origin*, e nas correspondências. Apesar disso, poucos autores, entre os quais Huntley (1972), destacam o fenômeno. Por outro lado, o *bulldog* de Darwin, Thomas Huxley ([1879] 1902) escreveu um livro *Hume*, mostrando as afinidades entre a teoria darwiniana e a teoria do conhecimento do filósofo.

*Astronomy (1795)*. A referência a um tema cientifico mostra como "a mão livre do mercado" é um processo de seleção natural por intermédio do qual o empirismo escocês estuda a realidade a partir das suas próprias regras, sem levar em conta o transcendental. A contribuição original de Darwin (e de Wallace) é o fato de postular a existência da mutação e da reprodução diferenciada dos indivíduos dentro das espécies, ou, para utilizar uma definição de Mayr (2001), de mudar o enfoque da visão da espécie de um ponto de vista tipológico a um ponto de vista populacional.

Curiosamente, a posição de David Hume encontrou poucos seguidores no âmbito da biologia, mas foi ampliada e aperfeiçoada por físicos e matemáticos. Basta recordar Ernst Mach, mas principalmente Henri Poincaré, e é significativo que o físico Max Planc, depois da leitura de um texto de Konrad Lorenz que tratava do assunto escrevesse "ter experimentado uma grande satisfação verificando como, partindo de bases indutivas diferentes, é possível atingir uma identidade de visão sobre as relações existentes entre o mundo fenomênico e o mundo real" (Lorenz; 1983: 29).

Hoje que a neurologia tenta entender as bases fisiológicas do conhecimento, o retorno à tradição de David Hume, filtrado por Mach e Poincaré é claro, e se torna explicito em alguns neurologistas. Giacomo Rizzolatti, o descobridor dos neurônios espelho, para descrever o mecanismo mediante o qual os neurônios respondem à percepção de alguém que realiza um ato, utiliza cerca de seis páginas, com amplas citações do matemático francês (Rizzolatti; 2006: 65-70) em uma seção com o título "O duelo de Poincaré".

Mas, retornando ao tema da determinação do tempo e do espaço dentro da percepção de uma espécie, antes de passar mais especificamente à análise do olho, é preciso insistir para que se tome o cuidado de não cair naquilo que António Damásio (1994) definiu como "O Erro de Descartes" de separar a mente do corpo. Na realidade, são as sensações do corpo todo que contribuem para determinar a nossa posição no espaço, mas apenas em situações extremas estamos em condição de percebê-lo. É até provável que partes das sensações vitais para a sobrevivência sejam processadas seguindo canais não convencionais, que não percebemos conscientemente. Um exemplo concreto desse fato é fornecido pela recente descoberta da visão cega por parte de Lawrence Weiskrantz. Como relata Valayanur Ramachandran (2003:31-34), um paciente com uma lesão no córtex visual direito não enxerga com o olho esquerdo. Apesar disso, se pedirmos ao paciente para indicar um ponto luminoso nessa área visual, ele consegue um acerto em 99% dos casos. O fenômeno aparentemente curioso

encontra uma clara explicação fisiológica, usando as palavras de Ramachandran (2003:32-33):

> *The answer is obvious. As I said GY has damage to his visual cortex - the new pathway -which is why he is blind. But remember he still has the other old pathway, the other pathway going through his brain stem and superior colliculus as a back-up. So even though the message from the eyes and optic nerves doesn't reach the visual cortex, given that the visual cortex is damaged, they take the parallel route to the superior colliculus which allows him to locate the object in space and the message then gets relayed to higher brain centres in the parietal lobes that guide the hand movement accurately to point to the invisible object! It's as if even though GY the person, the human being is oblivious to what's going on, there's another unconscious zombie trapped in him who can guide the hand movement with uncanny accuracy.*[12]

A formação da visão do mundo de uma espécie, moldada em uma longa evolução de é*ones*, está garantida por estruturas fisiológicas e por módulos de processamento que eliminam as redundâncias e ressaltam o que é vital para a espécie. Boncinelli (1999), comentando a capacidade de identificar fenômenos, escreveu que na percepção o homem consegue reconhecer algo porque a imagem está codificada no seu corpo pela filogênese.

> *A imagem da visão em si não está em condição de comunicar ao nosso cérebro algum tipo de informação (.....) Para que seja possível obter dos órgãos dos sentidos alguma informação é necessário que esses estejam preparados. É necessário que já saibam alguma coisa, e mais exatamente conheçam em grandes linhas o repertório das coisas que poderiam perceber. Nossos sentidos, em substância, não observam passivamente o mundo, mas o interrogam. Para chegar a tal resultado é necessário um conhecimento prévio, uma sabedoria antiga, um tipo diferente de informação ganha há muito tempo antes e acumuladas durante milênios nas nossas células e nos nossos genes em forma de patrimônio genético. Boncinelli (1999: 121).*

Richard Dawkins (1988: 239) é ainda mais explícito:

> *Falando em termos quase paradoxais, o cérebro na maior parte dos casos não precisa ser informado de nada, porque o que acontece é a norma e a mensagem seria redundante. Ele se defende da redundância que é eliminada por intermédio de*

[12] Não todos os neurologistas concordam com essa explicação. Outros pensam que permaneçam ativos resíduos do córtex occipital.

> *uma hierarquia de filtros, cada um dos quais com a tarefa de eliminar uma característica específica prevista.*
>
> *Como conseqüência, essa série de filtros nervosos se transforma em uma espécie de descrição sumária da norma, ou das propriedades estatísticas do mundo animal. [...é como se...] os genes de uma espécie representassem afinal a descrição estatística dos mundos nos quais os ancestrais da espécie foram selecionados pela seleção natural. Dawkins, (1988: 239 da versão italiana)*

Diante dessas considerações, Dawkins afirma que o mundo que percebemos é uma construção nossa, um mundo virtual baseado sobre a história da espécie. A idéia, que à primeira vista pode parecer paradoxal, encontra confirmações em teste duplo cego realizado com critérios científicos e não apenas intuitivos. New, Cosmides e Tooby (2007) mostraram que os humanos conseguem perceber o movimento dos animais com maior facilidade que o movimento dos objetos inanimados: a herança dos caçadores coletores do pleistocene deixou uma marca nos módulos neurais de processamento da informação.

Quando se reflete sobre esses fatos o mito da Caverna de Platão (Republica Livro 7: 514a–520a), na qual o Prisioneiro se encontra fechado e percebe apenas as sombras projetadas na parede, torna-se menos absurdo do que poderia parecer à primeira vista. De fato, quando pensamos em todos os sinais que o mundo externo nos envia e a limitação dos nossos sentidos em percebê-los (mas que os instrumentos nos permitem detectar), não existe dúvida de que enxergamos apenas sombras. Apesar disso, conseguimos, com o raciocínio, a formação de idéias "universais", que conferimos válidas. Mas essas idéias não são, como as idéias platônicas, suspensas atemporalmente, elas são a herança das percepções que a filogênese codificou no genoma porque são vitais para a sobrevivência da espécie[13].

[13] Campbell, em um longo artigo, comparando a epistemologia de Karl Popper com a posição de Konrad Lorenz, mostrou entre elas uma matriz comum, definindo ambas como darwinianas. Halweg (1986), contestando a posição de Campbell, insistiu sobre a diversidade das duas posições. A posição de Popper é claramente uma posição epistemológica, na procura de uma metodologia da análise cientifica que vê na possibilidade de mostrar a falsidade da hipótese a fonte do conhecimento. Ao contrário, a posição de Lorenz deve ser considerada como uma gnosiologia evolutiva, na qual não se trata o problema da verificação da verdade das afirmações, mas apenas dos modos de conhecer de uma espécie.

## 2.5. A visão

Entre as maiores dificuldades para entender a visão de outros animais está o fato de nós também possuirmos olhos. Por isso, somos tentados a interpretar a visão de outras espécies utilizando os parâmetros de nossa própria visão.

Na escala da vida, a visão evoluiu pelo menos mais de 40 vezes – ou até mais de 60, como afirmaram Salvini-Plawen e Mayr (1977). O órgão visual pode ser muito simples – como o de um anelídeo (Wald e Rayport 1977), que dispõe de sensores espalhados ao longo do corpo capazes de detectar apenas a intensidade de um raio incidente – ou tão complexos quanto os olhos de uma águia, que consegue formar na retina a imagem do mundo que a circunda com uma acuidade visual superior àquela do homem. Os mecanismos para formação da imagem são tão variados que desafiam a imaginação humana. Até hoje foram descobertos 9 modos diferentes para formação de imagens. Os modos variam de um simples olho a taça, como nos moluscos, ao olho da *Copila quadrata*, que possui uma ótica móvel, na qual um único sensor, como o feixe de raios catódicos em um tubo de televisão, envia o sinal sobre uma retina muito mais ampla (Gregory *et al* 1964). Portanto, um único sensor consegue obter uma imagem completa do mundo circunstante. Pode-se verificar também o contrário, uma espécie com uma retina diminuída, na qual o olho envia periodicamente imagens de áreas diferentes do ambiente externo, como no caso da aranha papa-moscas, descrito por Michael Land (Dawkins, 1998).

Dentro da grande variedade de olhos presentes no reino animal, os dos insetos, espécies nas quais estou principalmente interessado, apresentam duas concepções básicas comuns, com quatro variantes: olho de aposição, olho de superposição, olho de superposição neural e olho à taça, este último presente apenas nos insetos que têm um terceiro olho, o *ocelo*. Mais adiante, neste capítulo, descreverei em detalhe esses sistemas visuais e as implicações das diferentes variantes para a percepção da iluminação artificial. A visão dos insetos é uma visão de mosaico, composta de uma série de cones (os omatídios), dentro dos quais estão alojados alguns sensores. O número de omatídios é bastante variável, de um mínimo de um a um máximo de muitos milhares, como na libélula. No omatídio não se forma uma imagem, ele é apenas um sensor que recebe um sinal, e a integração da imagem dá-se no nível neural.

Frente à grande variedade de sistemas visuais, dos mais simples aos mais complexos, pode surgir a dúvida de porque não atribuir visão também às plantas, uma vez que utilizam a radiação eletromagnética para crescer em direção à luz, fonte de energia para seu crescimento. Do ponto de vista biológico, os sensores das plantas – para usar as palavras de George Wald (1959) – não apresentam qualquer paralelismo com a visão, apesar de compartilhar uma origem filogenética comum. A diferença essencial entre a sensibilidade à luz das plantas e a visão do reino animal é que nas plantas a radiação eletromagnética fornece energia que gera reações físicas – como o ressecamento de uma superfície – ou químicas, como a produção de hormônios, e por estas razões o fototropismo vegetal é um processo lento. No reino animal, a radiação eletromagnética é apenas utilizada como sinal, e a sensação é assegurada pela energia metabólica do corpo, que converte o sinal luminoso em um sinal elétrico que é processado diretamente pelo sistema nervoso periférico – ou pelo sistema nervoso central –, podendo gerar uma reação imediata do organismo. Além da velocidade da resposta, o processo da visão registra uma vantagem adicional sobre as reações fototrópicas das plantas: o processamento cerebral. Trata-se de um processamento lógico, ou interpretativo, que confere riqueza e liberdade de escolha nas decisões originárias do sinal visual.

Nas espécies mais simples, que não conseguem gerar uma imagem, o sinal do sensor pode estar ligado diretamente ao sistema nervoso periférico, determinando reações reflexas. Na maioria das espécies complexas, o sinal gerado pela radiação incidente é processado e enviado ao sistema nervoso central que os interpreta e toma as decisões. Esse fenômeno confere riqueza ao sinal, permitindo a elaboração de decisões muito mais ricas que aquelas possíveis às reações fototrópicas das plantas. Essa vantagem adicional representa, porém, um grande ônus: conforme aumenta a complexidade do sistema visual, aumenta o dispêndio em tecidos e o dispêndio energético.

Esse fato é de máxima relevância quando se estuda a evolução dos sistemas visuais porque, se é verdade que a visão oferece à espécie uma vantagem seletiva muito alta, representa também um ônus elevado. Pelo princípio da parcimônia, dificilmente um órgão dispendioso evolui, ou se conserva, se não oferecer uma vantagem seletiva compensadora. É possível ver isso claramente em alguns mamíferos, como é o caso de alguns ratos, que, por não obter grandes vantagens em enxergar por praticar vida subterrânea, perderam parcial ou totalmente a capacidade da visão.

Por outro lado, é também necessário levar em conta que a vantagem seletiva deve ser vista *dentro do mundo próprio da espécie.* Portanto, foram selecionados apenas os sistemas visuais que ofereceram vantagens específicas dentro do mundo próprio da espécie, com objetivos os mais diferentes, como a fuga de um predador, a identificação de uma presa ou a identificação do parceiro para o acasalamento e a conseqüente reprodução (Dawkins, 1993).

Se a complexidade dos órgãos receptores e que processam a visão representa um elemento importante para garantir que a informação visual forneça dados relevantes para a sobrevivência dos insetos, podem existir mecanismos inatos, ou, poder-se-ia chamá-los de *gravados* em hardware, que permitem que determinados sinais vitais para a sobrevivência, sejam facilmente identificáveis, apesar de ter um conteúdo mínimo de informação. Um dos exemplos mais surpreendentes é sem dúvida o comportamento de muitas aves com hábitos terrestres, como as galinhas, os patos, as codornas, para as quais um ponto negro que se desloca na retina cria um estado de ânsia e exerce um estimulo à fuga. Konrad Lorenz (1974) notou que uma mosca que anda no forro de um quarto representa, para um pato, a mesma sensação de uma águia, ou de um falcão, predadores que ameaçam a espécie. A sensação de desconforto e o estímulo à fuga estão presentes até em pintos de um dia, mostrando, portanto, que se trata de um processo inato e não adquirido.

Apesar de tantas linhas evolutivas do olho, a origem filogenética da molécula responsável pela transdução da onda eletromagnética em sinal nervoso é única: uma molécula sensível à radiação, que originariamente servia para fotossíntese, a molécula de carotenóides. Os carotenóides das plantas, com a protovitamina A, que os animais não conseguem sintetizar, são necessários para assegurar a visão. Do ponto de vista evolutivo é interessante notar como, apesar da mesma molécula estar na base do processo da transdução a ativação do processo verifica-se de forma diferente entre vertebrados e invertebrados. Como comenta Stryer (1996):

> *The comparative study of these two systems of phototransduction offers the opportunity to understand how similar biological problems may be solved by different molecular mechanisms of signal transduction.*

Dois fenômenos devem ser ressaltados no processo de transdução

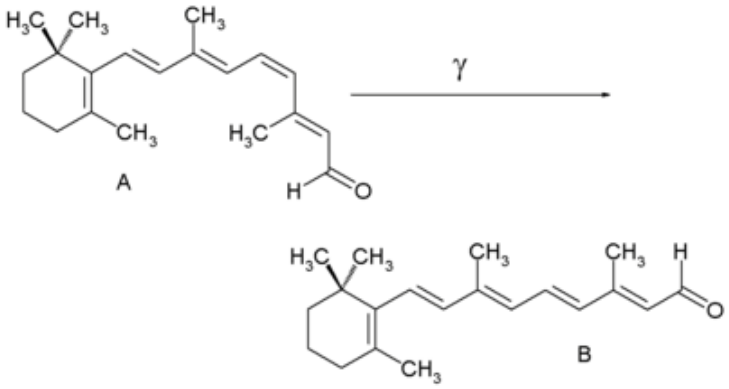
Por um lado, um gene (paradoxalmente chamado de *eyless,* ou sem *olho*) gerou nos últimos anos sérias polêmicas: a descoberta deste gene que controla o desenvolvimento de um olho nos insetos e nos mamíferos parecia indicar a alguns biólogos uma filogênese comum dos sistemas visuais de grande parte do reino animal. A posição, ridicularizada por Dawkins (1996), é criticada com a tradicional clareza por Maynard Smith (1999: 187), o qual classificou o gene como apenas um gene controlador, ou um gene homeótico: "Não estamos diante de um quebra-cabeça mecanicístico: é possível utilizar o mesmo tipo de interruptor para ligar um televisor ou um secador de cabelos." Fyhrquist (1999:8) sintetiza a aparente contradição no fato que diferentes linhas evolutivas utilizam as mesmas moléculas e o mesmo controle:

> *The occurrence of nearly identical visual pigments in eye structure that are apparently not homologous, rises the intriguing question as to what other characters are monophyletic. Homologous master control genes with ancient origin trigger the morphogenesis of poliphyletic eyes. Eyes have evolved independently, but a number of homologous elements are involved*. Fyhrquist (1999:8)

Diante dessa disputa, porém, Boncinelli (1999) insiste salientando que nos insetos verifica-se, na fase da larva e na fase de adulto, uma mudança da tipologia do olho, que passa por duas configurações filogeneticamente diferentes, de olho de aposição a olho de sobreposição. Apesar de autoridades que pensam o contrário, existem indícios que o sistema visual poderia ter uma origem filogenética única (Halder *et al* 1995a; 1995b).

A molécula que garante a transdução da onda eletromagnética em sinal elétrico é única, e seu funcionamento baseia-se em um processo extremamente simples (Figura 2.5.1): quando os cromóforos aceitam um fóton de luz, a molécula muda de estado da forma 11-*cis* para a forma *all-trans*, que por sua vez inicia uma série de reações bioquímicas que levam à excitação da célula receptora (Land e Fernald 1992).

Dois fenômenos devem ser ressaltados nesse processo. Em primeiro lugar, o próprio significado da transdução e, em segundo lugar, a amplitude da resposta ao variar o comprimento de onda da radiação eletromagnética e a resposta a diferentes comprimentos de onda.




*Fonte: http://www.ch.ic.ac.uk/wiki/index.php/It:Retinal(consulta 11/05/2006)*

**Figura 2.5. 1** *Transformação do 11 transretinol a cistransretinol que permite a recepção visual.*

Como fenômeno quântico, a resposta da excitação do retinol fornece como saída apenas uma corrente, cuja intensidade é proporcional ao sinal. Cada conjunto de moléculas sensíveis registra um máximo na banda da harmônica fundamental, e a resposta decresce em uma curva gausina conforme a radiação eletromagnética se afasta da banda fundamental. Pelo princípio da invariância, o sinal não permite a identificação da freqüência: estímulos da onda eletromagnética não ótima fornecem apenas um sinal de intensidade menor, a sensação da cor, portanto, não é um fenômeno ligado ao sensor, mas a uma interpretação do sinal por parte do sistema cerebral. A identificação da cor é possível apenas quando uma espécie possui opsinas com resposta a diferentes freqüências. Apesar das moléculas originárias da sensibilidade visual mostrar uma resposta a um comprimento de onda bem determinado, as moléculas que constituem os receptores da radiação eletromagnética dos diversos sistemas visuais apresentam uma ampla gama de variação, que inicia em torno de 350 nm e termina provavelmente no infravermelho, em torno de 800 nanômetros, com sensores específicos pouco comuns.

O mecanismo mediante o qual se verifica, nos sensores, um deslocamento do pico de sensibilidade das opsinas começa hoje a ser entendido de forma relativamente clara com a análise de opsinas dos animais. Aparentemente, a substituição de um aminoácido dentro da longa cadeia de aminoácidos que compõem a opsina gera um deslocamento do pico da sensibilidade. Por exemplo, Weitz e Nathans (1993) verificaram que a substituição da

histidina pelo ácido glutâmico determina um deslocamento da sensibilidade em direção do vermelho de 550 nm.

O elemento que interessa, nesse processo, não é o efeito específico da substituição de um aminoácido dentro de uma opsina, mas apenas o fato de que a substituição de um aminoácido determine esse deslocamento. Mudanças aleatórias dos aminoácidos podem ser verificadas, nos tempos evolutivos e, portanto, a sensibilidade a um determinado comprimento de onda é uma característica sujeita à seleção natural e são favorecidas apenas as mutações que conferem à espécie uma vantagem seletiva específica.

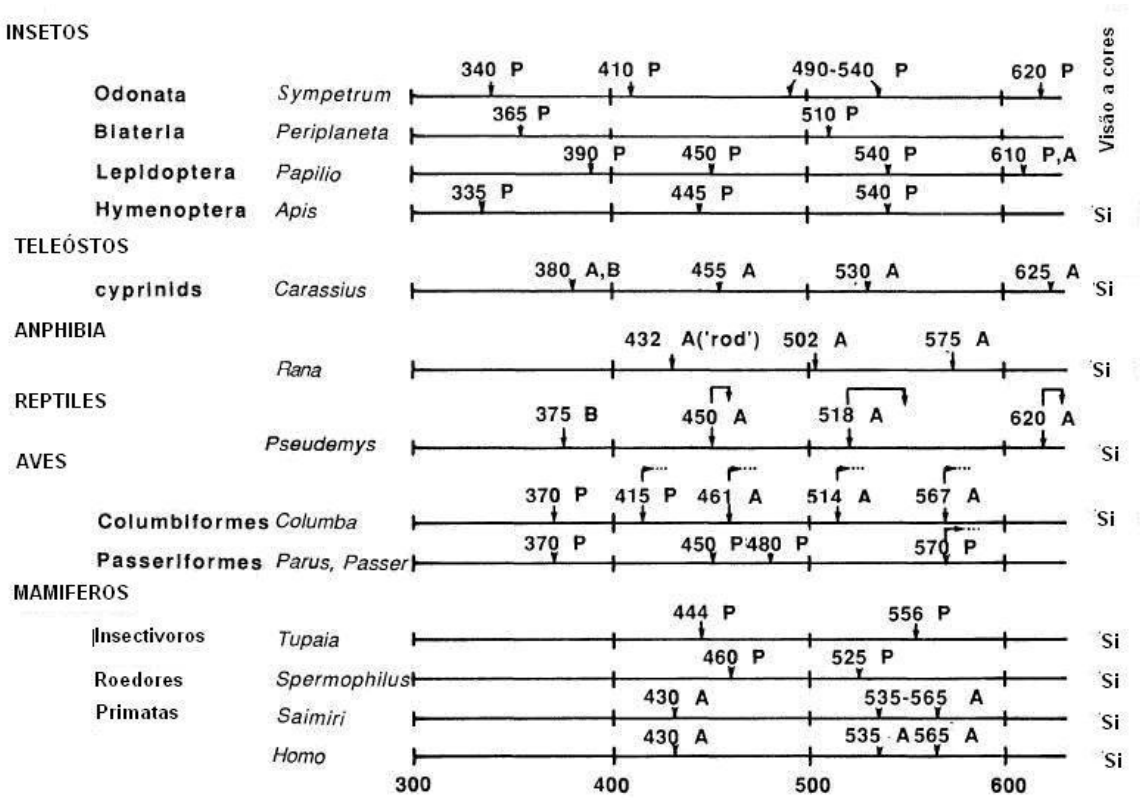
Do ponto de vista deste trabalho, a possibilidade de alteração do pico da sensibilidade indica que, se pressões seletivas específicas se manifestam na visão pela diversidade do ambiente na qual a espécie está adaptada, é possível encontrar polimorfismos geográficos com sensibilidade diferenciada aos diversos comprimentos de onda.

Observando a distribuição dos picos de sensibilidade das opsinas em diferentes espécies, o fenômeno da adaptação ao ambiente é evidente, como mostra a figura 2.5.2.

Na escala evolutiva foram favorecidas as mutações que ofereciam, em cada espécie, adaptações ao ambiente no qual elas viviam. Portanto, encontram-se opsinas sensíveis aos mais diferentes comprimento de onda dentro da escala permitida pelos fenômenos biológicos.

Dois fatores podem ser notados na Figura 2.5.2. O primeiro é que a visão na banda do ultravioleta A (entre 320 e 400 nm) está presente apenas nos insetos, nos répteis e nas aves, enquanto nos mamíferos, e no homem em especial, essa visão inicia-se apenas por volta de 400 mn. Esse fato é importante porque mostra a nítida separação entre a visão dos insetos e dos mamíferos, e do homem em particular, diferença essa que pode ser utilizada para escolher, dentro das diversas fontes de iluminação artificial, componentes de onda específicos, eficazes apenas para os humanos e menos eficazes para os insetos e para as aves.

O segundo elemento é que cada grupo de animais registra, entre espécies, bandas de sensibilidade idênticas ou similares. Essa segunda característica é importante porque assinala uma origem filogenética comum bastante antiga dos pigmentos visuais, facilitando dessa forma a identificação das faixas críticas da visão. De fato, existindo bandas idênticas de comprimentos de onda de sensibilidade máxima entre as espécies, é possível supor que a resposta ao comprimento de onda seja determinada não só por processos adaptativos ao ambiente, mas seja originária de uma base molecular comum.




*Fonte: Modificado de Goldsmith 1990*

**Figura 2.5.2.** *Sensibilidade das opsinas de diferentes espécies*

Essa hipótese facilita o trabalho de análise das bandas de sensibilidade, especialmente em um país como o Brasil, que abrange ecossistemas profundamente diferentes, que poderiam ter facilitado a formação de gradientes geográficos de sensibilidade espectral. Brioscoe e Chitta (2001) a formularam explicitamente na análise da resposta espectral dos himenópteros e mostraram a profunda convergência da sensibilidade por volta da banda de 350 nm, portanto, na região do ultravioleta A, independente da localização geográfica da espécie.

Se, de um ponto de vista global, nota-se na classe dos insetos uma profunda convergência de um máximo de sensibilidade do pigmento de onda curta na banda do ultravioleta, a literatura específica sobre os Culicidae (Service 1993, Clemens 1999, Muir 1992) confirma um máximo na banda da UV A, com um pico, no caso específico do *Aedes aegypti*, em 350 nm (Muir; 1992).

Especialmente significativa é a análise realizada por Allan *et al.* (1987), que abrange várias espécies de insetos que picam. Em seu estudo, os autores, além de assinalar os comprimentos de onda de diferentes espécies, analisam o ambiente no qual a espécie forrageia, e destacam o significado da visão para a identificação da presa. Considerando a visão de mosaico das espécies estudadas, Allan *et al.* (1987) insistem sobre o fato de que a discriminação da presa dá-se apenas a distâncias relativamente curtas, da ordem de 10 a 15 metros. Mas deve-se notar que a percepção da luz é registrada a grande distância. Portanto, o indivíduo, atraído pela iluminação artificial, pode se aproximar e, apenas quando próximo da presa, identificar e picar.

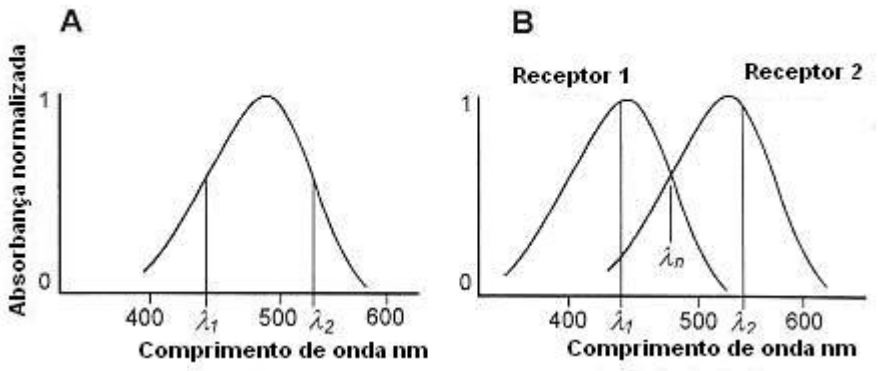
Até agora, apesar de mostrar que diferentes espécies possuem mais de um sensor, com sensibilidade a diversos comprimentos de onda, não foi comentada a visão a cores. Apenas a Figura 2.5. II. mostra, na última coluna da tabela, a indicação: visão a cores, sim ou não; é, portanto, necessário introduzir esse conceito, que representa um ponto essencial para a compreensão do fenômeno da atração.

**A visão a cores**

A discriminação de comprimentos de onda variados não garante a visão a cores. Para que o organismo consiga uma discriminação das cores é necessário que o sinal visual receba um processamento cerebral. Ao contrário da audição, na qual o sistema perceptivo permite a discriminação de diferentes freqüências de oscilação, na visão, como já comentei, a molécula sensível dispara uma carga elétrica, que fornece a mensagem cerebral, acusando apenas uma intensidade, e não uma freqüência: é o princípio da univariância. A percepção das cores é o resultado de um processo cerebral, de comparação entre sinais de sensores com picos máximos de sensibilidade em várias freqüências. A visão a cores é, portanto, possível apenas quando o sistema visual dispõe de sensores com máximos de sensibilidade diferenciados, e exista um sistema cerebral no qual a mensagem dos diversos receptores é processada e comparada.

O fenômeno é claramente ilustrado pela Figura 2.5.3., o qual mostra o significado visual do recebimento de um sinal luminoso por dois sistemas sensores: o primeiro com

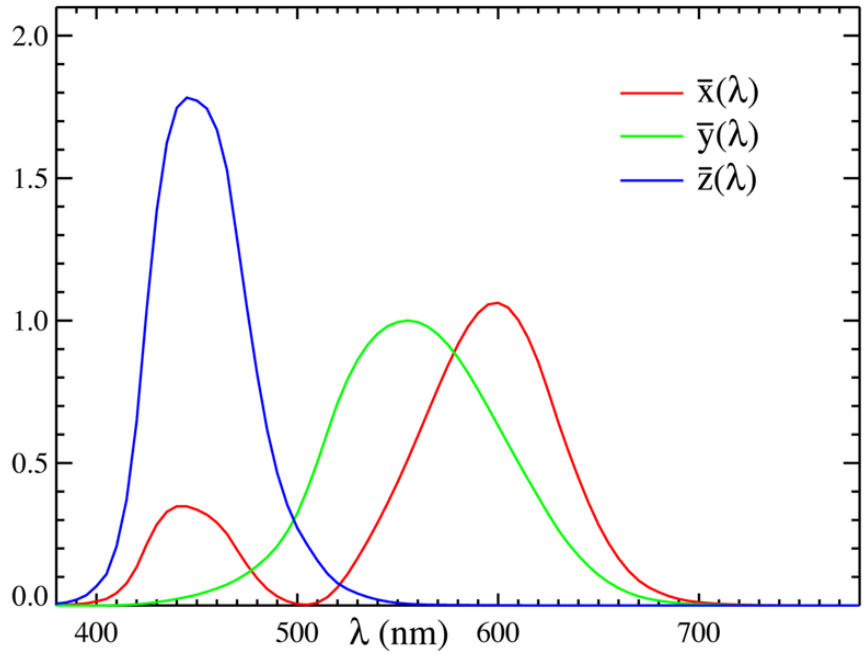
sensibilidade de apenas um máximo, o segundo com duas opsinas com máximos diferenciados. Na Figura 2.5.3 A o sensor não consegue distinguir a diferença entre o comprimento de onda $\lambda_1$ e $\lambda_2$: pelo princípio da univariância, o sistema visual recebe dois sinais de igual intensidade. Quando se passa para a Figura 2.5. 3. B, ao contrário, o circuito cerebral pode comparar o sinal da onda $\lambda_1$ e $\lambda_2$, e discriminar as duas cores. No ponto central $\lambda_n$, o sistema cerebral, registrando a presença simultânea de dois sinais de igual intensidade proveniente do ambiente, identifica a sensação como cor branca. O branco representa exatamente a presença simultânea de todas as cores pelas quais o organismo tem sensibilidade.




*Fonte: Modificado de McIlvan 1996*

**Figura 2.5.3** *A visão bicrômica*

No caso do homem, o olho possui três rodopsinas, cada uma com sensibilidade em diferentes comprimentos de onda. A figura 2.5.4. mostra os *S-cones* ou cones de comprimento de onda curta (azul), os *M-cones* ou cones de comprimento de onda média (amarelo) e os *L-cones* ou cones de comprimento de onda longa (vermelho).



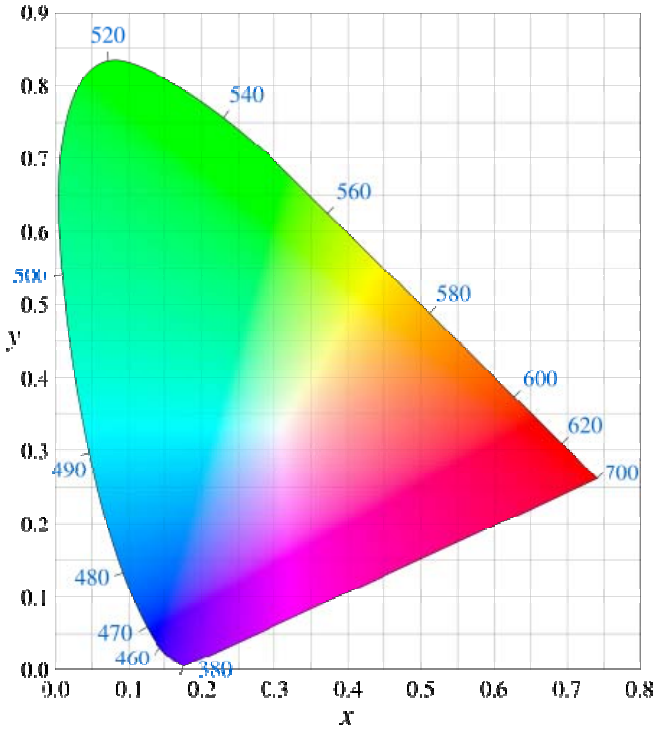

*Fonte Wikipedia: CIE 1931 color space*

**Figura 2.5. 4.** *Visão tri-crômica humana, CIE 1931.*

É importante destacar o significado da presença de mais de uma sensibilidade máxima na percepção visual.

Um órgão visual que disponha de uma opsina com um único comprimento de onda terá apenas a sensação de intensidade do sinal: claro e escuro, ou o sinal de luminância. Com dois máximos, se o sistema cerebral processar a informação, ele terá a possibilidade de discriminar entre dois comprimentos de onda; poderá ter, em certo sentido, a sensação das cores, e a sensação do branco será dada quando a intensidade da radiação percebida pelo sensor de onda curta e pelo sensor de onda longa forem iguais, e apenas uma determinada combinação de duas cores proporcionará a sensação do branco. A visão da espécie com duas opsinas apresenta duas variáveis: a luminância, ou brilho, e a matiz. Com três rodopsinas, conforme se registra no homem, a visão poderá ter três variáveis: a luminância, a matiz e a saturação. Na definição da CIE (1931), a sensação da cor é definida em um espaço de três dimensões com coordenadas XYZ correspondentes aos estímulos das três rodopsinas ondas curtas *S*, ou azul, ondas médias *M*, ou verde, e ondas longas *L*, ou vermelho. No espaço tridimensional o acoplamento de dois comprimentos de onda diferentes pode aparecer como

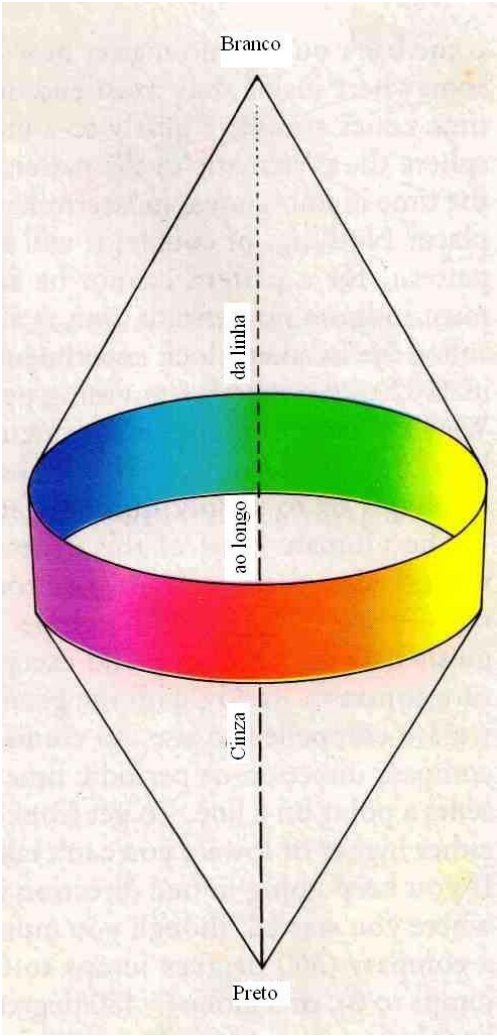
uma mesma cor. A sensação do branco pode, portanto, resultar de diferentes combinações dentro do espaço tridimensional cromático. A Figura 2.5.5. mostra o diagrama do espaço cromático da CIE (1931) em um plano, fixada uma das três variáveis. O diagrama completo, das três variáveis pode ser representado apenas em uma imagem tridimensional, no qual seja representada também a variável Z.




*Fonte Wikipedia: CIE 1931 color space*

**Figura 2.5.5.** *Diagrama bidimensional do espaço cromático CIE 1931 com as variáveis XY, fixada à variável Z.*

As três variáveis da visão a cores podem ser também representadas em uma forma mais intuitiva como na Figura 2.5.6. na qual a linha vertical branco-preto representa a linha do cinza: luminância, ou do brilho; a matiz é representada pelas cores da circunferência. Na circunferência as cores, ou matiz, possuem a máxima saturação, diminuindo essa conforme nos aproximamos ao eixo do cinza.




*Modificado de Winfree 1987, p 12.*

**Figura 2.5. 6.** *Representação das três características da visão a matiz a saturação e a luminância ou brilho.*

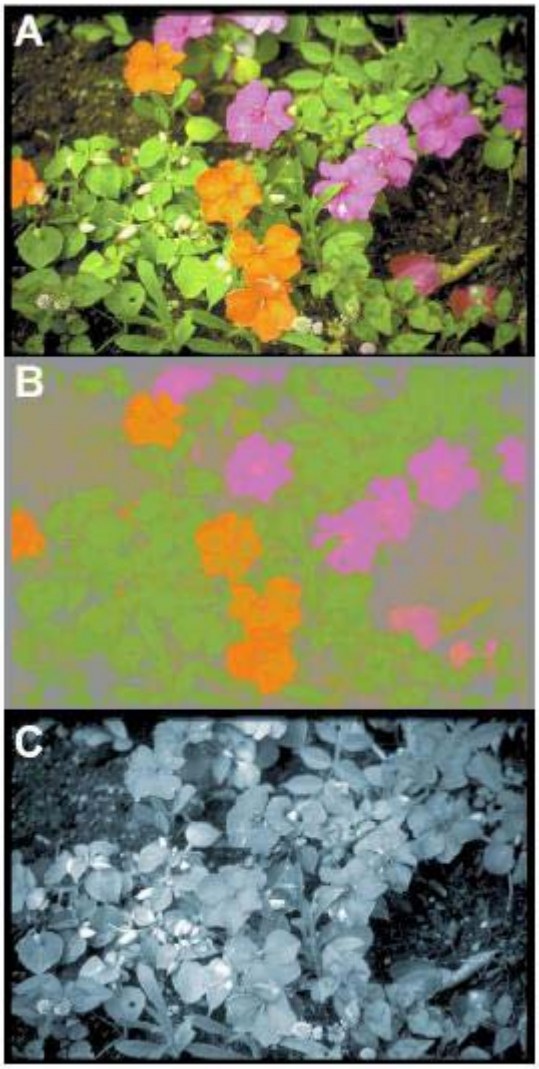
Na escala evolutiva dos mecanismos visuais, as espécies desenvolveram diferentes mecanismos de visão, e se de um lado encontram-se espécies com apenas um pigmento visual, outras podem ter quatro, cinco ou até mais pigmentos. Para nós, que possuímos apenas três picos máximos de sensibilidade, é difícil entender o efeito visual da disponibilidade de mais de três rodopsinas. Um ponto importante a ser entendido é que cada sensibilidade adicional de comprimento de onda introduz uma nova variável discriminatória, uma capacidade maior de identificar os fenômenos do mundo externo.

Para conhecimento do mundo externo é importante a discriminação das cores, que pode ser fundamental para discernir a realidade. A série de fotografias, reproduzidas na Figura 2.5.7., fornece uma visão do significado da cor para discriminação do mundo externo na visão tricrômica (Gegenfurtner ; Kiper 2003: 206).

Apesar da grande vantagem proporcionada pela visão a cores, não sabemos, e em alguns casos é até fonte de discussão, se e até que ponto diferentes espécies utilizam plenamente a visão a cores proporcionada pela existência de picos máximos de sensibilidade dos receptores. Por essa razão, quando se analisa uma espécie, além da identificação do número de rodopsinas, realizam-se também estudos comportamentais para verificar se efetivamente existe uma discriminação de cores.

Um fato importante é não apenas a existência de três ou mais picos de sensibilidade, mas também a distância entre os picos: quanto mais próximos forem os picos de sensibilidade maior será a capacidade de discriminação da radiação entre os dois picos.

A discriminação de comprimentos de onda diferentes, e, em alguns casos (como acontece no homem) bem próximos (cone de onda média M e cone de onda longa L), pode ter um significado adaptativo específico. Por exemplo, para espécies que se alimentam de frutas, a identificação do vermelho e do amarelo, bem separadas do verde, que é a cor das folhas, é essencial para reconhecer um fruto maduro: é só aproximar-se de um pé de pitanga para descobrir que as frutas maduras se destacam claramente no meio das folhas, enquanto as frutas não maduras se confundem com a vegetação. Se os dois picos de sensibilidade dos cones de onda longa *L* e dos cones de onda média *M* não fossem tão próximos, essa discriminação seria impossível.




*Fonte: Gegenfurtner ; Kiper (2003: 206)*

**Figura 2.5.7.** Decomposição de uma imagem colorida **A**, em matiz **B** e luminância, **C**.

Existem diferentes hipóteses sobre a razão pela qual os mamíferos, e mais especificamente o homem, não apresentam sensibilidade à radiação ultravioleta. Alguns, como Goldsmith (1990), pensam que a falta de sensibilidade nessa banda é ainda originária dos ancestrais comuns dos mamíferos, que viviam principalmente em tocas, e tinham hábitos noturnos. A hipótese parece, porém, pouco provável: a vantagem seletiva oferecida por uma boa visão, e a relativa facilidade com a qual se pode realizar uma variação no pico da sensibilidade, é suficientemente forte para determinar uma evolução nesse sentido e alguns mamíferos registram sensibilidade no ultravioleta. De fato, como pode ser visto na Figura

2.5.4., o homem possui nos cones de onda curta *S* uma sensibilidade até 380 nm; essa sensibilidade vai, porém, se atenuando com a idade (Bomel *et al* 2004). Mas existe um mecanismo que impediria a visão nessa banda espectral: a fóvea, a área de concentração máxima de cones, e de máxima sensibilidade, é coberta por uma fina película, a *macula lutea*, uma concentração de pigmentos amarelos que reduz a quantidade de ondas luminosas de onda curta que atingem a área da retina (McIlwain, 1996). Esse fato possui uma dupla justificativa, não excludente. A radiação de onda curta possui maior energia, e por isso pode produzir efeitos mutagênicos prejudicando a visão, inclusive favorecendo o aparecimento de catarata (Krinsky *et at,* 2003): ). A *macula lutea*, portanto, representa uma proteção contra o envelhecimento precoce do sistema visual humano. Por outro lado, a limitação dos comprimentos de onda aos quais o olho é sensível reduz o problema da aberração cromática.

Este exemplo é extraído de uma experiência humana, pouco significativa para a maioria dos insetos e em parte para as aves. Pode, por isso, surgir a dúvida de como os insetos reconhecem as flores, muitas das quais vermelhas ou amarelas, e em geral se afirma que as flores vermelhas são polinizadas pelas aves. Os insetos, de fato, têm uma escassa sensibilidade ao vermelho. Apesar disto, visitam flores e frutos de cor vermelha e são atraídos por estes porque as plantas possuem mecanismos específicos para ser visíveis pelas espécies que dispõem de sensibilidade à radiação ultravioleta. As flores apresentam pigmentos, as antocianinas, que refletem a radiação ultravioleta. Tal pigmento muda profundamente a aparência e a visibilidade quando os sensores óticos possuem essa capacidade de discriminação (Mann 1987; Sullivan 2004). Um exemplo visual é fornecido pela seqüência de fotografias da Figura 2.5.8, na qual é mostrada uma mesma flor, sendo que a primeira fotografia foi tomada com uma imagem tricrômica com resposta às bandas de sensibilidade humana, enquanto a segunda imagem destaca a radiação ultravioleta. Notar a diferença entre as duas fotografias. A área central da flor, para onde os insetos devem ser atraídos para assegurar a polinização aparece, na fotografia ultravioleta, de um tamanho mais que o dobro devido ao pigmento sobre as pétalas da flor, gerando, dessa forma, uma maior visibilidade. As antocianinas apresentam também um efeito protetor da vegetação, pois, refletindo a radiação ultravioleta, impedem que o tecido da planta seja prejudicado pelas radiações de onda curta.

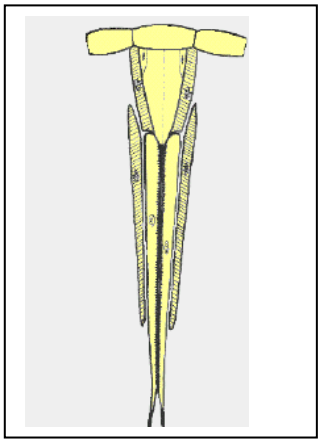
*Fonte: © Bjørn Rørslett/NN http://www.naturfotograf.com/UV_TARA_VUL.html#top (consulta 03/06/2004)*

**Figura 2.5. 8**. *Taraxacum vulgare (Asteraceae) fotografado com objetiva normal e com objetiva que destaca a radiação UV.*

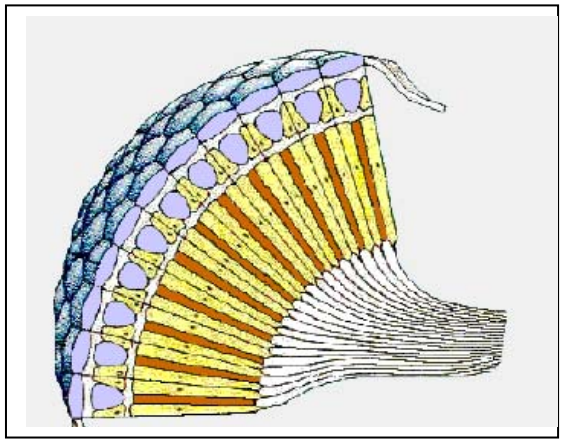
**A visão dos insetos**

Para entender de que forma a iluminação artificial exerce atração sobre alguns insetos, e mais especificamente sobre os insetos de interesse médico, é necessário relembrar alguns princípios da fisiologia da visão desses organismos. Como esse tema é muito amplo, limitarei o tratamento unicamente àquelas partes de interesse específico para o tema.

Como é conhecido, o olho dos insetos é profundamente diferente do olho humano. Este último é estruturado, como em uma máquina fotográfica, na qual o cristalino forma uma imagem invertida sobre a retina, onde se encontram os receptores. Nos insetos, ao contrário, o olho é formado por uma série de estruturas cônicas, os omatídios, no fundo dos quais se encontram os sensores. O olho dos insetos é, portanto, um olho composto. O número de omatídios varia de poucas dezenas a algumas centenas, dependendo da espécie e do sexo, e forma uma imagem em mosaico.



Sensor dos insetos, o omatídio



Olho composto pela união de omatídios

*Fonte Mayer http://www.cals.ncsu.edu:8050/course/ent425/tutorial/index.html consulta 10/10/2005x*

**Figura 2.5. 9. O olho dos insetos**

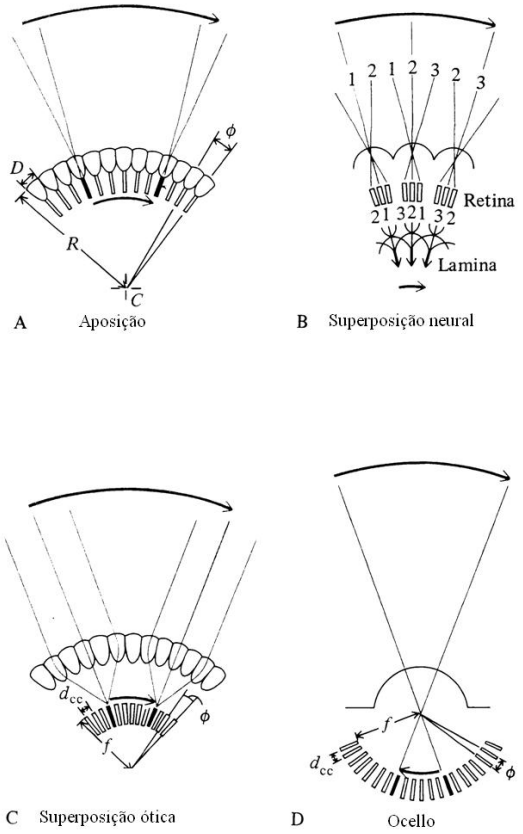
Apesar da estrutura similar, nos insetos encontramos, como mostra a Figura 2.5. 9., quatro sistemas de processamento da imagem:

A) **Olho de aposição:** a radiação incidente penetra e é processada apenas por um omatidio, cada um dos quais funciona como uma unidade separada. Em geral essa configuração está presente nos insetos diurnos.

B) **Olho de superposição neural:** a radiação não é concentrada e não forma uma imagem definida, a sensação é interpretada como imagem pela organização neural da *lâmina*. Recebendo uma maior quantidade de fótons, o olho de superposição neural apresenta maior sensibilidade em condições de baixa luminosidade.

C) **Olho de superposição ótica;** a radiação de diferentes omatídios se concentra sobre um único receptor. A imagem perde definição, mas aumenta a percepção em ambiente escuro.

D) **Ocelo:** o terceiro olho de alguns insetos, presente em muitas larvas, é um olho em taça e apresenta uma baixa resolução. Nos indivíduos adultos é freqüentemente fora de foco.




*Fonte:Modificado de Withers (1992)*

**Figura 2.5. 10.** *As diferentes configurações dos olhos dos insetos.*

A primeira conseqüência dessa estrutura ocular é que os omatídios oferecem uma resolução angular inferior àquela do homem (Land 1997). Mas, apesar da baixa resolução, um feixe de luz, concentrado pela estrutura cônica do omatídio, permite que uma luz seja identificada a grande distância. É claro que a luminosidade do entorno afeta qualquer percepção visual. Portanto, quando o ambiente noturno está iluminado, como nas noites de

lua cheia ou nas grandes cidades, a percepção de fontes de iluminação artificial é fortemente reduzida.

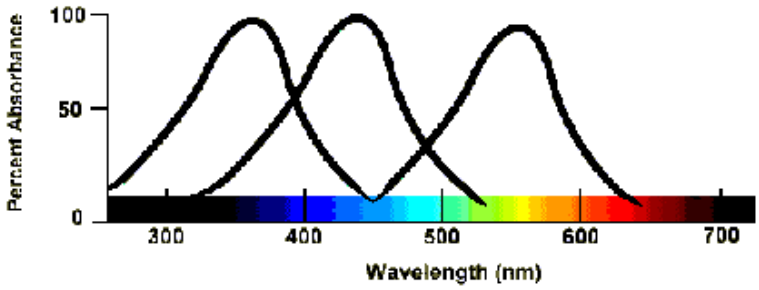
Uma segunda característica importante do omatídio é que sua geometria tubular estreita, a presença de microvilos da espessura de 500 A e comprimento de 1 mícron não permitem a rotação da rodopsina (Goldsmith 1990). A disposição da rodopsina de forma fixa permite a detecção do plano de polarização da luz, fenômeno utilizado por alguns insetos como as abelhas e as formigas, para orientar a direção do percurso de deslocamento em relação ao sol (von Frish; 1949; Gould e Gould; 1988.). Para essa finalidade, as espécies percebem o plano de polarização da radiação ultravioleta e azul determinado pela difração de Reyleight, apresentada no capítulo 2.1. A descoberta da percepção do plano de polarização da luz na abelha, por parte de von Frish, em 1949, foi acolhida com incredulidade pelos biólogos, mas nos últimos anos esse fenômeno está sendo verificado em muitas espécies. Essa característica, além de utilizada para orientação, parece ser usada também por alguns insetos para detecção de condições ambientais. Radiação polarizada *in natura* pode ser encontrada por radiação solar direta ou por reflexo sobre espelhos de água e de folhas (Mazokhin-Porshnyakov 1966; Swhwind, 1991; Horväth, 1995). Portanto, para os insetos cujos imaturos vivem na água, a luz polarizada poderia significar a presença de um lugar para servir de criadouro, propiciando, assim, condições especiais de atratividade.

Uma terceira característica é que, devido à configuração do olho, os insetos não apresentam pálpebras. Por isso não existe a possibilidade de impedir a penetração da radiação luminosa em condições de radiação intensa. Essa característica facilita o ofuscamento da radiação artificial. Além disso, o olho dos insetos não apresenta íris, que nos olhos humanos regula a quantidade de luz que atinge a retina, e cuja resposta é imediata. Muitos insetos, porém, estão em condições de controlar a migração de pigmentos presentes no omatídio, ou de fechar uma parte dos omatídios, regulando dessa forma a incidência da radiação sobre os sensores. No conjunto, esses dois fatores facilitam o processo de ofuscamento por súbitas variações de intensidade luminosa e são importantes para entender o comportamento de muitos insetos em relação à iluminação artificial.

Uma quarta característica é a resposta da rodopsina, responsável pela tradução do sinal luminoso em sinal elétrico ao terminal nervoso, nos diferentes comprimentos de onda da fonte de luz. As faixas de sensibilidade das rodopsinas nos insetos não são iguais àquelas do homem. Dependendo do inseto, existem dois, três ou quatro tipos de rodopsinas, cada uma

com sensibilidade específica para uma faixa de ondas eletromagnéticas. A Figura 2.5.11. mostra as curvas de sensibilidade dos insetos com três rodopsinas, como os mosquitos.

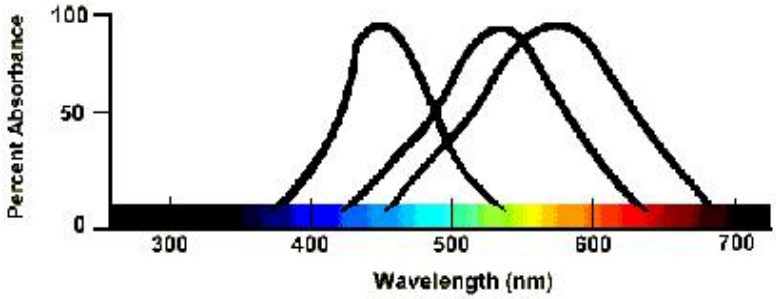
Nota-se, na Figura 2.5.11, que a curva correspondente à sensibilidade de cada comprimento de onda registra um máximo bem limitado referente a uma sensibilidade de 100%, decaindo progressivamente nos dois lados. O resultado da sensibilidade cromática do inseto por faixa espectral é, portanto, a somatória da eficiência da detecção cromática de cada rodopsina.




*Copyright Mayer 2002*

**Figura 2.5. 11.** *Sensibilidade espectral do olho dos insetos com três rodopsinas*

No caso do homem, a sensibilidade espectral é também determinada por três sensores distintos, mas em faixas de sensibilidade máxima distintas, conforme mostra a Figura 2.5.13.




*Copyright Mayer 2002*

**Figura 2.5.13.** *Sensibilidade cromática do homem*

Como mostram as Figuras 2.5.11 e 2.5.13., a sensibilidade visual humana inicia, do lado do vermelho, em 670 nanômetros, e termina em 380 nm, enquanto nos insetos com visão de três cores a percepção do vermelho inicia em 620 nm e termina em 270, com um último pico de sensibilidade em 350, quando o olho humano já não detecta mais o sinal. Na prática, o homem possui maior sensibilidade ao vermelho com a percepção das cores chegando até o azul e o início do violeta. Ao contrário, os insetos não percebem o vermelho, mas são sensíveis à radiação ultravioleta, que, para o homem, é invisível.

As diferenças não se limitam, porém, à resposta ao espectro luminoso. Uma diferença adicional é determinada pelo tempo de permanência da imagem nos sensores. No homem, o tempo de permanência da imagem na retina é de cerca de 1/30 de segundo, com a percepção de variações de intensidade que podem chegar a 1/60 de segundo. É por isso que, quando assistimos uma projeção de cinema ou de televisão, temos a impressão que os movimentos são contínuos, apesar de serem formados por seqüências de 60 imagens que se sucedem em um segundo. Nos mosquitos, ao contrário, o tempo de permanência da imagem nos omatídios é de 1/200 a 1/300 de segundo. Um inseto, assistindo a um filme, teria a impressão de uma alternância de claros e escuros, percebendo os instantes sem luz entre um fotograma e outro. Para um inseto, portanto, as lâmpadas como as fluorescentes e as de iluminação pública, quando operadas com reatores eletromagnéticos, aparecem como uma luz pulsante.

Essas observações referem-se à fisiologia do olho acomodado à luz. No processo de acomodação ao escuro, registra-se, como vimos, uma transformação das opsinas, que aumenta a sensibilidade, determinando um deslocamento da sensibilidade em direção à luz ultravioleta.

Lembradas sinteticamente as principais características do olho dos insetos em relação à luz, antes de tratar o problema da iluminação artificial, é importante considerar o significado da atratividade.

Diferente do que às vezes se afirma, a atração pela luz artificial não deve ser considerada um fototropismo. De fato, o comportamento de muitos insetos é diverso em relação à luz. Se realizarmos a experiência conceitual, proposta por Mazokhin-Porshnyakov (1969), e colocarmos em um quarto uma mosca e um mosquito, durante o dia a mosca se dirigirá em direção à janela e o mosquito em direção ao canto mais escuro. Ao contrário, no mesmo quarto, à noite, com uma fonte de iluminação artificial, os dois insetos se dirigirão à lâmpada. Por esta razão, a atração pela iluminação artificial não deve ser considerada um

tropismo positivo em direção à luz, mas a atração em direção a um sinal que, para o inseto, tem um significado específico. A atração pela iluminação artificial durante a noite deve ser considerada, como discutirei mais em detalhe no capítulo 2.6., um distúrbio de orientação.

Tal consideração é importante para avaliar duas posições contrastantes hoje encontradas na literatura entomológica. Service (1993) afirma que o reconhecimento das cores, por parte dos insetos, é essencialmente um problema técnico, que pode ser integralmente resolvido com a execução do *eletroretinograma* (ERG)[14] no omatídio da espécie. Clements (1999), ao contrário, afirma que unicamente o estudo comportamental pode indicar o efetivo significado que a detecção da cor representa para o inseto. Em outros termos, podemos conhecer com exatidão a resposta nervosa do omatídio ao sinal luminoso, mas unicamente o estudo comportamental permite compreender qual o significado que o estímulo exerce sobre o inseto, se de atração ou de repulsa. Como mostram diferentes experiências (Clements, 1999), o inseto pode ser atraído ou repelido por uma determinada faixa de radiação dependendo do contexto no qual a radiação é percebida.

Essa posição parece confirmada por uma recente resenha de Brioscoe e Chittka (2001), na qual é analisada a distribuição dos sensores das cores em várias espécies de insetos, sendo que os autores concluem:

> "*In a few cases (but not in many others), these differences can be linked to visual ecology. Other insects have virtually identical set of color receptors despite strong differences in lifestyle. Instead of the adaptionism that has dominated visual ecology in the past, we propose that chance evolutionary processes, history, and constraints should be considered.*"

Dados fisiológicos sobre a visão dos insetos mostram como a resposta do inseto a um sinal luminoso deve necessariamente ser estudada experimentalmente, porque a fisiologia e a percepção são profundamente diferentes das dos humanos. A inferência de comportamentos unicamente a partir de dados de laboratório corre o risco de esconder fenômenos que as limitações dos nossos sentidos não permitem perceber claramente.

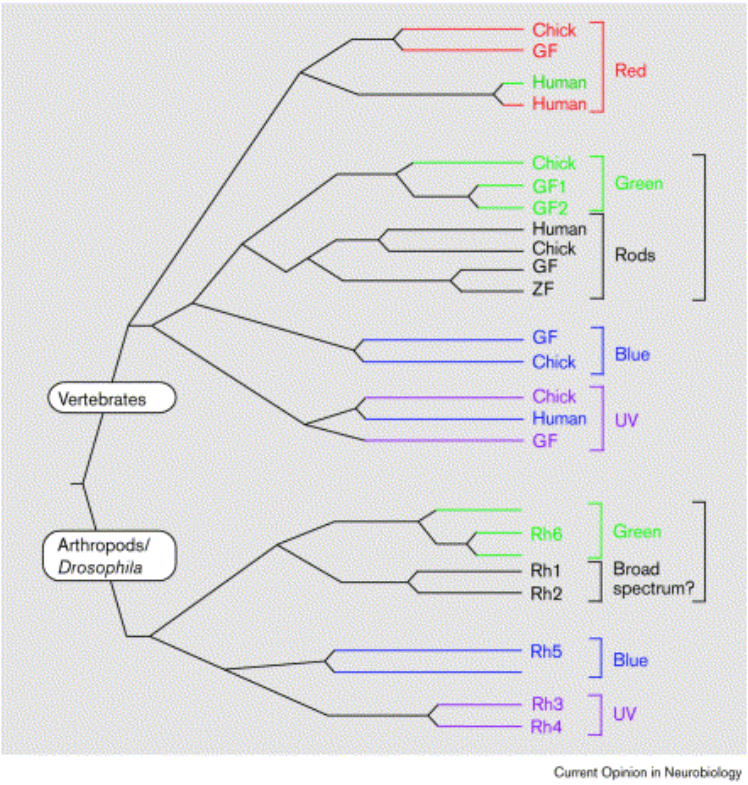
Dentro da grande variedade de sensibilidade espectral dos insetos picadores, é difícil resumir em apenas uma curva as características dessa categoria de animais. Curvas

[14] O eletroretinograma (ERG) é a medição da resposta do omatídio aos diferentes comprimentos de onda luminosa.

relativamente detalhadas, como, por exemplo, do *Aedes aegypti* (Muir 1992), indicam dois picos de sensibilidade, um no azul e um no ultravioleta. Outros dados da literatura confirmam essa posição, mas uma compreensão mais clara pode ser obtida pensando nos seus aspectos comportamentais.

A comparação da distribuição dos picos de sensibilidade das rodopsinas fornece, provavelmente, a melhor pista para compreender o mecanismo pelo qual os insetos se direcionam, em contraste com os animais terrestres. Vimos que, no homem, os dois picos de sensibilidade das ondas longas e das ondas médias são muito próximos, e a interpretação desse fato é que a proximidade permite uma boa discriminação entre o vermelho e o verde, fato esse importante para animais frutívoros. Nos insetos os dois picos próximos são os picos da radiação ultravioleta, ondas curtas, e do azul, ondas médias. A proximidade dos dois picos, na maioria das espécies, indica uma necessidade de discriminação importante nessa faixa visual. Se pensarmos nos ambientes nos quais os insetos vivem – o ar –, parece clara a necessidade de discriminação entre essas duas bandas: a radiação ultravioleta e a violeta são muito raras no ambiente terrestre, e estão presentes em abundância no céu; ao contrário, o azul e o verde são cores próprias do ambiente terrestre. Portanto, a discriminação entre as duas bandas é importante para definir o espaço no qual o indivíduo pode voar, e o espaço no qual o indivíduo deve andar.

Pichaud et. al (1999) oferecem uma interpretação filogenética a esse fenômeno e consideram que, durante a evolução, as opsinas se dividiram entre vertebrados e artrópodes, os primeiros com uma sensibilidade a comprimentos de onda longos, os segundos, a comprimentos de onda curtos. Em seguida, por mutação, surgiu um maior número de opsinas, mantendo-se, porém, uma separação fundamental entre a sensibilidade a ondas curtas e a ondas longas. O fenômeno está bem representado na árvore filogenética hipotética reconstruída por esses autores, reproduzida na Figura 2.5.13.




*Fonte Pichaud etc al (1999)*

**Figura 2.5.13.** *Arvore filogenética hipotética das* opsinas dos vertebrados e dos artrópodes

Mais recentemente, com o interesse na área da visão artificial, os mecanismos de visão dos insetos (mais simples que os do homem) estão sendo estudados em medida crescente. Estudos de inteligência artificial (Möller, 2002) mostram que, no processamento de imagens, a distinção entre o ultravioleta e o verde pode representar um mecanismo muito importante de orientação. A esse respeito é significativo que a curva do eletroretinograma do *Aedes aegypti*, medida por Muir (1992), mostra uma sensibilidade diferente da parte superior e da parte inferior do olho: a parte superior registra maior sensibilidade à radiação ultravioleta que a parte inferior. Pensando que a radiação ultravioleta é originária basicamente da abóbada celeste, justifica-se porque a parte superior do olho registra maior sensibilidade a esse comprimento de onda. A esse respeito, é importante lembrar que o olho dos insetos é fixo, e é composto de muitos omatídios. Portanto, por uma economia de recursos, apenas a parte superior, que em condições normais de vôo é dirigida em direção do céu, apresenta maior sensibilidade à radiação ultravioleta, enquanto a parte inferior, que enxerga em geral a terra, apresenta uma sensibilidade a comprimentos de onda maiores.

O fato de que a radiação ultravioleta tem para os insetos um significado mais profundo que uma simples discriminação das cores parece confirmado por uma série de fenômenos que vêm sendo descobertos nos últimos anos, e que de outra forma não teriam justificativa. Por exemplo, casualmente descobriu-se que, em uma estufa coberta de polietileno com filtro de bloqueio da radiação ultravioleta, as plantas eram atacadas por vírus em medida muito menor que em estufas tradicionais ou em campos abertos. Estudos mais acurados demonstraram que o fenômeno era devido ao menor número de insetos vetores de virus, e ao fato que os vetores que entravam na estufa ficavam "desnorteados" (Antignus et al 2000). Por outro lado, já há empresas comercializando *mulch*[15], ou cobertura morta, que reflete radiação ultravioleta para uso agrícola, com o intuito de reduzir as pragas ( ReflecteK Veg Mulch 2004). No primeiro caso, poder-se-ia dizer que a ausência da radiação ultravioleta parece criar para o inseto um mundo sem céu. Portanto, torna-se, para ele, difícil entender qual é o espaço no qual é permitido voar. No segundo caso, a presença de uma radiação ultravioleta na terra e sobre as plantas poderia ser interpretada pelos insetos como uma presença excessiva de céu, de área na qual é permitido voar.

Esses fenômenos, e outros que poderiam ser mencionados, confirmam a afirmação de Goldsmith (1994: 1483), que comentou: "Estudos de respostas comportamentais de insetos que possuem mais de uma classe espectral de fotorreceptores geraram o conceito de comportamentos dependentes do comprimento de onda. Esses fenômenos são diferentes da visão a cores, na qual a informação cromática pode ser utilizada em associações múltiplas. Trabalhos recentes com vertebrados mostraram uma série de respostas comportamentais que parecem baseadas em combinações específicas de classes de receptores espectrais. Entre essas foram encontradas respostas em aves com um máximo de reação à radiação ultravioleta; esse fato é surpreendente porque a retina das aves possui um número relativamente pequeno de cones visuais que respondem à radiação ultravioleta. Esses e outros exemplos, que sugerem um paralelo entre comportamentos dependentes do comprimento de onda dos artrópodes e '*releasers*' da etologia (Eibs-Eibesfeldt 1956), destacam a necessidade de conceitos explicativos que superem o paradigma da visão a cores dos primatas, e dediquem maior

[15] Na agricultura e na jardinagem, o *mulch*, ou cobertura morta, é um material protetor colocado sobre o solo com a finalidade de protegê-lo do clima. Podem ser usados diversos materiais. Antigamente eram principalmente utilizados folhas, cascas de árvores, bagaço de cana. Hoje na agricultura industrializada do hemisfério norte usam-se principalmente materiais sintéticos, como lonas de plástico.

atenção à ontogênese dos comportamentos direcionados pela visão nos vertebrados não mamíferos."

Como comentado no capítulo quinto, o mecanismo da visão não é limitado apenas por um problema de sensibilidade de sensores e de intensidade do sinal. Podem existir módulos cerebrais específicos que interpretam o sinal, atribuindo, como no caso dos patos, das galinhas e das codornas, um peso muito elevado a um sinal mínimo, como o deslocamento de um ponto negro dentro do espaço visual. É significativo que um biólogo especialista em visão, como Goldsmith (1994), que publicou a maior parte dos trabalhos sobre fenômenos estritamente ligados a fisiologia e a bioquímica molecular, insista, para a interpretação do significado da radiação ultravioleta nos insetos, no conceito de "*releaser*", um conceito típico da escola etológica européia, ligado principalmente aos nomes de Lorenz e Tinberger, e hoje em parte contestado pela escola sociobiológica americana. O conceito de "releaser", formulado originariamente por Konrad Lorenz e NikoTinberger com referência ao comportamento do ganso em relação à forma do ovo (Lorenz 1938, 1975), pressupõe que fenômenos do mundo externo que são especialmente significativos para sobrevivência da espécie são codificados no genoma, com mecanismos sensoriais ou neurológicos que permitem sua identificação dentro de um contexto aparentemente confuso, e geram comportamentos instintivos que são específicos da espécie.

O conjunto desses elementos, associados a estudos experimentais, levou os entomólogos a confirmar de forma empírica que a iluminação artificial, e especialmente aquela com fortes componentes de azul, violeta e ultravioleta, representa um poderoso elemento de atração sobre os insetos.

Mas, se a discriminação entre o ultravioleta e o azul representa um elemento fundamental para a orientação dos insetos, isto não significa que, como mostra a Figura 2.5. 2., os picos de sensibilidade sejam coincidentes em todas as espécies. A plasticidade da evolução das rodopsinas faz supor que possam existir variações relativamente acentuadas dependendo do ambiente no qual a espécie vive.

## 2.6. A atração dos insetos pela iluminação noturna

Se o fato dos insetos serem atraídos pela iluminação artificial é amplamente conhecido há tempo, a interpretação do fenômeno é recente e não totalmente assimilada pela literatura cientifica. Ainda hoje para muitos autores a atração seria originária de um fototropismo positivo: os insetos seriam atraídos pela iluminação artificial pela preferência de um ambiente com maior luminosidade. Na realidade a atração pela iluminação artificial depende do contexto no qual o indivíduo se encontra. O fenômeno foi mostrado com elegância por Richard Lewontin (1959). Em 1958, Collin Pittendrigh tinha publicado um estudo que continha um gráfico no qual a *Drosophila pseudoobscura* mostrava uma nítida preferência por ambiente escuro, contrariamente ao que se verificava com a *Drosophila persimilis*. O estudo deixou surpreso o jovem Lewontin, que sabia que um método para trocar de gaiola as *D. pseudoobscura* consistia exatamente em proteger da luz a armadilha ocupada e colocar ao lado uma nova armadilha com uma fonte luminosa. Com alguns pequenos golpes sobre a armadilha ofuscada, a maioria das *D. pseudoobscura* se deslocaria até a armadilha iluminada. Lewontin (1959: 327) realizou uma série de experimentos muito engenhosos e chegou à conclusão que a *D. pseudoobscura* "is indeed negatively phototactic under condition of low excitement, but that if the flies are forced to walk rapidly or to fly, they lose their negative phototaxis and became strongly attracted to light."

Esse exemplo mostra como a atração pela luz não deve ser considerada uma característica essencial imutável da espécie, mas sim um comportamento orientado, que pode variar, dependendo do contexto. No caso da *D. pseudoobscura*, a atração pela iluminação artificial não deve ser considerada um fototropismo positivo, uma atração indiscriminada pela luz, mas apenas uma atração por um espaço aberto. Já Mazokhin-Porshnyakov (1969), com base em coletas realizadas nos anos 1939-1940, salientava o fenômeno com uma experiência conceitual simples: colocando em um quarto uma mosca e um pernilongo, durante o dia a mosca se dirigirá em direção à parte mais clara do ambiente e o pernilongo ao canto mais escuro. À noite, ligando-se uma lâmpada, os dois se dirigirão em direção a ela. Portanto, a experiência confirmava que a atração da iluminação artificial não é um fototropismo positivo, mas apenas a procura de um espaço aberto, e a atração será maior quanto maior for o conteúdo de radiação ultravioleta. Ainda mais crítico em relação ao conceito de taxia foi Verheijen (1958: 87), que, resenhando os estudos sobre o comportamento de peixes, aves e

insetos em relação à iluminação artificial, comentou, a respeito das experiências de um pesquisador:

> *"Obviously he has not realized that only his 'pathic' reactions ad preferendum represents normal oriented movements, and that his polarized 'tropisms' ad maximum are laboratory products provoked by artificial illumination conditions".*

Esse comentário de Verheijen poderia ser aplicado aos resultados de experiências de coleta de insetos realizadas por muitos pesquisadores.

**Duas formas de atração**

De qualquer forma, a iluminação atrai insetos e aves, mas é necessário distinguir dois comportamentos de aproximação à iluminação artificial totalmente distintos: a atração de curto alcance e a atração de longo alcance. Essas duas condições são profundamente afetadas pela posição e pelo contraste da fonte de iluminação em relação ao entorno.

A atração dos insetos de curto alcance é praticamente uma armadilha ótica. A forte intensidade de uma fonte de iluminação artificial, quando próxima, ofusca o olho do indivíduo, o qual se vê impossibilitado de afastar-se: com o olho acomodado ao claro qualquer afastamento da fonte de luz determinaria a perda da visão. É necessário lembrar que os insetos não têm pálpebras, portanto não dispõem de recursos rápidos para evitar o ofuscamento. Nessa condição, depara-se com dois comportamentos distintos. Os insetos com escasso controle do vôo, como os lepidópteros e os coleópteros, aproximam-se até bater contra a lâmpada, ou pousam nas proximidades porque estão impossibilitados de enxergar. Nesse caso, contrariamente ao que foi proposto por Baker (citado por Janzen, 1983), os insetos não pousam porque pensam que seja dia, e portanto descansam, mas pousam porque, impossibilitados de enxergar, não saberiam para onde se dirigir. No caso de insetos com maior capacidade de controle do vôo, por exemplo, os culicídeos, na maioria das vezes conseguem controlar a direção, e permanecem voando em volta da lâmpada, com uma máxima concentração em torno de 30–40 centímetros da mesma (Barghini *et al*; 2002; Service; 1993). Esse comportamento de permanecer capturados pelo cone luminoso justifica a afirmação de Baker e Sadovy (1978), os quais, com base em uma série de experiências de marcação e captura, mostraram que a eficácia de captura de insetos em armadilhas luminosas

é de apenas três metros. Mas o fato que a recaptura foi apenas a uma distância de três metros não mede a atração, mede apenas o efeito do ofuscamento gerado pelo tipo de armadilha utilizado.

A iluminação artificial atrai não apenas insetos, mas também aves. Para que a atração possa ser efetiva, porém, é necessário que a fonte de iluminação artificial seja intensa e contraste com o entorno. Por exemplo, em New York que apesar da forte iluminação urbana, o monumento luminoso do "marco zero", que homenageia as vítimas do atentado de 11 de setembro, exerce, por causa da sua potência, uma atração tão forte sobre os insetos e as aves que os raios luminosos brilham pelo número de animais presentes. O fenômeno é tão acentuado que levou a polêmicas nos jornais com a participação de leitores, do diretor da Sociedade Municipal de Arte, do representante da Audubon Society e do Departamento Federal de Aviação (New York Times 10, 12 outubro 2004), que chegaram a discutir a possibilidade de interromper o funcionamento da iluminação do monumento (DeCandido, 2005).

A armadilha luminosa que seria possível chamar de armadilha de ofuscamento é efetiva, porém, apenas quando a luz artificial registra um profundo contraste em relação ao entorno. Portanto, uma mesma fonte de iluminação artificial registra dois efeitos distintos, dependendo da maneira que está posicionada em relação ao entorno. Se ela for colocada em um ambiente aberto escuro, no qual ela é perfeitamente visível, mas não têm anteparos sobre os quais cair, ela exerce um efeito de iluminância: o inseto é efetivamente atraído e acaba sendo aprisionado no cone com um verdadeiro efeito de armadilha. Se o ambiente é fechado e com iluminação, como em um quarto, por exemplo, a luminosidade do entorno permite ao indivíduo orientar-se, e ele não necessariamente cai na armadilha luminosa, mas pode pousar nas proximidades e depois se afastar.

A comprovação desse fenômeno pode ser obtida com facilidade ao se observar o comportamento de insetos quando, à noite, procuramos eliminá-los de um quarto. Quando, durante a noite, no escuro, somos incomodados por insetos e acendemos a luz, podemos notar que, em um primeiro momento, os pernilongos começam a rodar em volta da lâmpada ou até a pousar no teto, próximos a ela. Após alguns momentos, porém, eles voltam a voar e acabam se escondendo em um canto escuro do quarto. Evidentemente, ofuscados pela luz repentina, permanecem em um primeiro momento desorientados, voando, ou até pousando, nas proximidades da lâmpada, mas, recuperada a visão e conseguindo se orientar pela luminosidade ambiente, acabam se afastando da lâmpada e se escondendo em um canto escuro.

Este comportamento, que qualquer pessoa pode observar, explica o porquê de rendimentos tão diferentes em coletas com vários tipos de armadilhas luminosas, e em ambientes diversos. Em ambientes fechados, iluminados, nos quais a luminosidade do entorno permite aos indivíduos se localizar, o efeito da atração é reduzido, ou quase nulo. Já no ao ambiente aberto, no qual a fonte de iluminação é isolada, o rendimento da coleta é mais elevado.

A atração da iluminação artificial à distância tem uma explicação totalmente diversa e, para compreender o fenômeno, é necessário entender melhor as estratégias de orientação dos insetos (Gould e Gould, 1995; Srinivasan e Zhang 2004; Land 1999). Deslocando-se à noite no escuro, o inseto precisa de um ponto de referência para não esbarrar em obstáculos e para manter uma determinada trajetória. Para navegação, em um ambiente de escassa visibilidade, os insetos utilizam o mecanismo, que é comum à maioria das espécies, de assumir uma baliza, e manter a direção do vôo com ângulo constante em relação a ela. O sistema é sem dúvida eficiente durante o dia, quando muitos insetos utilizam a posição do sol e o plano de polarização da radiação solar, os quais, corrigidos pelo relógio interno, permitem não apenas manter um rumo, mas também voltar ao lugar de origem do vôo. Durante a noite os insetos orientam-se pela lua ou pelas estrelas, mas, na ausência destas, ou em condição de escassa visibilidade, uma fonte de iluminação terrestre se transforma em baliza. Acontece que, diferentemente de um corpo sideral – em relação ao qual, assumindo um ângulo constante, a trajetória resultante representa uma reta –, no caso de um ponto terrestre, assumindo um ângulo constante, a trajetória se altera, levando a uma aproximação da fonte de iluminação. Quando o indivíduo estiver suficientemente perto, ele acaba se aproximando em espiral e, com o efeito do ofuscamento, cai na armadilha luminosa.

A principal diferença entre os dois tipos de atração reside no fato de que, enquanto a atração de curto alcance é fundamentalmente inevitável (é quase que uma atração mecânica em direção à luz), na atração de longo alcance o indivíduo é atraído pela armadilha apenas se realmente tiver necessidade de se deslocar. O fenômeno foi notado com acuidade por Janzen (1983) que, realizando coletas principalmente de lepidópteros, trabalhando com identificação em nível de espécie, pôde verificar que, dependendo da época do ano, alternavam-se as espécies coletadas, dependendo do ciclo vital das mesmas. Algumas espécies desapareciam das coletas com armadilha luminosa, não porque não estivessem presentes na época, mas apenas porque, naquela época, já tinham encontrado seu nicho e não precisavam realizar grandes deslocamentos, portanto não eram atraídos de longe até as armadilhas. Pessoalmente tive oportunidade de confirmar o fenômeno em coletas em duas localidades, em uma área

rural no município de Cordeirópolis (S.P.) e no Parque ecológico do Tietê (município de São Paulo (Barghini *et. al.* 2002). Na primeira localidade, uma região com baixa concentração de insetos, a maior parte dos culicídeos capturados era fêmea, enquanto que na segunda localidade, com alta densidade de insetos, a proporção de machos e fêmeas era quase a mesma. O fenômeno fica explicado quando se pensa que os machos dos culicídeos registram uma mobilidade muito menor, enquanto as fêmeas, que precisam de sangue para a formação dos ovos, atingida a maturidade sexual, se deslocam amplamente até encontrar fonte de alimento. Vistas por essa ótica, as coletas de Cordeirópolis e do Parque ecológico do Tietê mostraram a seguinte situação: no primeiro ambiente, com as armadilhas no meio de um gramado, longe de prováveis criadouros, a atração deu-se basicamente pelo mecanismo de longo alcance e, portanto, eram coletados apenas os indivíduos que estavam à procura de animais de sangue quente para se alimentar, principalmente fêmeas. Na segunda localidade, em ambiente relativamente fechado, na proximidade de criadouros, o efeito da atração era, em grande parte, de curto alcance, levando dessa forma a uma elevada proporção de machos.

O caráter da atração à distância afeta naturalmente o rendimento das coletas dependendo das condições ambientais. Em uma noite de alta claridade como, por exemplo, no período da lua cheia, apesar de existir maior número de insetos voando, um número menor cai nas armadilhas porque a iluminação artificial, como já notava Mazokhin-Porshnyakov (1969), não se destaca suficientemente e a própria lua pode ser utilizada como baliza. Numa noite sem lua, ou com neblina, apesar do número de insetos que circula ser menor, a iluminação artificial acaba atraindo proporcionalmente um número maior de insetos. No caso das aves, que possuem um sistema cerebral mais desenvolvido e são capazes de reações menos estereotipadas, o efeito da atração manifesta-se apenas quando as condições de visibilidade são muito baixas, conforme destacado por um estudo sobre as fatalidades registradas em faróis marítimos (Jones, 2003).

### O efeito do comprimento de onda da radiação

As características dos sistemas de iluminação quanto à direção e espectro de irradiância afetam substancialmente a atração específica de insetos, de curto e de longo alcance. Uma vez que a iluminação artificial consegue desorientar os insetos porque ela é confundida com um ponto de referência sideral, o componente ultravioleta da fonte de iluminação representa um elemento essencial porque a principal fonte de radiação ultravioleta

é a abóbada celeste. O fato é conhecido há bastante tempo, mas apenas recentemente está se formando a consciência de que a radiação ultravioleta representa, em um certo sentido, como destacado por Goldsmith (1992; 1994), um *releaser*. Poderíamos defini-la como um bit de controle que indica ao indivíduo que a luz percebida é uma luz sideral. Mas é necessário ter cuidado em considerar apenas a radiação ultravioleta como elemento de atração. Conforme demonstrado por Walker e Galbreath (1979), Blomberg et al (1976) e Nabli *et al* (1999), apenas para citar alguns exemplos, uma lâmpada de luz negra, cujo componente é fundamentalmente ultravioleta A, atrai menos que uma lâmpada de luz mista, que tem um espectro de luz "branca", mas com um bom componente ultravioleta: na prática, para a atração se tornar efetiva, é necessária não apenas a radiação ultravioleta, mas também a luz "normal".

**A iluminação artificial e a atração dos vetores de patógenos**

Em geral, os insetos são considerados apenas um incômodo e se esquece que eles fazem parte de um ecossistema extremamente complexo no qual exercem uma grande variedade de funções, da polinização de plantas à reciclagem de material orgânico. A redução ou o aumento do número de insetos em geral, ou de algumas espécies em particular, pode levar a profundas alterações na rede trófica cuja conseqüências são imprevisíveis. Me parece, porém, importante apenas uma dessas conseqüências: o possível impacto sobre a difusão de doenças emergentes em áreas silvestres às quais ainda não chegou a iluminação moderna.

A política de redução das desigualdades sociais e da pobreza, aliada à idéia de que apenas processos de modernização poderão assegurar o crescimento econômico e social das populações em desenvolvimento, está incentivando grandes programas de eletrificação em áreas isoladas no mundo inteiro. Hoje estima-se que ainda 1,6 bilhão de pessoas estão sem acesso à energia elétrica (IEA, 2002) e diversos estados e organizações internacionais estão lançando amplos programas de suporte à eletrificação (World Bank 2001, 2006).

Fontes alternativas de energia e novas técnicas de produção de iluminação artificial mais eficientes do que as tradicionais poderão permitir o atendimento das populações menos privilegiadas, levando a eletrificação às áreas mais isoladas, e, ao mesmo tempo, diminuir o impacto da geração elétrica sobre o meio ambiente (Mills, 2003, 2006).

Se, do ponto de vista social, essas iniciativas são sem dúvida positivas, não é possível esquecer que as áreas nas quais é menor o atendimento elétrico são em grande parte áreas rurais da região equatorial e tropical (IEA, 2002), onde é mais acentuada a presença de doenças transmissíveis pelos insetos. Considerando que, como vimos, a iluminação artificial representa um forte atrativo para os insetos, a difusão desses programas poderia representar um risco de surtos de doenças conhecidas e emergentes. Os conhecimentos na área da fisiologia e do comportamento dos insetos fornecem, porém, indicações sobre meios de minimizar essa atração. Não restam dúvidas que serão necessários estudos específicos e normas de instalação para minimizar o impacto desses novos programas. No intuito de contribuir e colocar o problema de forma adequada, resenho alguns dos possíveis impactos da iluminação sobre a transmissão de doenças, e comento as estratégias para minimizá-las.

Os entomólogos estão conscientes do alto poder de atração da iluminação artificial sobre muitas espécies de insetos e utilizam normalmente armadilhas luminosas para coletas e censos de insetos. Curiosamente, porém, o tema da iluminação artificial como elemento de atração antrópica na difusão de doenças quase não é levado em consideração pela maioria dos autores e, em alguns casos, é até negado.

A origem desse fenômeno é antiga. Durante a construção do canal do Panamá, no começo do século 20, LePrince (1916) salientou que, apesar dos insetos serem atraídos pela iluminação artificial, a presença do homem era um elemento indispensável para gerar uma efetiva invasão de anofelinos. Se a casa era habitada, a iluminação gerava um aumento dos insetos, mas, se a casa não era habitada, os insetos entravam apenas acidentalmente apesar da existência da iluminação.

Uma posição similar assumia, na mesma época, Carlos Chagas, que, ao descrever o ciclo do *Tripomasoma cruzi*, escreveu (mantendo a grafia original):

> *Muita vez verificámos o ataque do homem pelo hematofago: Poucos minutos apoz a extinção da luz nos apozentos saem elles dos esconderijos, em grande numero, e vêm picar os individuos, de preferencia no rosto. Acendendo-se o lume os hematofagos fojem rapidamente, sendo mesmo dificil, deste modo, a captura delles.*
> *O hematofago só permanece nas habitações emquanto aí rezide o homem; das cabanas abandonadas bem depressa elle dezaparece, certo pelo fato de auzencia de alimentação*. (Chagas, 1909:159)

Hoje, com maiores conhecimentos sobre os comportamentos de vetores de patógenos de doenças transmisíveis, sabe-se que a grande maioria dos insetos sugadores de sangue é inibida, nesse ato, pela iluminação forte. Isso não significa, porém, que a iluminação artificial afaste o perigo de doenças transmitidas por insetos, significa apenas que esse perigo se

apresenta de forma mais sutil dependendo do modo no qual os insetos são atraídos se por uma armadilha de *ofuscamento*, de curto alcance, ou por uma armadilha de *desnorteamento* da direção, de longo alcance.

Postas essas premissas sobre os mecanismos de atração dos insetos por parte da iluminação artificial, é possível tentar avaliar de que forma essa atração pode exercer efeitos sobre a transmissão de doenças. Evidentemente não podemos pensar que a iluminação artificial atrai vetores que picam imediatamente, transmitindo a doença. É esta uma forma simplista de pensar, que deve ser excluída porque sabemos de longa data que os insetos hematófagos tendem a ser inibidos pela presença da luz e muitos tendem a afastar-se dela. Precisamos pensar na iluminação artificial como um elemento ambiental que, pelo seu efeito de longo alcance, tem o potencial de afetar profundamente o ecossistema. O fato é especialmente significativo em ambiente tropical e equatorial, no qual existe a maior diversidade de arbovírus (Travasso *et al* 1998), mas, ao mesmo tempo, o ecossistema é extremamente especializado, no sentido de que, por causa da grande diversidade, os insetos tendem a ser especializados em termos de ambiente e de presa. Por exemplo, conforme mostrado por Dias-Lima *et al* (2002), em uma árvore amazônica, as diferentes espécies de flebotomíneos registram uma estratificação vertical, com uma baixa mobilidade entre os diversos estratos das árvores (topo, copa, meio, base), dependendo do animal parasitado. Essa especialização circunscreve em certo sentido o âmbito de transmissão das doenças, não necessariamente porque a doença não seja transmissível ao homem, mas apenas porque o vetor não entra normalmente em contato com o homem. Nesse contexto, a iluminação artificial pode favorecer a aproximação dos insetos ao ambiente antrópico, permitindo um contato que de outra forma seria improvável.

Provavelmente a atração pode exercer dois tipos de efeitos, com características distintas: o primeiro é atrair vetores de patógenos, que de outra forma permaneceriam em outro ambiente, para uma região de influência antrópica, aumentando assim o risco de transmissão. Trata-se de uma conseqüência bastante óbvia, já verificada no caso de algumas doenças, como será exemplificado a seguir. O segundo efeito da iluminação é mais problemático, e não são encontradas muitas referências na literatura. Cada espécie de vetor apresenta ritmos biológicos bem determinados para alimentar-se (Marques, 1999). O ritmo é fixado por um relógio biológico interno que, conforme mostrado pelos cronobiólogos, é fortemente afetado pela iluminação artificial. A iluminação artificial pode determinar alterações do ciclo circadianos da espécie, e favorecer a extensão do período de

forrageamento, ampliando, dessa forma, o número de reações ematóficas com o homem e, conseqüentemente, as probabilidades de infecções.

Nos insetos com amplo raio de deslocamento, como os culicídeos, a iluminação artificial exerce uma forte atração à distância, mas os insetos, como salientam Clements (1999) e Service (1993), não chegam a esbarrar na luminária e apenas circulam em volta dela. Nesse caso, chegando a um ambiente antrópico, o inseto pode ser estimulado pelo olfato e picar, transmitindo possíveis doenças. Tive pessoalmente a oportunidade de verificar um exemplo do amplo raio de circulação no município de Mucajaí (Roraima), onde anofelinos visitavam a cidade, apesar de ter os criadouros a mais de dois quilômetros de distância. É provável que a iluminação a vapor de mercúrio exercesse um elemento adicional de atração. Acentuando a atração à distância, a iluminação artificial pode ampliar a área de influência para instauração de epidemias. Por outro lado, com a eletrificação em áreas isoladas e na impossibilidade de realizar pulverizações sanitárias, como se realizam nas cidades, em um raio amplo, corre-se o risco de expor as populações locais a surtos de doênças conhecidas e desconhecidas. Quando sabemos que existem espécies que realizam deslocamentos de muitos quilômetros, por exemplo, o *Anopheles sinensis* (Ree; 2005), não podemos minimizar a conseqüência que a atração à distância pode determinar na difusão de epidemias.

Em outros insetos com mobilidade menor, como os flebotomíneos, a iluminação artificial pode gerar situações mais sutis: o inseto não é atraído diretamente até a luminária. Portanto, não pode ser capturado em armadilhas próximas a ela, mas pode ser desorientado e atraído para as proximidades do ambiente humano. No caso dos flebotomíneos Dos Santos *et al* (2003), por exemplo, alertam especificamente:

> *"The positive phototaxis observed in L. intermedia and L. whitmani may pose a greater risk of transmission of Leishmania in houses where an external light source is situated close to a light-colored wall that reflects light and that have adjacent bushes or trees and domestic animal shelters within 50 m".*

Na realidade, os modos pelos quais a atração da luz pode exercer efeitos são muitos e apenas estudos aprofundados sobre diferentes espécies podem permitir lançar hipóteses mais concretas. O recente caso da descoberta do impacto da iluminação artificial na difusão do mal de Chagas pode servir de exemplo de como a iluminação pode exercer seus efeitos de modo sutil.

**O caso do mal de Chagas**

O caso do mal de Chagas é exemplar no que diz respeito aos modos pelos quais a iluminação artificial pode gerar novas condições de difusão de doenças. A tripanossomíase ou o mal de Chagas é uma doença difundida em época pré-colombiana, na região andina e ausente no planalto central e na região amazônica. A justificativa dessa concentração em local diferente em época pré-colombiana é bastante evidente: na região andina, a existência de aldeias permanentes, a criação de animais domésticos (o *cui,* ou *Cavia porcellus,* e a *llama*, *Lama glama)* e o tipo de cobertura das casas facilitaram a domiciliação do vetor, e a doença se tornou endêmica. No planalto central do Brasil, as casas de adobe e as coberturas de sapé facilitaram a instauração da epidemia após a colonização européia. Diferente dessas duas situações, na região amazônica, como destacado por Coimbra (1988), apesar de existir o patógeno e sete potenciais vetores, o mal de Chagas não se instaurou até época recente. Esse elemento foi destacado por Coimbra como uma das argumentações para afirmar que não existiram aldeias permanentes na região: o processo contínuo de deslocamento das aldeias não permitiu a domiciliação do vetor.

Em tempos recentes começaram a se registrar casos esporádicos de mal de Chagas em diversas regiões da Amazônia, e a surgir a suspeita de que o mecanismo de transmissão pudesse ser outro que não aquele tradicionalmente conhecido, no qual o barbeiro podia ser encontrado no domicílio. Em alguns casos, já assinalados no passado (Barretto *et al* 1978, Schofeild 2000) e confirmados recentemente, a transmissão se verificou provavelmente pela ingestão do próprio vetor esmagado, ou das fezes do mesmo, encontrados em alimentos como o fruto do açaí (*Euterpe oleracea*) e a cana de açúcar, triturados para produção do suco, conforme relatado por Geraque (2005). Ao lado desse meio de transmissão, está sendo assinalado sempre com maior freqüência um meio de transmissão diferente, no qual o vetor não é encontrado no domicílio, mas apenas na região peridomiciliar. Aparentemente, o vetor seria atraído, quando inexistem outros animais de sangue quente para parasitar, pela iluminação artificial até o domicílio, onde parasitaria os seres humanos.

Essa hipótese, já lançada por Bertram (1971), foi reafirmada por Zeledón *et al* (1981) de forma bastante incisiva:

> *The attraction of lights for triatomines is well known and very important in the dissemination pattern of those species that thrives in the household. Using (226)*

> *reported that numerous specimens o T. rubida, T. longipes, and Paratriatoma hirsute where collected in Arizona e California while flying to lights. Other species observed in different countries to be attracted by electric lights are: T. dimidiata, P geniculatus, T infestant, P. Megistus, R. neglectus, T. maculate, T. barberi, T sordida, T guasayana, T eratyrusiformis and T. platensis, R. pallescens, E. cuspidatus, P rufotuberculatus, P. humeralis and C. pilosa. Gamboa (93,94) stated that R. prolixus is not attracted to light and is a poor flyer, but Tonn et al (217) contradicted this information and showed that this species is strongly attracted, as where also R. pictipes and E mucronatus.*

Hoje a influência da iluminação artificial como componente que facilita a disseminação do mal de Chagas encontra um renovado interesse entre os pesquisadores latino-americanos: na Venezuela, por Feliciangeli (2002); na Colômbia, por Zeledon *et al* (2001); no Peru, por Cuba *et al.* (2002); na Argentina, por Salonón *et al.* (1999); no Brasil, por diferentes pesquisadores, como Teixeira *et al* (2001), Walter *et al* (2005) na Bahia; no Ceará, por Reisenman *et al.* (2002). Enquanto em muitos casos os pesquisadores apontam apenas a possibilidade da iluminação ter facilitado a transmissão, apenas com indicios, Walter *et al* (2005) afirmam explicitamente que existe uma forte correlação entre a difusão da doença e o uso de lâmpadas a querosene e painéis fotovoltaicos.

> *Triatomine infestation (T. brasiliensis and T. pseudomaculata combined) was significantly associated with kerosene lamp lighting and solar panel lighting (p = 0.019). (Walter et al; 2005: 975)*

Notar o destaque que os autores colocam nas lamparinas a querosene e em painéis fotovoltaicos. A iluminação "moderna", de maior intensidade porque mais eficiente e com um espectro de irradiância com comprimento de ondas mais curtas, como mostrei no capítulo 2.2., portanto mais atrativa em relação aos sistemas de iluminação artificial tradicional gera uma atração efetiva sobre os vetores. Os sistemas tradicionais de iluminação, por causa da baixa intensidade e do espetro de irradiância avermelhados são menos críticos porque atraem menos vetores.

Por fim, na Reunião Internacional sobre Vigilância e Prevenção da Doença de Chagas na Amazônia, os pesquisadores Roja, Vinhaes e Rodriguez (2005) colocaram a iluminação artificial entre os elementos que potencialmente afetam a transmissão da doença.

Ainda mais recentemente, em uma ampla publicação editada pelo World Bank sobre as prioridades de controle de doenças nos países em desenvolvimento (Dean *et al* 2006), no

capítulo sobre as doenças tropicais que estão sendo tentativamente eliminadas (Remme *et al*, 2006), os autores fornecem uma descrição exemplar dos riscos de difusão do mal de Chagas:

> *More than 120 species of Triatominae and three transmission cycles are recognized. The domestic cycle, responsible for maintaining infection in humans, occurs mostly in rural or periurban areas where houses have adobe walls and thatched roofs. Humans, dogs, cats, and in some countries guinea pigs are the main parasite reservoirs in this cycle. The vector lives and multiplies in cracks in the walls, holes in the roof, under and behind furniture and pictures, and so on. The sylvatic cycle involves sylvatic triatomine bugs that become infected and in turn infect rodents, marsupials, and other wild animals.* ***The third is the peridomestic cycle in which mammals participate (domestic rodents, marsupials, livestock, cats, dogs) by moving freely in and out of human dwellings, and sylvatic bugs are attracted to lights in houses and to food. This peridomestic cycle acts as a link between the domestic and sylvatic cycles.*** *Occasionally, infected sylvatic species of Triatominae fly into houses and contribute to transmission either by feeding and defecating on the people or their domestic animals or (indirectly) by contaminating food and drink in which the parasites can survive. In the Amazon region, cases of acute Chagas disease have been associated with sylvatic Triatominae contaminating sugarcane or fruit juice. (Remme et al 2006: 434, negrito meu).*

Essas hipóteses são reforçadas por uma recente experiência sobre a dispersão de *Triatominae* por vôo, relatada por Gurevitz et al (2006), os quais afirmam:

> *"Flight dispersal of Triatoma infestans Klug is probably the most important mechanism for house reinfestation at a village scale after residual spraying with insecticides"* insistindo sobre o fato de que *"The high probabilities of flight initiation found, especially in females, demonstrate that T. infestans has higher flight potential than previously recognized. This supports the importance of flight dispersal as a major driver of the reinfestation process after insecticide spraying at a village-wide scale" Gurevitz et al (2006: 149).*

O mal de Chagas representa, portanto, um ótimo exemplo de como pode ser sutil o efeito da iluminação externa no processo de disseminação de doenças. De fato, não podemos apenas pensar em mecanismos diretos, mas na alteração ambiental que a introdução da iluminação noturna intensa causa no ecossistema, e nas alterações da rede trófica por ela gerada.

Outros pesquisadores, com maior experiência sobre vetores de doenças, estão provavelmente em melhor condição para apontar outros possíveis perigos de aumento da transmissão.

Naturalmente a preocupação com o possível impacto ambiental da iluminação artificial não significa que seja inviável o uso da iluminação artificial em áreas de risco de doenças infecciosas transmitidas por artrópodes. A iluminação representa apenas mais um elemento de atração de insetos, e sua influência pode e deve ser controlado, como devem ser controladas todas as variáveis que podem levar a uma maior proliferação ou atração dos vetores.

## *2.7. A alteração dos ritmos circadianos.*

Até este momento, salvo pequenos comentários, apresentei situações nas quais a iluminação artificial exerce apenas um efeito de atração ou de repulsa para as diferentes espécies. Existe, porém, um efeito de alcance muito mais amplo, mas mais complexo de ser estudado, representado pela alteração que a iluminação artificial gera sobre os ritmos biológicos. De fato, a principal característica da iluminação artificial é a de alterar a distribuição de horas de luz e horas de escuro.

Como já comentei no Capítulo 2.1, todos os seres vivos possuem um relógio interno que marca a alternância do dia e da noite, o relógio circadiano, e provavelmente também um relógio que marca a alternância das estações, ou relógio circa-anual (DeCoursey, 2003b). Os cronobiólogos atribuem o surgimento de sistemas de marcação do tempo praticamente junto com a origem da vida. Fósseis de 3 bilhões de anos atrás demonstram que as algas unicelulares já tinham mecanismos de controle da migração dos pigmentos, provavelmente regulados por relógios circadianos, que durante o dia se deslocavam para proteger a célula da radiação intensa (Pajeta, 1982).

Os relógios biológicos são uma descoberta relativamente recente. De fato, foi apenas em 1729 que um astrônomo francês, Jean-Jaques d'Ortous de Marian, estudando o movimento das folhas das plantas em relação ao sol, teve a curiosidade de realizar um experimento. Colocou em um ambiente permanentemente escuro uma muda de uma mimosa, especialmente sensível à posição do sol, e com surpresa verificou que, por muitos dias, as folhas continuavam a realizar um movimento, como se estivessem seguindo o curso do sol. O fenômeno, apesar de estudado por alguns pesquisadores, com importantes contribuições nos anos 1930, quando foi lançada a hipótese da existência de ciclos biológicos, continuou a permanecer sem explicação até a segunda metade do século passado. Graças aos estudos e ao entusiasmo de dois grandes biólogos, Colin S. Pittendrigh e Jüngen Aschoff, a partir dos anos de 1950 surgiu uma nova disciplina chamada cronobiologia, dedicada exatamente ao estudo dos mecanismos biológicos de registro do tempo interno dos seres vivos (DeCoursey; 2003a).

Uma série de experiências rigorosamente controladas conseguiu definir que os seres vivos possuem um relógio interno, independente das variações ambientais e do regime de vida, com uma duração aproximada de 24 horas. O fato de o ciclo registrado ser de aproximadamente 24 horas, e não exatamente de 24 horas, gerou o termo de circadianos (ou

"aproximadamente diário"), fato esse importante para o estudo dos efeitos da iluminação artificial. Com efeito, deixado em livre curso (em ambiente permanentemente iluminado ou em ambiente permanentemente obscuro), o relógio segue, dependendo dos indivíduos, um período pouco superior ou pouco inferior a 24 horas. No ambiente natural, o relógio é influenciado pela iluminação natural, e com isso o organismo é, a cada dia, sincronizado com o ambiente. Foi lançada a hipótese também da existência de outros mecanismos de regulagem do tempo, mensais e anuais, mas, tratando-se de períodos mais amplos de tempo, dificilmente são testáveis, apesar de existir experiências que confirmam a hipótese.

A função específica dos relógios biológicos é tema de estudos detalhados difíceis de resumir, já que abrangem aspectos da fisiologia e do comportamento de diferentes espécies. É possível, porém, sintetizar a função dos relógios com a necessidade de sincronizar o indivíduo com os ciclos de atividade e de repouso em função das condições ambientais. No homem, por exemplo, o relógio circadiano regula o metabolismo, alternando a temperatura corpórea entre o dia e a noite. Controla a emissão de melatonina, preparando o organismo para o período de sono e, antes do organismo despertar, já aumenta a temperatura, preparando o corpo para o período de vigília. Como de forma sintética descrevem Ramsey *et al* (2007: 219):

> *The tools are now in hand to begin to understand how important processes such as energy homeostasis and fuel utilization are coordinated to anticipate daily changes in environment caused by the rising and setting of the sun. A better understanding of the impact of circadian gene networks on nutrient balance at the molecular, cellular, and system levels promises to shed light on the emerging association between disorders of diabetes, obesity, sleep, and circadian timing.*

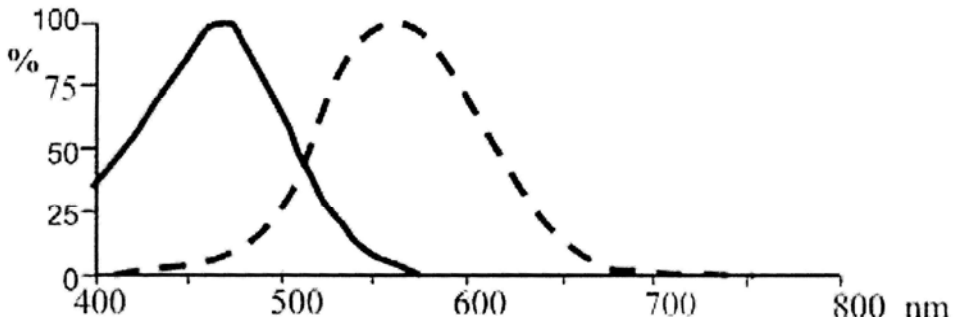
Por muito tempo a cronobiologia e os ritmos circadianos foram considerados com suspeita e com ambivalência, não apenas por parte dos leigos. Muitos chegam a confundir os ritmos biológicos com a charlanatice dos biorritmos. Uma descoberta recente do mecanismo físico que regula os relógios circadianos serviu para retirar o tema da área dos especialistas e finalmente levar ao mundo da indústria da iluminação, de forma séria, o tema dos ciclos biológicos e da influência da iluminação artificial sobre eles.

Graças a uma série de estudos, iniciada por Provencio *et al* (2000), Thapan *et al* (2001), e Berson *et al* (2004), conseguiu-se identificar os receptores que enviam o sinal que regula o relógio biológico, e o percurso seguido pelo sinal gerado pelos receptores. No homem, o receptor do sinal que regula o relógio circadiano está no olho, mas não é uma rodopsina, é uma proteína chamada melanopsina, com características próprias quanto à

resposta do comprimento de onda da radiação, e com um circuito neural diferente do circuito visual. A melanopsina tem uma resposta máxima em 465 nm. Do olho, o sinal recebido pela melanopsina é enviado ao núcleo superquiasmático, que se comunica com o núcleo paraventricular e, por intermédio do gânglio superior cervical, com a glândula pineal, que regula a produção de melatonina.

A descoberta - há tempos esperada pelos biólogos -, do mecanismo específico de resposta dos ciclos circadianos caiu como uma tempestade na comunidade de engenharia da iluminação, apesar de existir no *Comité Internacional de l' Eclarage* (CIE) um setor dedicado ao estudo do impacto da iluminação sobre a saúde. Diante dessa descoberta *The Lighting Research Office* organizou em 2002 o 5º Congresso internacional de pesquisa sobre a iluminação com o tema "*Lighting and Human Health*" (EPRI/LRO, 2002), e em 2004 a CIE (*Comité Internacional de l' Eclarage*) organizou um congresso sobre o tema "*Lighting and Health*" (CIE; 2004).

A surpresa do mundo da indústria da iluminação pode ser sintetizada pela perplexidade despertada com a nova descoberta: o pico máximo de sensibilidade da melanopsina é afastado do pico da sensibilidade fotópica e escotópica em direção ao azul, como mostra a Figura 2.7.1. (van Bommel 2005).




*Fonte von Bomme; 2005: 9*

**Figura 2.7.1.** *Curva espectral da reação da melanopsina (baseada sobre a supressão da melanopsina com radiação monocromática) em traço cheio e curva da sensibilidade fotópica humana, tracejada.*

Esse fato implica que os critérios adotados nos projetos de iluminação artificial, se cumprem a função de otimizar a visão, podem ter efeitos adversos sobre os ciclos circadianos, ou, para usar as palavras de Jennifer Veitch (2005: 87):

> *"the measure light exposures using traditional photopic and scotopic luminance or illuminance will give an incorrect indication of the intensity of the illumination experienced by the neural pathway responsible for melatonin suppression.*

É, portanto, possível que seja necessário rever os critérios de projetos das instalações de iluminação artificial, mas essa revisão é mais complexa que o problema do deslocamento do pico da sensibilidade fotópica e circadiana. De fato, pesquisas recentes, comentadas por van Bommel (2005), mostram que a sensibilidade da visão fotópica e da melanopsina aos comprimentos de onda apresenta um comportamento diferente. A sensibilidade fotópica apresenta características aditivas, no sentido de que a quantidade total de iluminação necessária para conforto visual é determinada pelo somatório da radiação por comprimento de onda multiplicada pela sensibilidade específica naquele comprimento de onda. No impacto da radiação sobre a supressão da melatonina, ao contrário, diferentes comprimentos de onda podem resultar em efeitos contrastantes (inibição ou estímulo). Portanto, dois fluxos luminosos que, para efeito da visão fotópica têm a mesma intensidade, podem ter efeitos opostos em relação à regulação dos ciclos circadianos. Por tal razão, torna-se extremamente difícil a avaliação dos efeitos das lâmpadas de descargas, que, como vimos, não apresentam um espectro contínuo.

Apesar dessas dificuldades, a indústria da iluminação está assistindo à abertura de um novo espaço de trabalho, hoje definido como o uso da iluminação como meio de melhorar as condições de saúde da população. De fato, o uso da iluminação artificial foi experimentado com sucesso no tratamento de algumas doenças. O caso típico é o tratamento da desordem afetiva sazonal (*SAD Seasonal Affective Desorder*), uma manifestação de depressão que se manifesta durante o inverno (dias curtos) nos países temperados (van Someren *et al* 1997). O uso intenso da iluminação consegue contornar, sem recorrer a drogas, o estado de depressão dos pacientes. Foi também demonstrado que um controle da iluminação, com fluxos intensos durante as primeiras horas do dia e uma redução da intensidade na aproximação da noite, parece melhorar o sono de pacientes com mal de Alzheimer, sujeitos a interrupção do sono e alternância dos períodos de vigília e sono (Campbell *et al* 1993).

Ao lado desses aspectos positivos, porém, existem indícios claros que o excesso de iluminação artificial pode criar sérios problemas metabólicos. Um fluxo de 200 lux é suficiente para suprimir a produção de melatonina, e uma saturação parcial é atingida com um fluxo de apenas 100 lux. Esses valores são irrisórios quando pensamos que o fluxo luminoso

recomendado para um escritório ou para uma sala de aulas é da ordem de 500 lux, e atinge um valor de 1000 lux, por exemplo, para estudos de desenho (Boyce, 2006).

Como a alteração dos ciclos circadianos manifesta-se principalmente no nível hormonal, é difícil prever as conseqüências a longo prazo do aumento da exposição à iluminação artificial. Essa dificuldade não apenas deriva do fato de que se trata de fenômenos de longo prazo, mas também porque os ciclos circadianos são relativamente plásticos e com uma capacidade de acomodamento variável de um indivíduo para outro. A comprovação dessa plasticidade pode ser vista claramente nas diferentes capacidades de acomodamento dos indivíduos ao deslocamento do fuso horário como conseqüência de viagens de avião (*jet lag*). Apesar dessas dificuldades, surgem a cada dia indícios concretos que a exposição excessiva à iluminação artificial pode ser fonte de doenças degenerativas.

Conforme já mencionei, foi demonstrado que a exposição prolongada aos níveis atuais de projeto de iluminação de interiores é suficiente para atrasar a produção de melatonina (Wehr et al 1995); favorece a instauração de um estado de alerta (Cajache et al 2000); e determina um deslocamento das fases de sono e vigília (Boivin e James, 2002). Se as conseqüências imediatas desse fenômeno são evidentes, mais difícil, porém, é avaliar as conseqüências a longo prazo. De qualquer forma, surgiram recentemente fortes suspeitas de que a iluminação artificial não controlada pode levar a alterações profundas do metabolismo, e causar doenças degenerativas, conforme debatido, por exemplo, por Stevens *et al* (2001), Stevens (2005), Schernhammer *et al* (2004) e Davis *et al.* (2001). A supressão da produção de melatonina como conseqüência da exposição noturna à iluminação artificial foi, por exemplo, apontada por Reiter (2002), por Blast *et at* (2005) e Jasser *et al* (2006) como uma possível causa de câncer de mamma em mulheres na fase anterior à menopausa.

Essas descobertas colocam a indústria da iluminação em um ponto de transição. De um lado, o diretor da principal revista de iluminação dos Estados Unidos, David DiLaura (2005), abriu o editorial de um número da revista *Leucos*, integralmente dedicado às conseqüências das novas descobertas, com um titulo *The Next Big Thing. Maybe*, colhendo o desafio lançado pelas novas descobertas, apesar da cautela colocada com o termo Maybe, "pode ser", no final do título. Por outro lado, na mesma revista, há um ano de distância, Peter Boyce escreveu um longo artigo no qual, revisando os possíveis efeitos da exposição prolongada à iluminação artificial, concluía:

> *While there is no doubt that exposure to light can affect human health, there is much to learn about the mechanisms and consequences of using light in this way. A number of questions that need to be addressed before light exposure can be safely, successfully, and efficiently applied to enhancing human health are identified. (Boyce; 2005: 175).*

A meu ver o problema é mais amplo e mais profundo. A indústria da iluminação cumpre sua tarefa quando realiza projetos de iluminação destinados a manter ativa e desperta a população que trabalha ou estuda nas horas noturnas, assegurando a eficiência das tarefas. Como conseqüência registra-se, porém, uma diminuição da produção da melatonina, que provoca distúrbios de sono e de vigília. O problema pode ser sério, por exemplo, em estudantes jovens, que estudam à noite, já que os jovens são mais afetados pela alteração dos ritmos circadianos (Andrade *et al* 1999). Todavia é difícil culpar a indústria da iluminação, que cumpre apenas a tarefa que lhe foi pedida, a de manter atentos os estudantes à noite. Evidentemente, como na maioria dos distúrbios criados pela sociedade moderna, somos nós mesmos que nos condenamos com o estilo de vida escolhido.

É possível que a razão esteja com DiLaura (2005), quando afirma que:

> *We have to determine how to make clear that, like water and air, light is something we all need and, like water and air, has qualities that take some arranging if they are to be adequately and economically delivered. (DiLaura 2005: 5).*

O grande problema é que não sabemos qual é a qualidade e a quantidade de iluminação artificial que pode ser utilizada sem provocar danos às pessoas.

**Os ritmos circadianos e o meio ambiente**

Se no homem os efeitos da iluminação artificial começam a ser percebidos, e estudados, com certa clareza, mais difícil é a avaliação do impacto sobre o meio ambiente, do ponto de vista da alteração dos ciclos biológicos. A dificuldade não reside tanto na avaliação dos efeitos da exposição prolongada à iluminação artificial, mas na avaliação de quanto uma espécie pode estar sendo exposta à iluminação artificial.

De fato, conhecemos o funcionamento dos relógios circadianos de muitas espécies. Com experiências de laboratório, os cronobiólogos conhecem em detalhe o impacto que a

iluminação artificial gera sobre o comportamento. Como no homem, também nos animais intensidades elevadas de iluminação artificial alteram profundamente o estado de vigília e de sono, modificando comportamentos específicos. Porém, as espécies animais se deslocam e em geral não se encontram em ambientes iluminados. Na presença da iluminação artificial, os animais podem ser atraídos ou afastados, portanto é difícil avaliar quanto a iluminação pública pode afetar os ciclos biológicos.

**Alteração dos ciclos biológicos na flora**

Tratando-se de espécies fixadas no solo, o efeito da iluminação artificial sobre a vegetação, com a função de acelerar o crescimento ou alterar a fotomorfogênese, é há muito bem conhecido e a indústria de iluminação desenvolveu lâmpadas especiais com irradiância nos comprimentos de onda favoráveis à fixação fotossintética. Com efeito, nem todos os comprimentos de onda luminosa são eficazes para a fixação fotossintética; mas, desenvolvendo espectros de irradiância específicos, é possível otimizar o rendimento da iluminação artificial no crescimento das plantas.

Lâmpadas fluorescentes especiais foram, assim, desenvolvidas para aquário e para plantas de apartamento, e a maioria dos fabricantes fornece uma linha de lâmpadas de descarga (como as fluorescentes e as lâmpadas a vapor de sódio) para uso agrícola. Elas encontram uma ampla utilização em estufas para crescimento de flores e hortaliças. Os fluxos luminosos exigidos para acelerar o crescimento das plantas são elevados, da ordem de 500 lux. O prof. David H. Trinklein, do Departamento de Horticultura da Universidade do Missouri, por exemplo, elaborou um prospecto sobre a necessidade de luz de algumas plantas de apartamento.

Em se tratando de iluminação pública, as lâmpadas utilizadas não são próprias para crescimento fotossintético. Além disso, a iluminação está em geral suficientemente distante da vegetação para que não ocorram efeitos apreciáveis sobre seu crescimento.

Casos específicos de iluminação de jardim, com luminárias a pequena altura do solo, mostram que a iluminação proporciona maior crescimento da grama e das flores, por um efeito sinérgico da radiação calórica e da radiação visível. No caso das árvores, ao contrário, a iluminação fica em geral longe das copas, e é difícil avaliar os efeitos diretos da iluminação artificial que, após certa distância, não apresenta intensidade suficiente para gerar efeitos

fotoquímicos. Estudo de Roman et al. (1998) sobre uma *Magnolia grandiflora* no horto botânico de Pádua mostrou, por exemplo, que a radiação ultravioleta da iluminação pública direta sobre as folhas reduz a atividade fotossintética. O prof. William Chaney (2002), do departamento florestal e de recursos naturais da Purdue University, porém, se colocou a seguinte pergunta: *Does Night Lighting Harm Trees*?, elaborou uma tabela com a sensibilidade de diferentes árvores de clima temperado, e forneceu exemplos de bons e maus projetos de iluminação nas proximidades de árvores urbanas. Alertou principalmente sobre um fato freqüentemente esquecido: o fluxo de energia para a alteração do fotoperiodismo é muito inferior ao fluxo necessário para a fixação fotossintética. Portanto, fluxos aparentemente muito pequenos podem alterar a fotomorfogênese das plantas:

> *Relatively high light intensity of 1,000 microeinsteins (µ) per square meter per second (µE/m2/sec) is adequate for photosynthesis in most trees (200 µE/m2/sec for shade-adapted trees) but photoperiod responses may be induced with as little as 0.06 to 3 µE/m2/sec, only a fraction of that needed for photosynthesis. As a point of reference, indoor lighting sufficient for reading is about 4.6 µE/m2/sec and full moon light is about 0.004 µE/m2/sec. A 100-watt incandescent bulb provides 5 µE/m2/sec at 5 feet away and a 150 watt fluorescent cool-white bulb provides 17 µE/m2/sec at the same distance.* Chaney (2002: 2),

No caso da vegetação equatorial e tropical, os estudos são mais limitados e, considerando que muitas das plantas são menos afetadas pelo fotoperiodismo que as plantas de clima temperado, durante a pesquisa procurei encontrar indícios do efeito da iluminação artificial sobre a vegetação de São Paulo e encontrei alguns exemplos surpreendentes, principalmente na florada das paineiras, em muitos pontos da cidade. Um exemplo, porém, se destaca pelo fato que, na evolução da iluminação pública da cidade, foi possível verificar, em um mesmo lugar, o efeito de dois tipos de lâmpadas sobre uma mesma espécie.

Dezoito árvores adultas de paineiras (*Chorisia speciosa St.-Hill.*), plantadas no canteiro central com espaçamento constante de 12 metros na Avenida Queiroz Filho (Lapa, São Paulo), intercalados com iluminação pública com postes de 12 metros de altura, com dupla luminária com lâmpadas de 250 watts, distribuídas irregularmente com uma mistura de lâmpadas a vapor de sódio e a vapor de mercúrio, fornecem um interessante banco de teste para verificar o impacto sobre a vegetação.

Em 1° de março de 2007, a avenida estava no início da florada, mas a floração estava irregular. De um total de dezoito árvores, apenas nove estavam floridas (ainda com folhas);

nessas mesmas árvores, a florada era totalmente assimétrica, seis árvores estavam com a florada distribuída apenas do lado da iluminação artificial e se achavam a uma distância de 5 a 8 metros da luminária, 3 estavam com a copa iluminada, e se achavam a uma distância de menos de 4 metros da copa. As demais 9 árvores estavam sem flores.

Controlando o tipo de lâmpada utilizada nos diferentes postes, verifiquei que estavam em flor apenas as árvores próximas aos postes com lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão. Todas as árvores próximas a postes com lâmpadas a vapor de mercúrio estavam e sem flores.

A documentação fotográfica demonstra claramente o fenômeno. Na primeira foto (Figura 2.7.2), uma paineira em primeiro plano, a cinco metros de um poste, apresenta a copa totalmente assimétrica quanto à florada, com a floração distribuída apenas do lado iluminado. Nota-se que, enquanto a parte florida está sem folhas, a parte não florida está ainda coberta de folhas. A segunda paineira também apresenta flores irregularmente distribuídas na copa, enquanto as últimas árvores estão sem flores e com folhas. Na foto noturna (Figura 2.7.3) do mesmo ângulo, fica visível que as primeiras duas árvores são iluminadas por lâmpadas a vapor de sódio, de cor alaranjada, e as demais iluminadas com lâmpadas a vapor de mercúrio, de cor branca.

Do ponto de vista da iluminação pública, o fato mostra o quanto é importante realizar projetos que levem em conta o contexto ambiental. O uso de luminárias inadequadas, sem controle do fluxo luminoso, oferece dois inconvenientes. Primeiro, pode prejudicar a vegetação, e segundo, representa um desperdício inútil de energia elétrica, já que a radiação perde-se na vegetação, sem proporcionar benefício para o usuário.

Do ponto de vista botânico, o fato induz à reflexão sobre o efeito dos diferentes comprimentos de onda na a vegetação e sobre seu significado em um ecossistema tropical e equatorial, no qual a vegetação é menos sensível ao fotoperiodismo.

O sistema fotossintético das plantas é regulado por quatro grupos de receptores: as clorofilas, caracterizadas pela clorofila A, ativa na banda do azul, com comprimento de onda entre 400 e 450 nanômetros, e a clorofila B, ativa na banda do vermelho, com comprimento de onda entre 625 e 700 nanômetros; os fitocromos que regulam a fotomorfogênese, com duas bandas de sensibilidade no vermelho, entre 625 e 760 nanômetros, e no infravermelho, entre 760 e 850 nm; os criptocromos, sensíveis às bandas do azul e do ultravioleta; e as fototropinas, sensíveis à banda do azul. Suspeita-se da existência de outros fotorreceptores, ainda não identificados.

*Foto Barghini 2007*

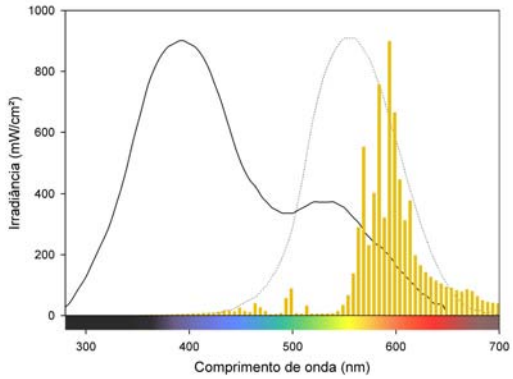
**Figura 2.7.2.** *Vista diurna de Paineiras em Flor.*

*Foto Barghini 2007*

**Figura 2.7.3.** *Vista noturna de Paineiras em Flor.*

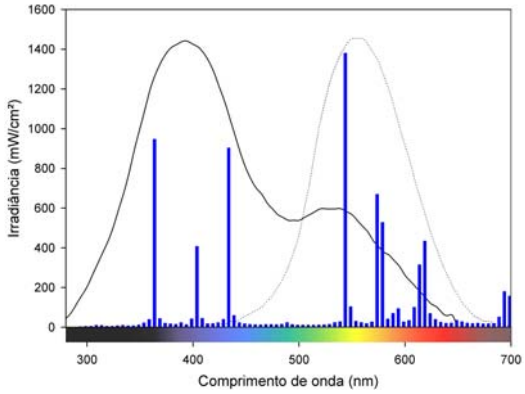
Por outro lado, o componente ultravioleta, presente nas lâmpadas a vapor de mercúrio, tem um efeito inibidor da fotossíntese.

De posse desses elementos, e analisando o espectro das lâmpadas a vapor de sódio e de mercúrio nas Figuras 2.7.4. e 5, e o espectro da resposta dos fitocromos da *Arabidopsis thaliana* (Figura 2.7.6.) é possível tentar uma interpretação do fenômeno.



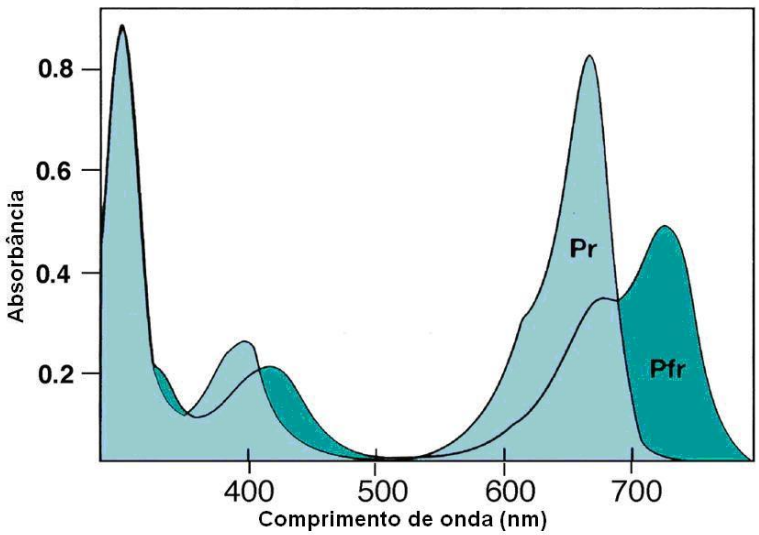

*Fonte:Barghini 2003*

**Figura 2.7. 4.** *Espectro da lâmpada a vapor de sódio a alta pressão*




*Fonte: Barghini 2003*

**Figura 2.7.5.** *Espectro da lâmpada a vapor de mercúrio*




*Fonte: Modificado de Wang,Haiyang; Deng, Xing Wang 2002*

**Figura 2.7.6**. *Curva de absorbância por comprimento de onda dos fitocromos da Arabidopsis thaliana*

No caso das lâmpadas a vapor de sódio, com uma forte concentração da radiação nas bandas do vermelho e do infravermelho, nas quais os fitocromos Pfr registram sensibilidade, elas induziram a produção das giberelinas, hormônios que, entre outras propriedades, favorecem a indução da floração no meristema. É também possível que a iluminação noturna tenha favorecido a abertura dos estômatos por mais tempo, ocasionando maior perda de água. Dessa forma, a parte exposta à luz antecipou a floração, e registrou uma perda de folhas precoce em relação ao resto da planta.

No caso das plantas expostas à radiação das lâmpadas a vapor de mercúrio, não houve crescimento diferenciado. É até provável que a radiação ultravioleta tenha inibido parcialmente a fixação fotossintética, atrasando, dessa forma, a florada.

A florada antecipada das paineiras da Avenida Queiroz Filho mostra como a iluminação artificial das ruas, apesar da baixa intensidade luminosa, pode afetar de forma significativa o desenvolvimento das árvores.

Ainda mais importante é que, embora a iluminação pública afeta grandes árvores, o fenômeno é em grande parte desconhecido. A iluminação pública urbana pode estar gerando outros impactos que estão passando despercebidos, como, por exemplo, o aumento da predação de insetos atraídos pela iluminação sobre a copa das árvores.

**O impacto sobre os animais**

Se, no caso da vegetação, o controle do impacto da iluminação sobre os ciclos biológicos pode ser estudado com relativa facilidade, o estudo se apresenta muito mais complexo quando passamos a analisar o mundo animal. Em condições livres, com comportamento móvel no território, os animais podem receber, por parte da iluminação artificial, doses altamente variáveis de radiação. Por essa razão, apesar do fato que muitas espécies animais foram estudadas em laboratório para verificar o impacto da iluminação artificial sobre os ritmos biológicos, é muito difícil realizar avaliações efetivas em condições de campo.

Naturalmente, nos animais de criação em cativeiro, o uso da iluminação artificial como meio de alterar a produtividade ou a engorda é utilizado normalmente, seja nos criadouros industriais seja nos criadouros domésticos. O uso da iluminação artificial para aumentar a produção de ovos ou acelerar a engorda dos pintos é hoje corriqueiro. Estão surgindo, porém, técnicas sempre mais refinadas para o controle dos ciclos biológicos dos animais em cativeiro. Por exemplo, recentemente, conseguiu-se controlar a produção de cabritos e de ovelhas por meio da iluminação. Animais que seguem um ritmo sazonal acentuado, como as ovelhas e as cabras, entram em estro com o aumento da duração do dia, no início do inverno, para assegurar que as crias possam nascer na primavera quando, no Hemisfério Norte, de clima temperado, as pradarias são viçosas. Hoje, exatamente por intermédio do controle da iluminação, os criadores conseguem ter crias o ano todo (Miriam Marques, comunicação pessoal).

Se, sobre animais em cativeiro, o controle dos ciclos biológicos é provado concretamente, muitos dos indícios do impacto da iluminação sobre os ciclos biológicos de animais em liberdade provêm principalmente de narrativas anedóticas, nem por isso destituídas de fundamento. Em alguns casos, testes *duplo cego* permitiram confirmar que as narrativas apresentam uma sólida base cientifica.

O caso provavelmente mais conhecido e que qualquer pessoa com um mínimo de atenção pode verificar é a alteração do comportamento das aves, especialmente em clima temperado, no qual os ritmos sazonais são mais acentuados. As aves urbanas antecipam a época do estro em muitas semanas correndo o risco de que a eclosão dos ovos aconteça antes da abundância protéica propiciada pela primavera. Por outro lado, as aves migratórias tendem

a permanecer nas regiões de verão de clima temperado por um período mais prolongado de tempo, expondo-se ao risco de repentinas diminuições da temperatura, que inviabilizam o vôo de migração às regiões quentes. Em clima tropical, os fenômenos são mais sutis. Em São Paulo, na primavera, o sabiá pode ser ouvido cantar à noite, tendo perdido, pelo efeito da iluminação artificial, a relação entre período de vigília e de repouso.

Estudos de laboratório tem mostrado como os insetos são também influenciados pela iluminação artificial nos ritmos circadianos. É difícil estimar quais possam ser as conseqüências em ambiente natural, iluminado artificialmente. Já que a maioria dos insetos é atraída pela iluminação artificial, quando conseguem sobreviver, eles são provavelmente influenciados em seus ciclos circadianos, mudando o comportamento. Foi lançada a hipótese de que, por exemplo, os insetos crepusculares vetores de patógenos, que costumam picar no crepúsculo, podem ter tendência a estender o período do forrageamento, aumentando, dessa forma, o risco de disseminação das doenças (Marques, 1997).

# Capítulo 3. Materiais e métodos

A ampla literatura consultada a respeito dos efeitos da iluminação artificial sobre a vida deveria ser mais que suficiente para escrever sobre o tema sem necessidade de experiências de campo. De fato, as experiências realizadas em laboratório e em campo nas diferentes áreas, da entomologia à agricultura, passando pelos estudos sobre as aves, os mamíferos e o homem, seriam suficientes para chegar a conclusões objetivas sobre os meios para minimizar o impacto da iluminação artificial.

A decisão de realizar testes de campo surgiu de duas necessidades específicas, em certo sentido contrastantes, a primeira, prática, a segunda, teórica.

Do ponto de vista prático, a expansão do processo de eletrificação no país, com dois grandes programas de iluminação patrocinados pelo governo federal – o programa *Luz para todos* [16], cujo objetivo é levar energia elétrica a 12 milhões de pessoas até 2008, orçado em R$ 7 bilhões e o programa de racionalização da iluminação pública *ReLuz*[17], que prevê investimentos de R$ 2 bilhões por parte da ELETROBRÁS para tornar eficientes 9,5 milhões de pontos de iluminação pública, e instalar mais 3 milhões de novos pontos de iluminação – está levando a uma ampliação da iluminação noturna nos grandes centros urbanos, e no mundo rural. Do ponto de vista ambiental e sanitário, esses dois programas, se não administrados adequadamente, podem ter graves conseqüências sobre o ambiente com possível impacto sobre o aumento da difusão de doenças transmitidas por artrópodes. Dessa forma, pareceu-me importante fornecer subsídios com informações objetivas sobre os meios de minimizar esses impactos.

Do ponto de vista teórico, apesar de poder contar com uma literatura realmente muito ampla, trabalhando sobre material elaborado por terceiros nem sempre o padrão de teste utilizado e a apresentacão dos resultados permite avaliar a fundo suas implicações. Por outro lado, as observações de campo estimulam uma reflexão mais rica, porque, fora das bibliotecas e dos laboratórios, nos colocam em contato diretamente com a diversidade biológica que

[16] http://200.198.213.102/luzparatodos/asp/, consulta 5/06/2005
[17] http://www.eletrobras.com.br/EM_Programas_Reluz/default.asp, consulta 5/6/2005

possui, parafraseando Shakespeare[18] uma riqueza muito maior daquela que pode existir na nossa mente.

Por esses motivos resolvi realizar algumas campanhas de teste, com o objetivo de testar hipóteses específicas, que fornecessem exemplos concretos das implicações da iluminação artificial no contexto da tecnologia (luminárias, postes, lâmpadas) utilizada no país, e no contexto ambiental da cidade de São Paulo. As campanhas foram realizadas com autorização do IBAMA, sob a licença n° 295/2005 Gerex-SP/Fauna/LIC, de 22 de julho de 2005.

As campanhas de teste foram necessariamente limitadas, por questões financeiras e pela abrangência do tema, que exigiria campanhas em diferentes regiões, e com protocolos mais amplos, conforme comentado a seguir.

As campanhas de coletas realizadas no campus da USP não foram a primeira tentativa de verificar o impacto da iluminação artificial sobre o meio ambiente. De fato, trabalhando na área de planejamento elétrico, inclusive da eletrificação rural, tive inúmeras vezes a possibilidade de verificar o nítido impacto gerado pela iluminação em ambiente silvestre. As experiências poderiam ser definidas como qualitativas, mais que quantitativas, mas foram sempre realizadas com um mínimo de rigor.

A primeira experiência concreta foi em 1991, no Equador, na região da Sierra Norte. Na época, a cultura de flores para exportação estava apenas iniciando no país, em parte por influência do sucesso registrado na Colômbia pela mesma indústria. No âmbito de um programa de planejamento elétrico financiado pelo Banco Mundial, dei assistência à holding do setor elétrico equatoriano, a INECEL, para o estudo do mercado elétrico. Uma estudante equatoriana de mestrado no Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP, Sofia Terán Cáceses[19], pediu ajuda para um trabalho de otimização do uso da iluminação artificial no cultivo de flores, na época ainda incipiente no Equador. Apesar da inexperiência aceitei a tarefa, e conseguimos atingir um resultado positivo: uma economia de mais de 30% no consumo de energia. A tarefa foi fácil porque na realidade a influência da iluminação artificial e das diferentes bandas da radiação eletromagnética é bem conhecida: a indústria dispõe de uma excelente literatura e tratou-se apenas de encomendar na Europa a literatura e as

[18] *There are more things in heaven and earth, Horatio,/ Than are dreamt of in your philosophy.* William Shakespeare, **Hamlet**, I, V.

[19] As experiências serviram para a elaboração da tese de mestrado de Sofia Terán Cáceres (1994) Racionalização do uso da energia na floricultura da região norte do Equador, Dissertação apresentada ao Programa Inter-Unidades de Pós-Graduação em Energia, IEE-USP; EP-USP; FEA-US;P IF-USP.

lâmpadas específicas para cada tarefa (quebra do fotoperiodismo, indução floral, hibernação), e aplicar as recomendações. A tarefa, porém, serviu para concientizar-me sobre o significado da radiação das lâmpadas, não apenas na parte de radiação visível, mas também nos componentes ultravioleta e infravermelho.

No decorrer dos testes, que se prolongaram por dois anos, realizei algumas observações sobre os efeitos da iluminação sobre a flora, principalmente em árvores de grande porte. Dentro das observações realizadas, uma, referente ao efeito da iluminação sobre a indução à floração das paineiras (*Chorisia speciosa* St.-Hill.), deu resultados positivos, ja comentada a pag 125-128.

O objetivo da campanha de testes consistiu na verificação do impacto da iluminação pública sobre o ambiente. Por essa razão, seguiu-se o critério de fazer uso de uma área de iluminação pública tradicional, com os elementos-padrão utilizados em projetos de ruas de pequena largura. As características do projeto podem ser resumidas nos seguintes pontos: postes de 9 metros de altura com luminárias e lâmpadas tradicionalmente utilizadas, comparando padrões diferentes de projeto, e colocando uma luminária modificada, com filtro de radiação ultravioleta, para testar a hipótese da redução da atração de insetos.

Em cada poste foi colocada uma armadilha estática para coleta de insetos, conforme descrito a seguir, e periodicamente foram realizadas coletas de insetos. As coletas foram analisadas dividindo-se e contando-se os insetos por grandes grupos taxonômicos. Dentro do grande grupo dos coleópteros, os insetos foram identificados no nível de morfoespécie.

As coletas foram comparadas, com teste de T pareado, para verificar a diferença de coleta por tipo de lâmpada, luminária e material de filtragem.

Uma vez que a sensibilidade visual dos insetos é diferente da sensibilidade do homem, todos os materiais utilizados foram previamente testados no laboratório do IPT, de São Paulo, e no laboratório de um fabricante de luminárias, com a finalidade de verificar com instrumentos de qual forma a sensibilidade do olho dos insetos pode perceber os sistemas de iluminação. Em teoria, seria preferível realizar os testes luminotécnicos em campo, diretamente nos conjuntos preparados, mas isso se tornava inviável pela falta de instrumentos portáteis de medição. A seguir são listados os testes realizados com os vários materiais e o lugar de execução das coletas.

## *3.1. Escolha do lugar*

Um elemento fundamental para criar atração de insetos é representado pelo contraste do sistema de iluminação em relação ao ambiente. Conforme relatado pela literatura e confirmado em testes anteriores de campo (apenas para citar três exemplos, Mazokhin-Porshnyakov (1969), Janzen (1983) e Barghini *et al* (2004)), a iluminação artificial representa um forte elemento de atração porque em ambiente escuro as fontes de iluminação são utilizadas pelos insetos como baliza. O contraste da iluminação em relação ao entorno, e em relação à abóbada celeste, representa um elemento essencial para gerar a atração: em condições de alta luminosidade do entorno, ou na presença de lua cheia, apesar de aumentar o número de insetos circulando, o rendimento das coletas em armadilhas luminosas diminui sensivelmente.

Consideradas essas premissas, na impossibilidade de realizar coletas em lugares isolados devido às despesas de deslocamento, foi escolhido como lugar de teste o bosque situado no Campus Butantã da USP, localidade Clube dos Professores. Nesse lugar a arborização da rua que leva ao viveiro de mudas apresenta-se com a copa das arvores fechando a vista do céu. No lugar da coleta não existem outras fontes de iluminação artificial visíveis e a própria abóbada celeste é praticamente fechada, dessa forma consegue-se minimizar o efeito do entorno. As duas fotografias apreasentadas nas Figura 3 1 e 2, a primeira diurna e a segunda noturna, oferecem uma visão do ambiente no qual as coletas foram realizadas.

É claro que a escolha do lugar acaba determinando uma característica ambiental específica, que afeta o tipo e a quantidade de insetos coletados. Por exemplo, tratando-se de ambiente fechado, é provável que muitas das espécies coletadas sejam de ambiente intrinsecamente escuro, portanto, mais sensíveis à radiação luminosa. Conforme assinalado por Frank (1988), especialmente entre os lepidópteros encontram-se conformações do olho mais adaptadas ao escuro, portanto, mais sensíveis à radiação artificial.

Por outro lado, o ambiente garantiu um isolamento da iluminação das avenidas do Campus, e reduziu o impacto do reflexo da iluminação urbana sobre a abóbada celeste, especialmente acentuada na cidade de São Paulo.

*Foto Barghini 2006.*

**Figura 3.1.** *Foto diurna do campo de coletas*

*Foto Barghini 2006.*

**Figura 3.2.** *Foto noturna do campo de coletas, em primeiro plano lâmpada a vapor de mercúrio (branca), em segundo plano lâmpada a vapor de sódio (amarela).*

## *3.2. Escolha da armadilha*

A escolha da armadilha representou um segundo obstáculo já que as limitações financeiras do projeto obrigaram-me a adotar um caminho necessariamente seletivo.

O efeito da atração da iluminação sobre os insetos pode se manifestar de diferentes formas e nem todos os insetos possuem comportamento similar. Podemos classificar os comportamentos em 3 grandes grupos:

A. **Insetos com forte capacidade de controle do vôo**, muitas das dípteras, e muitos dos insetos de interesse médico. Nesses insetos, com grande capacidade de controle da direção, a aproximação à luz verifica-se de forma indireta: o inseto se aproxima da fonte de iluminação, mas no geral não chega a bater na fonte de iluminação, circulando em volta dela a uma distância de 30 a 40 cm ou pousando nas proximidades. Para esses insetos costuma-se utilizar, para coleta, armadilhas de sucção (por exemplo, tipo New Jersey ou CDC) ou armadilhas com um pano (preto ou branco) sobre as quais os insetos pousam, tipo armadilha Shannon.

B. **Insetos com escasso controle da direção,** a maioria dos lepidópteros e dos coleópteros. Esses insetos batem na lâmpada, portanto, as armadilhas são sensivelmente mais simples, sendo representadas, no geral, por uma lâmpada e anteparos sobre os quais os insetos batem e são coletados em um compartimento inferior. Esse tipo de armadilha é aquele geralmente utilizado nas coletas de entomologia agrícola (Gallo; 1988; Hienton; 1974).

C. **Insetos com baixa capacidade de voar.** Esses insetos não chegam a se aproximar das fontes de iluminação, mas são atraídos pelo cone luminoso e deveriam ser coletados na terra, ou nas proximidades. Exemplo desse grupo de insetos é representado pelos flebotomíneos.

A realização de uma campanha completa de coleta deveria, portanto, utilizar três tipos de armadilhas: armadilhas de sucção, armadilhas estáticas nas proximidades da luminária e armadilhas em terra, no cone de iluminação da luminária. Esse tipo de coleta exigiria, porém, um dispêndio financeiro que inviabilizaria o teste.

Consideradas essas limitações, foi construída uma armadilha específica, que coleta apenas os insetos atraídos diretamente até o ponto de iluminação. A armadilha, ampliando uma idéia original de Eisenbeis e Hassel (2000), foi construída conforme detalhando a seguir.

*Foto Barghini 2006.*

**Figura 3.3**. *Armadilha instalada nas luminárias.*

Dois anteparos de material plástico transparente (acrílico de 3 mm de espessura), foram colocados em cruz entre dois funis de polipropileno translúcido. Os insetos, quando da aproximação à luz, batem no acrílico, e foram coletados em um pote colocado abaixo do funil inferior. O pote contém 50 ml de álcool a 75º, que serve para sacrificar os insetos. A armadilha fica suspensa abaixo da luminária, sendo por esta iluminada, interceptando dessa forma os insetos atraídos. A Figura 3.3. mostra a armadilha em quanto está sendo colocada em posição.

Apesar das limitações acima apontadas, a armadilha proporciona uma boa amostra das populações de insetos atraídas pela luminária.

A necessidade de sacrificar os insetos coletados com álcool (foi excluído o uso de clorofórmio por razões de segurança) introduz um viés: é possível que alguns insetos sejam

em parte atraídos pelo cheiro do álcool. No caso dos *Xyleborus capipennis*, é provável que realmente esse fosse o caso.

## *3.3. Teste das lâmpadas*

A sensibilidade dos insetos à iluminação artificial depende, devido à diferente sensibilidade das opsinas, do comprimento de onda da fonte da radiação, sendo essencial dispor do espectro de irradiância das lâmpadas utilizadas.

As lâmpadas usadas nos testes foram, portanto, lâmpadas tradicionalmente utilizadas na iluminação pública, de dois modelos distintos:

1. Lâmpada a vapor de sódio a alta pressão, de 100 watts, marca Osram, Modelo ViaLox NAT-T 100 W, com reator Marca Up-Lux SD1226-100.
2. Lâmpada a vapor de mercúrio a alta pressão, de 125 watts, marca Sylvania, modelo VN 125W, com reator Intral VM-125.

Como os fabricantes em geral não fornecem o gráfico de irradiância nos comprimentos de onda do ultravioleta A, e com a finalidade de testar especificamente as lâmpadas utilizadas, a medição da irradiância foi realizada com os seguintes equipamentos:

Para medição da irradiância espectral:

Radiômetro Marca Optronic, modelo 730A

Fotodetector Marca Optronic modelo 730-5C

Monocromador Marca Optronic Modelo 740A

Controlador de varredura Marca Optronic modelo 740-1C

Espectroradiômetro Marca Photo Research Modelo PR-705

Esfera integradora Marca Optronic Modelo OL IS-670

Para medição da transmitância espectral:

Espectrofotômetro Marca Hitachi Modelo U-3000

As medições foram realizadas seguindo o procedimento interno do IPT, supervisionadas pela Física Jane Cleide Gouveia.

As medições resultaram nos gráficos de distribuição da radiação reproduzidos respectivamente nas Figuras 3. 4. e 3.5.

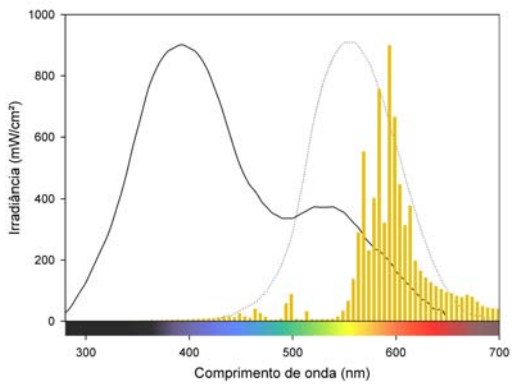



**Figura 3.4** *Espectro da lâmpada a vapor de sódio a alta pressão*

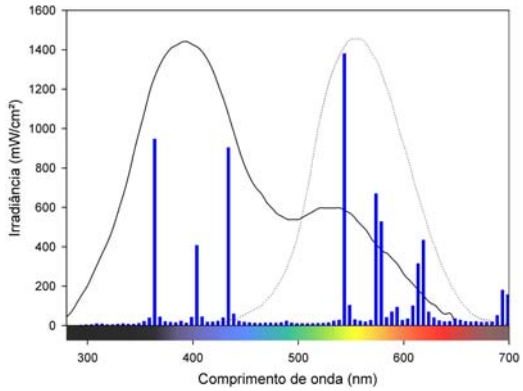


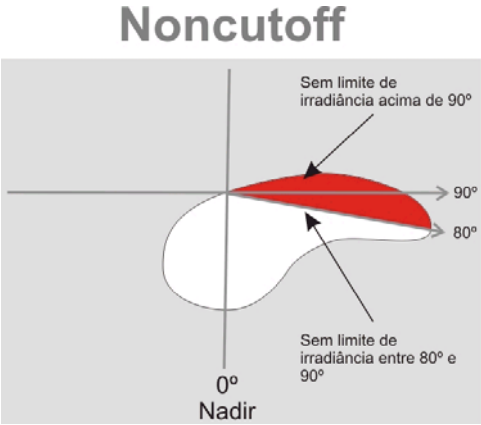

**Figura 3.5**. *Espectro da lâmpada a vapor de mercúrio*

Os resultados das medições concordam em linha de máxima com os dados obtidos pelos fabricantes e com os gráficos tradicionalmente publicados na literatura cientifica. Entre os fabricantes não existem variações significativas na distribuição da radiação por comprimento de onda.

Nos gráficos de irradiância das lâmpadas na parte da radiação ultravioleta A, no caso da lâmpada a vapor de sódio a alta pressão, encontrei, porém, uma inconsistência nos dados. De fato, a medição não acusava radiação ultravioleta, ao contrário do relatado pela literatura científica (por exemplo: De Groot e van Vliel; 1986). O fato é especialmente grave porque é exatamente a radiação UV A que representa o componente de maior atração para os insetos. Aparentemente, o espectrofotômetro, devido a um filtro insuficiente de radiação de onda média, estava saturado por este tipo de radiação, e o componente ultravioleta não era registrado.

**Luminárias *não cutoff*.**

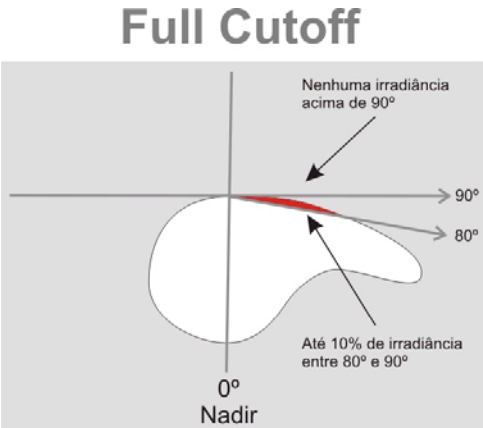
Esquema de distribuição da radiação




Modelo Comercial

**Luminária total cutoff**

Esquema de distribuição da radiação




Modelo Comercial

**Figura 3.6.** *Representação gráfica da difusão da radiação e modelos de luminárias não cutoff e total cutoff*

Para contornar o problema, realizei medições no laboratório do Instituto de Luminotécnica da Universidade de Turim, Itália, obtendo dessa forma a confirmação do que havia sido levantado na literatura técnica. Apenas um fabricante, a Osram, forneceu um gráfico da irradiância incluindo a parte ultravioleta, confirmando os dados.

## 3.4. Teste das luminárias

A direção da propagação da luz representa um fator essencial para gerar a atração. Hoje, por causa das pressões crescentes contra a poluição luminosa, está sendo abandonado o padrão tradicional de luminária que permite a difusão da radiação em direção à abóbada celeste. As luminárias são, portanto, classificadas em duas grandes classes: não *cutoff*, que permitem a difusão da radiação acima de 90 graus em relação ao nadir, e *cutoff*, que não permitem a difusão da radiação acima de 90 graus sobre o nadir (Figura 3.6.).

As luminárias utilizadas foram testadas no radiômetro do fabricante, com base na norma NEMA (2000), e atenderam os requisitos da norma.

## 3.5. Teste dos filtros

As luminárias possuem, como anteparo da lâmpada, um material de proteção, que pode ser de vidro, de boro silicato, de vidro temperado ou de plástico, que protege a lâmpada e afeta a distribuição da radiação.

O efeito sobre a distribuição da radiação é de dois tipos: filtragem seletiva de alguns comprimentos de onda ou orientação da onda eletromagnética com efeito de polarização da mesma.

Com o objetivo de obter uma visão da forma como a radiação pode ser percebida pelos insetos, diferentes materiais foram testados quanto a duas características.

Os materiais foram testados para medição da transmitância espectral com o seguinte equipamento:

Espectrofotómetro Marca Hitachi Modelo U-3000.

As medições foram realizadas seguindo o procedimento interno em IPT, supervisionadas pela Física Jane Cleide Gouveia.

Os materiais testados com efeito de filtro foram:

Vidro comum.

Vidro de borossilicato (utilizado em luminárias com luz não *cutoff*) abaulado.

Vidro temperado (utilizado em luminárias *cutoff*).

Acrílico 2 mm.

Policarbonato com tratamento anti UV.

Esses resultados foram comparados com os dados da literatura técnica (Saunder, 1989), e são com eles compatíveis. Os gráficos da transmitância por comprimento de onda são reproduzidos nas Figuras 3.7; 3.8; 3.9 e 3.10.

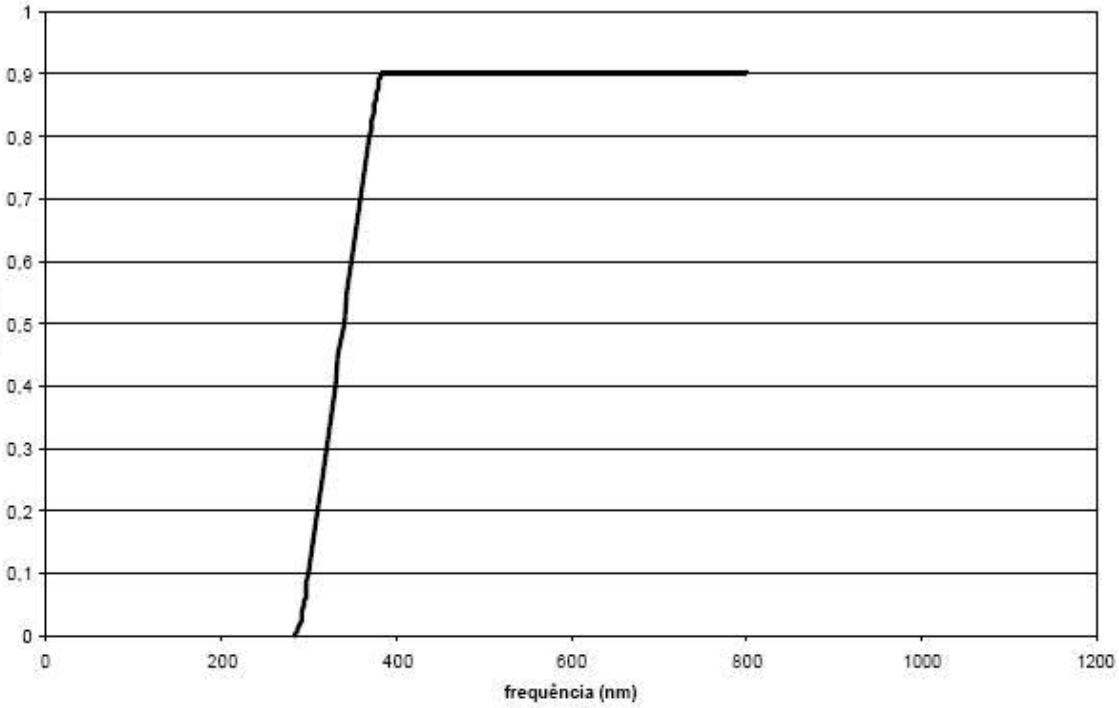



**Figura 3.7.** *Transmitância por comprimento de onda de uma chapa de vidro comum.*

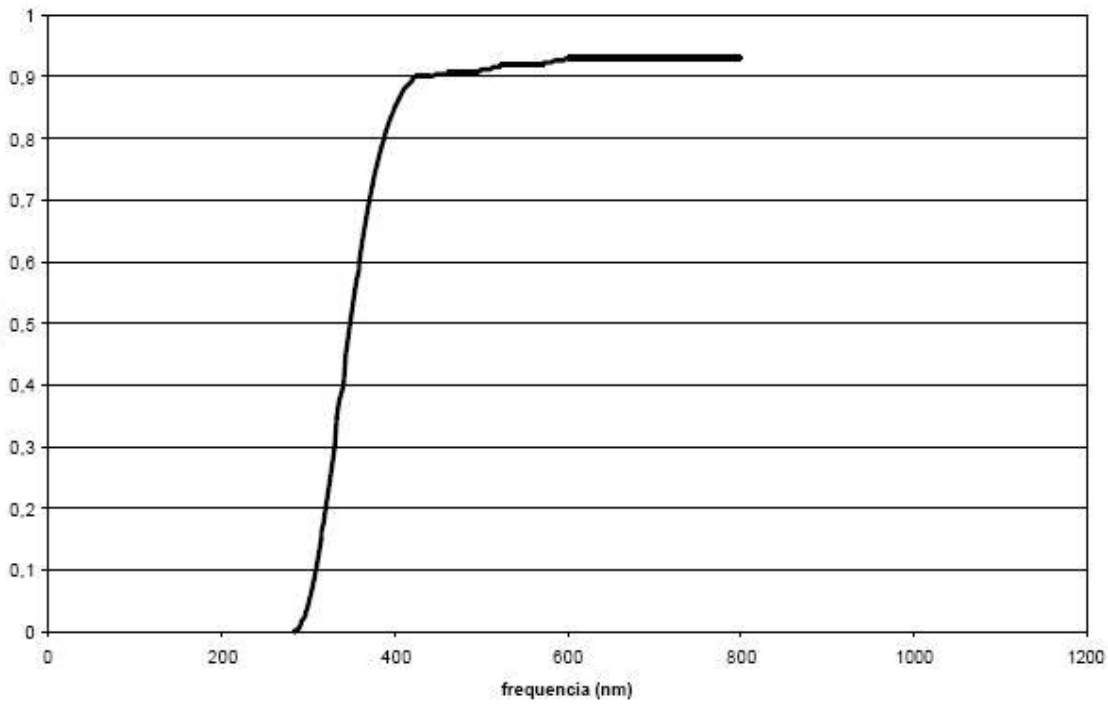



**Figura 3.8.** *Transmitância por comprimento de onda de uma chapa de vidro de borossilicato*

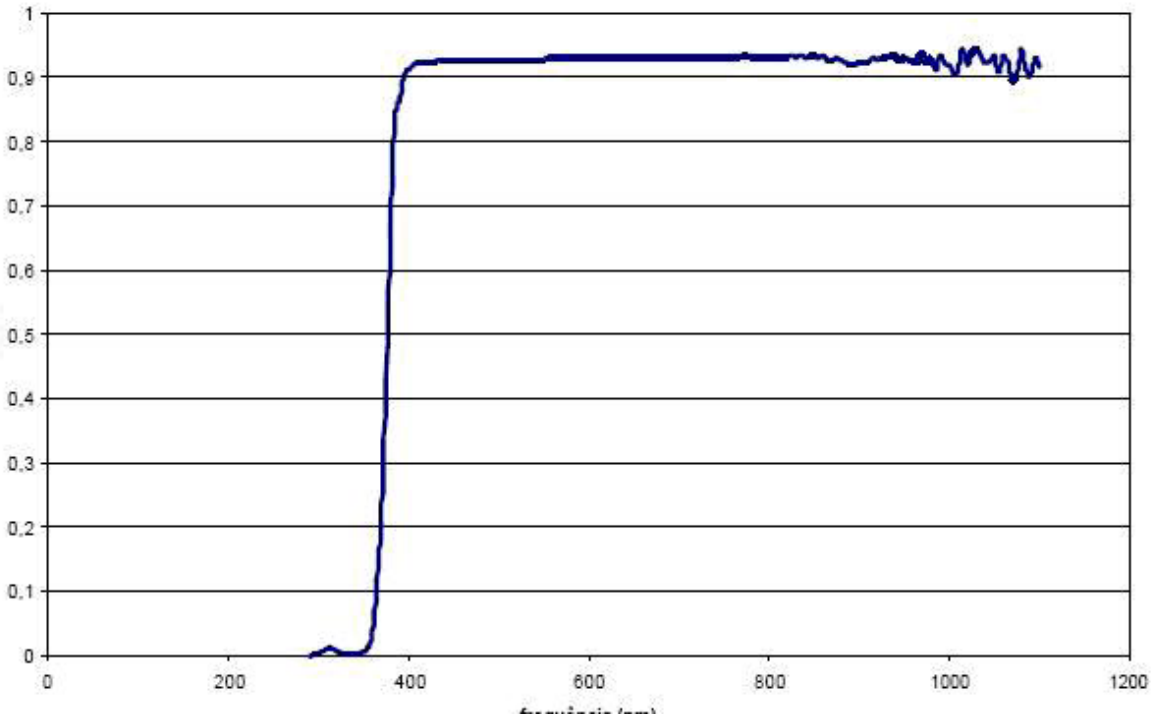



**Figura 3.9.** *Transmitância por comprimento de onda de uma chapa de acrílico de 2 de mm de espessura*

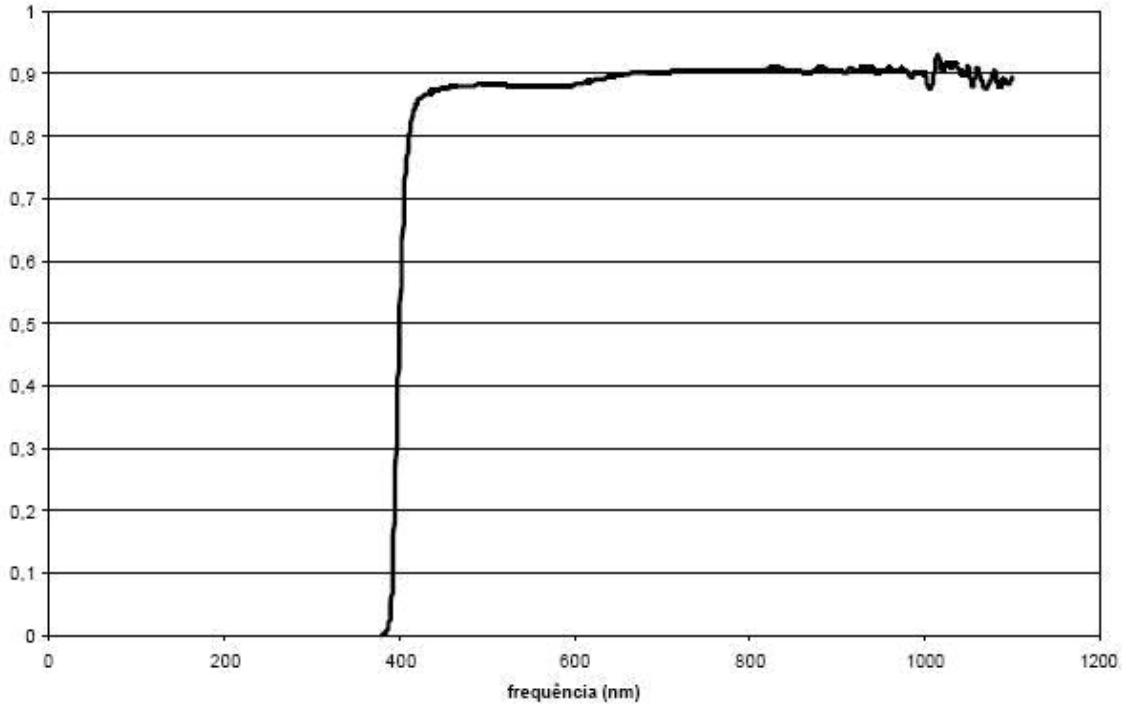



**Figura 3.10.** *Transmitância por comprimento de onda de uma chapa de policarbonato de 2 mm de espessura com tratamento anti UV*

## *3.6. Deformação do plano de oscilação da radiação eletromagnética (polarização)*

Nos materiais plásticos ou nos vidros em forma coloidal, a passagem da radiação eletromagnética não sofre deformação no plano de oscilação da onda. Quando os mesmos materiais sofrem uma cristalização, a estrutura molecular do material, quando sujeito a tensão, interfere com o plano de oscilação da radiação eletromagnética, gerando difração ou polarização da radiação.

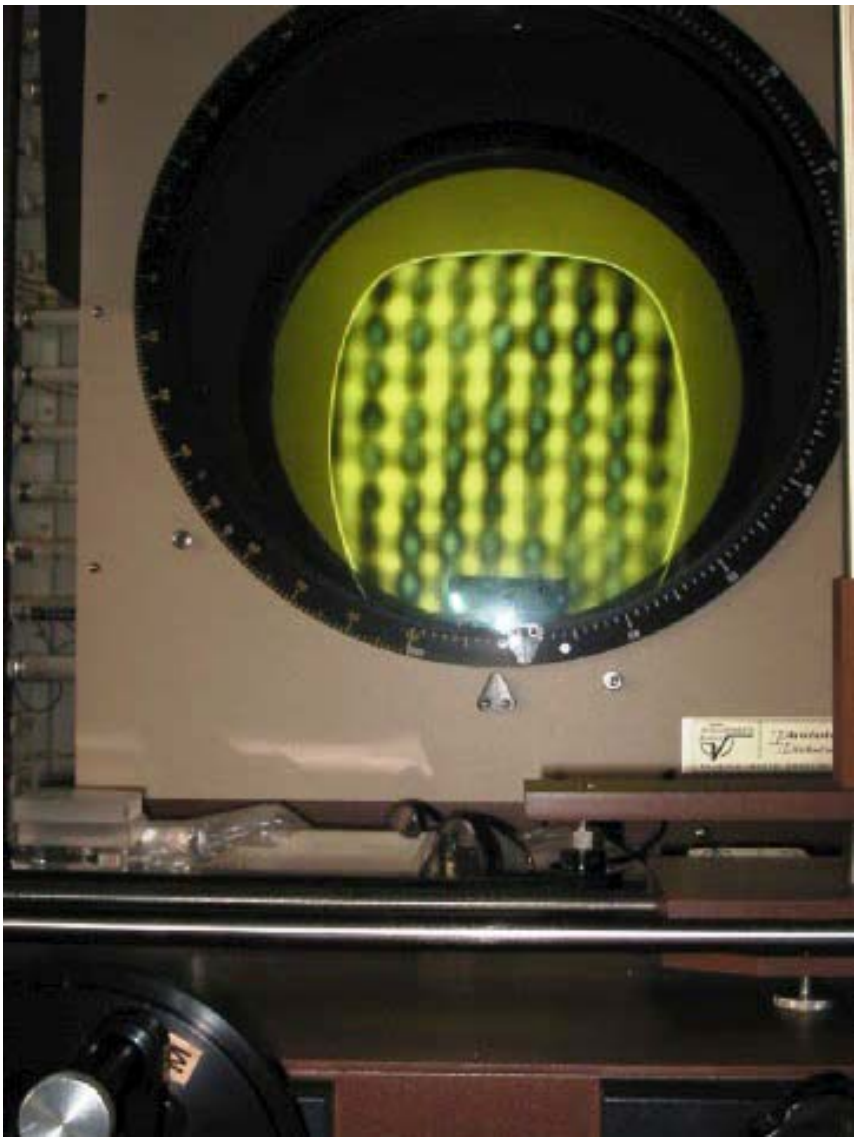
Muitos insetos são sensíveis ao plano de polarização da abóbada celeste e utilizam a polarização das ondas curtas (principalmente ultravioleta A e azul) gerada pela difração de Rayleigh como mecanismo de orientação. O olho humano não consegue distinguir os planos de polarização da luz, por isso o formato da radiação luminosa percebida pelo homem é diferente daquela percebida pelos insetos.

Com a finalidade de visualizar os efeitos da interferência dos materiais de proteção sobre a propagação da radiação luminosa, os materiais de proteção foram colocados em um goniômetro polarizador, e fotografados em diferentes ângulos de polarização.

Os resultados dos testes estão listados a seguir e, quando existiram fenômenos de difração da radiação, estes foram documentados fotograficamente e as fotografias também estão reproduzidas a seguir.

Vidro comum e acrílico – não existe efeito de polarização da radiação, de fato tratam-se de duas estruturas amorfas. No caso do vidro, o resfriamento lento não gera estruturas cristalinas; no caso do acrílico, tratando-se de um material que é solidificado a temperatura ambiente, também não se verificam tensões moleculares e a estrutura permanece amorfa. Já que a radiação não sofre alterações de polarização, não foram reproduzidas as fotografias.

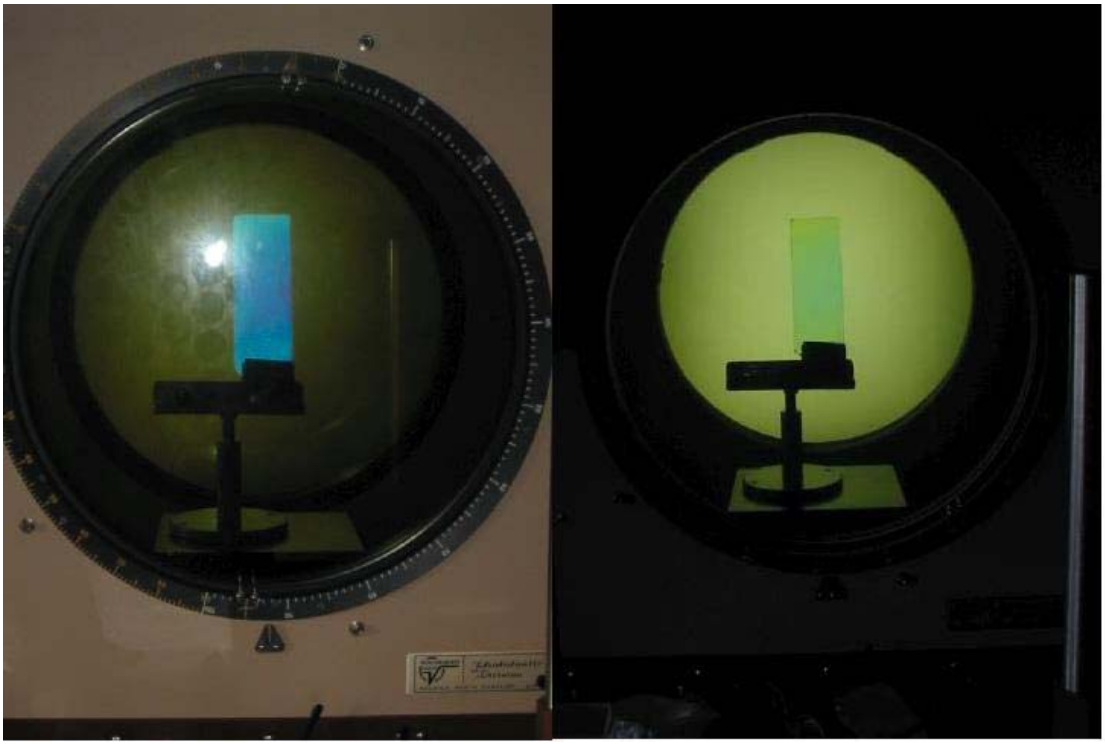
Vidro temperado – Figura 3.11. As tensões da têmpera do vidro gera células semicristalinas de formato hexagonal com bandas de difração e polarização. Esse efeito visual poderia criar nos insetos fenômenos de atração específica que, porém, não foi possível testar. Lembro que as teias de algumas aranhas possuem estruturas decorativas que refletem a radiação ultravioleta e parecem exercer uma atração sobre os insetos.



*Fotografia realizada no laboratório de ótica do IPT, São Paulo.*

**Figura 3.11.** *Fotografia de um vidro temperado em um goniômetro polarizador*

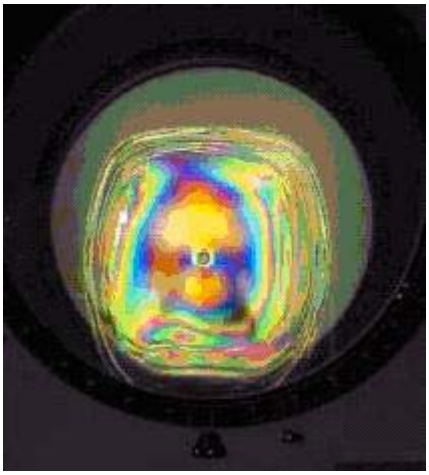
Policarbonato laminado (Lexan GE) de 2 mm de espessura com tratamento anti UV – Figura 3.12. O processo de laminação a quente do policarbonato no processo de resfriamento gera uma orientação das macromoléculas que proporciona uma polarização parcial da radiação no sentido do avanço do laminador. Para os insetos a polarização poderia ser interpretada como um efeito da difração de Rayleigh sobre a radiação celeste. Uma vez que o policarbonato é tratado com filtro de UV, penso que o efeito de polarização não seja percebido pelos insetos.



*Fotografias realizada no Laboratório de Ótica do IPT.*

**Figura 3.12.** *Duas fotografias em um goniômetro polarizador de uma amostra de policarbonato laminado de 2 mm de espessura com variação do plano de polarização de 90º.*

Policarbonato moldado em abóbada – o processo de injeção a quente da peça gera, no processo de resfriamento rápido, tensões moleculares localizadas, bem conhecidas dos operadores de plástico, que deforma a trasmitância da radiação eletromagnética, com efeitos de difração da radiação por comprimento de onda e efeitos de polarização localizados. O fenômeno é bem destacado na fotografia e poderia gerar (se o material não sofrer filtragem da radiação UV) efeitos específicos de atração, de forma similar ao que se verifica com o vidro temperado. Esse material não foi utilizado nos testes das luminárias.



*Fotografia realizada no Laboratório de Ótica do IPT.*

**Figura 3.13.** *Policarbonato moldado em abóbada*

## *3.7. Procedimentos de campo durante a primeira coleta*

Na primeira campanha de coleta foram escolhidos 4 postes em seqüência, instalando-se em cada poste uma armadilha, com os seguintes sistemas de iluminação:

1. Luminária non *cutoff*, com lâmpada a vapor de mercúrio a alta pressão de 125 watts e proteção de vidro de borossilicato, sem filtro de radiação ultravioleta, identificado nas coletas como **Hg**.
2. Luminária *cutoff* com lâmpada a vapor de sódio a alta pressão e proteção de vidro temperado, sem proteção de UV. Identificado nas coletas como **Na**.
3. Luminária *cutoff* com lâmpada a vapor de sódio a alta pressão e proteção de vidro temperado, com proteção de UV. Identificado nas coletas como **Naf**.
4. Testemunho, representado por um poste com armadilha, sem iluminação, identificado nas coletas como **T**.

Os postes foram instalados em uma rua em curva. Portanto, o efeito de uma luminária sobre a outra era mínimo. Como a instalação das luminárias exigia o recurso de uma grua, não foi possível alternar sistematicamente a posição das luminárias. Durante toda a estação de teste a posição das lâmpadas foi mudada apenas uma vez. O teste de comparação

entre as duas sub amostras não resultou significativo, mostrando que não existe um efeito local na distribuição dos insetos.

## *3.8. Procedimentos da segunda campanha de coleta*

Na segunda campanha de coleta todas as luminárias, inclusive aquelas a vapor de mercúrio a alta pressão, foram escolhidas do tipo *total cutoff*, para eliminar uma das duas variáveis. Por outro lado, nas lâmpadas a vapor de mercúrio foram testadas em duas situações, luminária sem filtro e luminária com filtro. Dessa forma, o teste teve a seguinte configuração:

1. Luminária *cutoff*, com lâmpada a vapor de mercúrio a alta pressão de 125 watts e proteção de vidro temperado, sem filtro de radiação ultravioleta, identificado nas coletas como **Hg**.
2. Luminária *cutoff*, com lâmpada a vapor de mercúrio a alta pressão de 125 watts e proteção de vidro temperado, com filtro de radiação ultravioleta, identificado nas coletas como **Hg_f**.
3. Luminária *cutoff* com lâmpada a vapor de sódio a alta pressão e proteção de vidro temperado, sem proteção de UV. Identificado nas coletas como **Na**.
4. Luminária *cutoff* com lâmpada a vapor de sódio a alta pressão e proteção de vidro temperado, com proteção de UV. Identificado nas coletas como **Na_f**.
5. Testemunho, representado por um poste com armadilha, sem iluminação, identificado nas coletas como **T**.

Na segunda campanha foi também montada uma réplica do experimento, em uma rua próxima com condições similares.

Diferentemente da primeira campanha, que correu com regularidade, durante a segunda campanha verificaram-se três percalços:

I. Sete coletas foram perdidas porque o fornecedor de material de filtro entregou um policarbonato sem tratamento anti UV. Devido às limitações financeiras, os filtros não foram testados e o fato se tornou evidente apenas quando, na contagem de insetos, não apareceram diferenças entre as coletas das lâmpadas com filtro e sem filtro. Apesar do aspecto negativo da perda de sete coletas, o fato serviu para testar

novamente a uniformidade da resposta em relação ao ambiente, já que as lâmpadas similares não registraram diferença significativa em função da posição.

II. Na réplica, após três coletas, o sistema elétrico se tornou instável, inviabilizando a continuação do teste sem uma reforma da rede de suprimento. Como se trata de uma rua secundária, a Prefeitura do Campus deixou a rua sem iluminação.

III. Após a substituição dos filtros e o teste do sistema, sete coletas foram perdidas por causa de um manejo inadequado das amostras.

Esses fatos limitaram sensivelmente a possibilidade de interpretação dos resultados devido ao baixo número de coletas que nem sempre permitiu um tratamento estatístico adequado. Apesar disso, os resultados são fundamentalmente convergentes com os resultados da primeira coleta e com os resultados de experiências similares, portanto, me parecem aceitáveis.

# Capítulo 4. Resultados

## *4.1 Resultados da primeira campanha de coleta*

Em 24 coletas realizadas entre 13 de março e 07 de junho de 2005, foram coletados 2.945 indivíduos, distribuídos por tipo de luminária, conforme demonstrado na Tabela 4.1.

**Tabela 4. I** Resultados da primeira campanha de coleta

| | Valores absolutos | | | | | | Valores percentuais | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Data | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test | total | Hg | Na | Na_F | Test |
| 16/3/2005 | 108 | 62 | 0 | 17 | 2 | 189 | 57,14% | 32,80% | 8,99% | 1,06% |
| 18/3/2005 | 34 | 27 | 0 | 2 | 3 | 66 | 51,52% | 40,91% | 3,03% | 4,55% |
| 23/3/2005 | 31 | 23 | 0 | 13 | 1 | 68 | 45,59% | 33,82% | 19,12% | 1,47% |
| 24/3/2005 | 58 | 37 | 0 | 14 | 0 | 109 | 53,21% | 33,94% | 12,84% | 0,00% |
| 29/3/2005 | 48 | 41 | 0 | 7 | 3 | 99 | 48,48% | 41,41% | 7,07% | 3,03% |
| 31/3/2005 | 25 | 24 | 0 | 10 | 5 | 64 | 39,06% | 37,50% | 15,63% | 7,81% |
| 5/4/2005 | 51 | 16 | 0 | 7 | 5 | 79 | 64,56% | 20,25% | 8,86% | 6,33% |
| 6/4/2005 | 136 | 28 | 0 | 10 | 1 | 175 | 77,71% | 16,00% | 5,71% | 0,57% |
| 12/4/2005 | 72 | 90 | 0 | 14 | 9 | 185 | 38,92% | 48,65% | 7,57% | 4,86% |
| 13/4/2005 | 161 | 120 | 0 | 24 | 10 | 315 | 51,11% | 38,10% | 7,62% | 3,17% |
| 19/4/2005 | 85 | 73 | 0 | 7 | 3 | 168 | 50,60% | 43,45% | 4,17% | 1,79% |
| 20/4/2005 | 136 | 95 | 0 | 9 | 8 | 248 | 54,84% | 38,31% | 3,63% | 3,23% |
| 27/4/2005 | 18 | 10 | 0 | 3 | 4 | 35 | 51,43% | 28,57% | 8,57% | 11,43% |
| 29/4/2005 | 14 | 5 | 0 | 2 | 3 | 24 | 58,33% | 20,83% | 8,33% | 12,50% |
| 3/5/2005 | 26 | 14 | 0 | 5 | 1 | 46 | 56,52% | 30,43% | 10,87% | 2,17% |
| 4/5/2005 | 28 | 20 | 0 | 6 | 3 | 57 | 49,12% | 35,09% | 10,53% | 5,26% |
| 6/5/2005 | 27 | 18 | 0 | 7 | 5 | 57 | 47,37% | 31,58% | 12,28% | 8,77% |
| 10/5/2005 | 39 | 49 | 0 | 9 | 10 | 107 | 36,45% | 45,79% | 8,41% | 9,35% |
| 11/5/2005 | 37 | 40 | 0 | 7 | 10 | 94 | 39,36% | 42,55% | 7,45% | 10,64% |
| 13/5/2005 | 62 | 59 | 0 | 8 | 12 | 141 | 43,97% | 41,84% | 5,67% | 8,51% |
| 17/5/2005 | 119 | 81 | 0 | 11 | 9 | 220 | 54,09% | 36,82% | 5,00% | 4,09% |
| 18/5/2005 | 118 | 147 | 0 | 20 | 9 | 294 | 40,14% | 50,00% | 6,80% | 3,06% |
| 1/6/2005 | 31 | 23 | 0 | 8 | 8 | 70 | 44,29% | 32,86% | 11,43% | 11,43% |
| 7/6/2005 | 32 | 27 | 0 | 6 | 2 | 67 | 47,76% | 40,30% | 8,96% | 2,99% |
| 8/11/2005 | 38 | 24 | 0 | 14 | 8 | 84 | 45,24% | 28,57% | 16,67% | 9,52% |
| 11/11/2005 | 25 | 18 | 0 | 12 | 6 | 61 | 40,98% | 29,51% | 19,67% | 9,84% |
| 12/11/2005 | 51 | 52 | 0 | 20 | 13 | 136 | 37,50% | 38,24% | 14,71% | 9,56% |
| 17/11/2005 | 56 | 48 | 0 | 12 | 18 | 134 | 41,79% | 35,82% | 8,96% | 13,43% |
| 18/11/2005 | 37 | 51 | 0 | 12 | 19 | 119 | 31,09% | 42,86% | 10,08% | 15,97% |
| 22/11/2005 | 67 | 46 | 0 | 14 | 23 | 150 | 44,67% | 30,67% | 9,33% | 15,33% |
| 24/11/2005 | 108 | 68 | 0 | 26 | 12 | 214 | 50,47% | 31,78% | 12,15% | 5,61% |
| 25/11/2005 | 85 | 74 | 0 | 29 | 9 | 197 | 43,15% | 37,56% | 14,72% | 4,57% |
| Total 2005 | 1.963 | 1.510 | - | 365 | 234 | 4.072 | | | | |
| Média 2005 | 61,34 | 47,19 | 0,00 | 11,41 | 7,31 | 127,25 | 0,48 | 0,36 | 0,10 | 0,07 |
| Desvio 2005 | 40,02 | 33,14 | 0,00 | 6,66 | 5,56 | 75,28 | 0,09 | 0,08 | 0,04 | 0,04 |

Conforme se pode verificar na Tabela 4. 1, o número de indivíduos variou muito de um dia para outro, nas diferentes luminárias. Isso se deve as características próprias da distribuição dos insetos, altamente afetada pela temperatura ambiente, pela umidade relativa, pelos ventos, pela luminosidade do entorno e pelas fases da lua. Além disso, alguns grupos

formam revoadas (coo Formicidae e Isoptera). Como a maioria dessas características é bastante dinâmica, isso se reflete no número de capturas a cada dia.

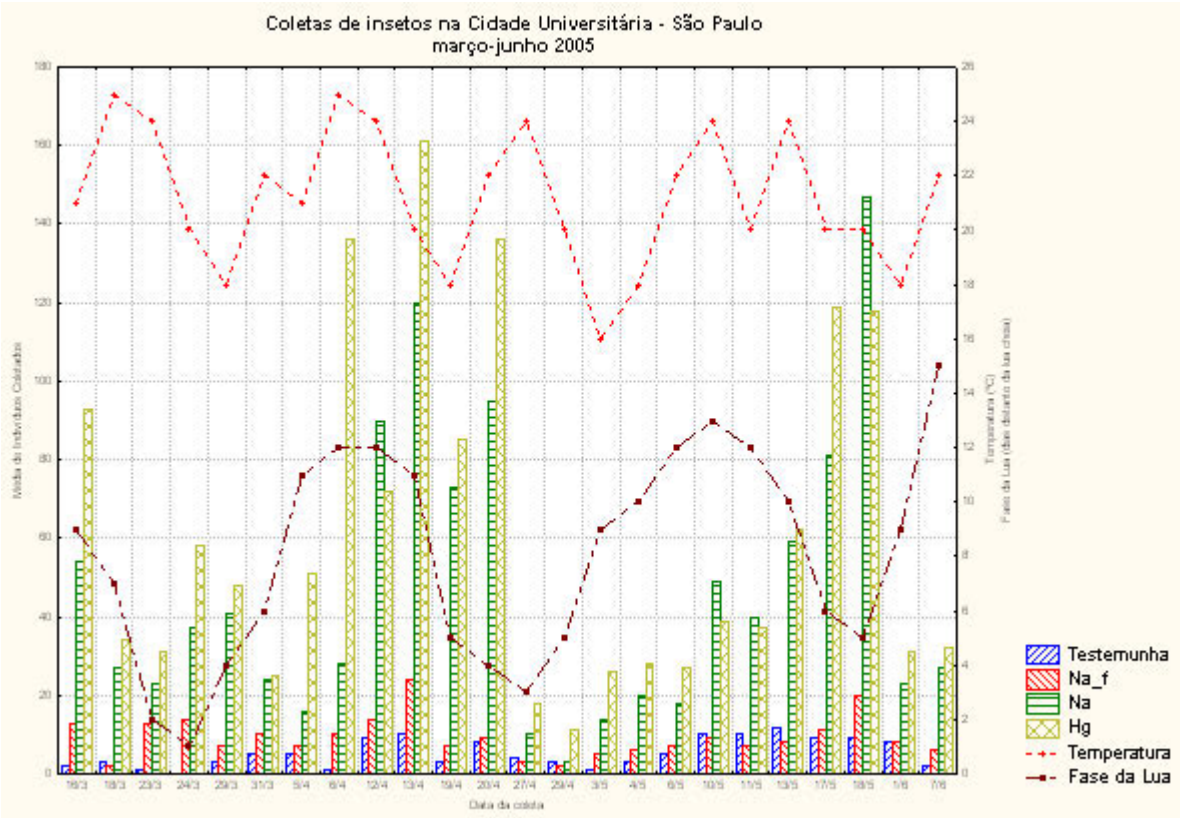



**Figura 4. 1.** *Primeira campanha: número de insetos coletados versus temperatura e fase da lua*

Conforme se mostra na Figura 4.1, aparentemente, o número de insetos coletados por noite não apresenta correlação com as condições climáticas e com as fases da lua. O fenômeno é perfeitamente justificado quando se leva em conta que o número de coletas é limitado. Apenas um número mais amplo de observações, prolongado por diferentes estações, poderá detectar a influência dessas variáveis sobre o rendimento das coletas.

Quando se passa a uma estatística da distribuição das coletas, os dados são mais claros, como aparece na Figura 4.2., na qual é indicado o número médio de indivíduos coletados por noite e o respectivo desvio padrão.

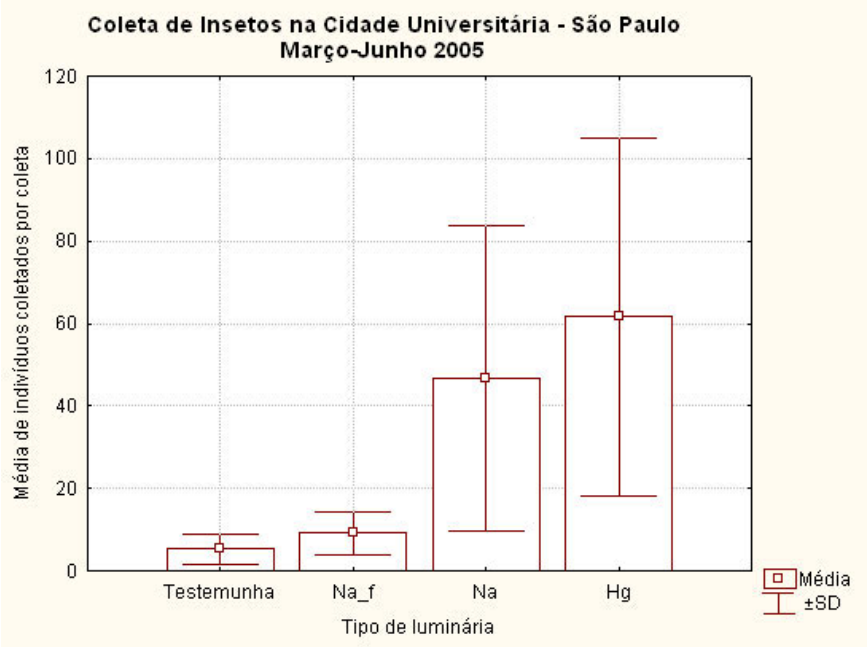



**Figura 4.2.** *Primeira campanha, número médio e desvio de indivíduos coletados por noite*

Pela Figura 4.2. pode-se ver o alto desvio padrão. Este fenômeno pode ser explicado pelo comportamento dos insetos, altamente influenciado pelas condições microclimáticas locais. Para justificar as flutuações da quantidade de indivíduos e de espécies coletadas, seria necessária uma análise fina das condições específicas locais. Por exemplo, durante dois dias verificou-se uma revoada de cupins, fenômeno esse ligado a condições específicas de ritmos circa-anuais. Tratando-se de insetos que assumem um comportamento tipicamente agregado, a contagem dos insetos coletados por armadilha é pouco significativa, porque essa quantidade depende da direção da qual provinha o enxame e em medida menor do poder de atração das luminárias.

## *4.2. Resultados da segunda campanha de coletas*

A tabela 4. 2. mostra a quantidade de indivíduos coletados por tipo de preparo e sua distribuição no tempo, bom como, a transformação dos dados dos diferentes preparos em percentuais do total das coletas diárias.

**Tabela 4.2.** *Segunda campanha: estatísticas das coletas*

| | Valores absolutos | | | | | | Valores percentuais | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Data | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test | total | Hg | Na | Na_F | Test | Hg_F/Hg |
| 1/12/2005 | 127 | 40 | 27 | 52 | 10 | 229 | 55,5% | 17,5% | 22,7% | 4,4% | 21,3% |
| 2/12/2005 | 114 | 57 | 34 | 52 | 15 | 238 | 47,9% | 23,9% | 21,8% | 6,3% | 29,8% |
| 24/3/2006 | 73 | 25 | 68 | 17 | 5 | 120 | 60,8% | 20,8% | 14,2% | 4,2% | 93,2% |
| 31/3/2006 | 62 | 27 | 16 | 9 | 3 | 101 | 61,4% | 26,7% | 8,9% | 3,0% | 25,8% |
| 5/4/2006 | 73 | 30 | 39 | 22 | 7 | 132 | 55,3% | 22,7% | 16,7% | 5,3% | 53,4% |
| 7/4/2006 | 90 | 17 | 43 | 9 | 9 | 125 | 72,0% | 13,6% | 7,2% | 7,2% | 47,8% |
| 11/4/2006 | 95 | 13 | 28 | 15 | 2 | 125 | 76,0% | 10,4% | 12,0% | 1,6% | 29,5% |
| 12/4/2006 | 86 | 21 | 37 | 24 | 4 | 135 | 63,7% | 15,6% | 17,8% | 3,0% | 43,0% |
| 18/4/2006 | 63 | 36 | 15 | 32 | 6 | 137 | 46,0% | 26,3% | 23,4% | 4,4% | 23,8% |
| 19/4/2006 | 42 | 28 | 14 | 26 | 13 | 109 | 38,5% | 25,7% | 23,9% | 11,9% | 33,3% |
| 20/4/2006 | 67 | 25 | 30 | 11 | 12 | 115 | 58,3% | 21,7% | 9,6% | 10,4% | 44,8% |
| 26/4/2006 | 178 | 42 | 102 | 21 | 12 | 253 | 70,4% | 16,6% | 8,3% | 4,7% | 57,3% |
| 27/4/2006 | 151 | 36 | 35 | 20 | 2 | 209 | 72,2% | 17,2% | 9,6% | 1,0% | 23,2% |
| 28/4/2006 | 100 | 19 | 44 | 13 | 9 | 141 | 70,9% | 13,5% | 9,2% | 6,4% | 44,0% |
| Total | 1.321 | 416 | 532 | 323 | 109 | 2.169 | | | | | |
| **Média** | **94,36** | **29,71** | **38,00** | **23,07** | **7,79** | **154,93** | **60,63%** | **19,45%** | **14,65%** | **5,26%** | **40,72%** |
| Des.Padr. | 37,43 | 11,66 | 23,14 | 13,93 | 4,28 | 52,62 | 11,22% | 5,27% | 6,25% | 3,07% | 19,14% |

A quantidade média de indivíduos coletado por tipo de preparo é mostrada na Figura 4.3.

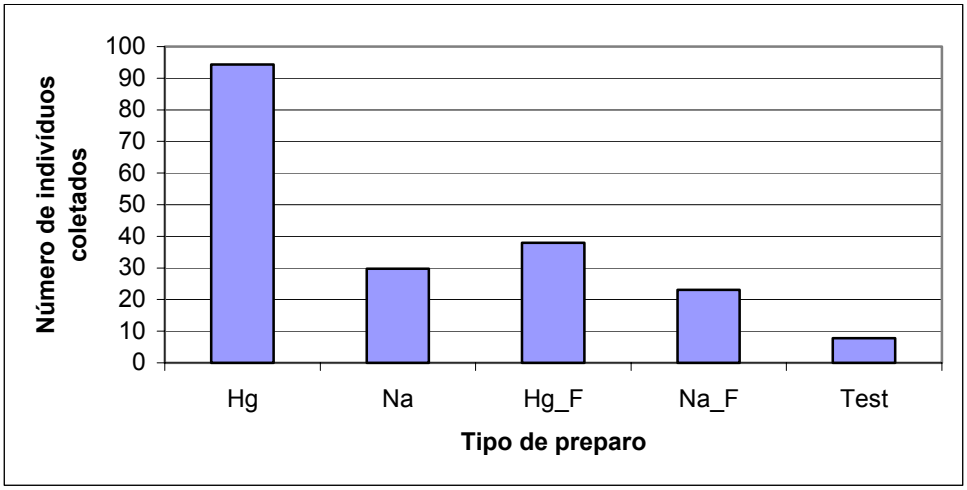



**Figura 4. 3.** *Segunda campanha, média de indivíduos coletados por tipo de preparo*

As principais diferenças que podem ser notadas nos dados entre a primeira e a segunda campanha de coleta são: aumento do número médio de indivíduos coletados globalmente (154

contra 122); maior rendimento da lâmpada a vapor de mercúrio e menor diferença entre o rendimento da lâmpada a vapor de sódio sem e com filtro.

Essa discrepância poderia estar ligada apenas a uma flutuação estatística determinada pelo baixo número de coletas ou estar ligada à sazonalidade. De qualquer forma, os dados, apesar de menos homogêneos, confirmam a tendência geral da primeira coleta, com um nítido rendimento maior da coleta das lâmpadas com conteúdo de ultravioleta e um rendimento menor das lâmpadas com filtro de ultravioleta. Até mesmo a lâmpada a vapor de mercúrio, apesar da alta concentração de radiação na região do azul, quando utilizada com filtro de ultravioleta, reduz o rendimento a quase um terço da lâmpada sem filtro.

A Figura 4. 4. mostra a distribuição das coletas globalizando os dados das duas campanhas, exibindo uma distribuição mais uniforme.

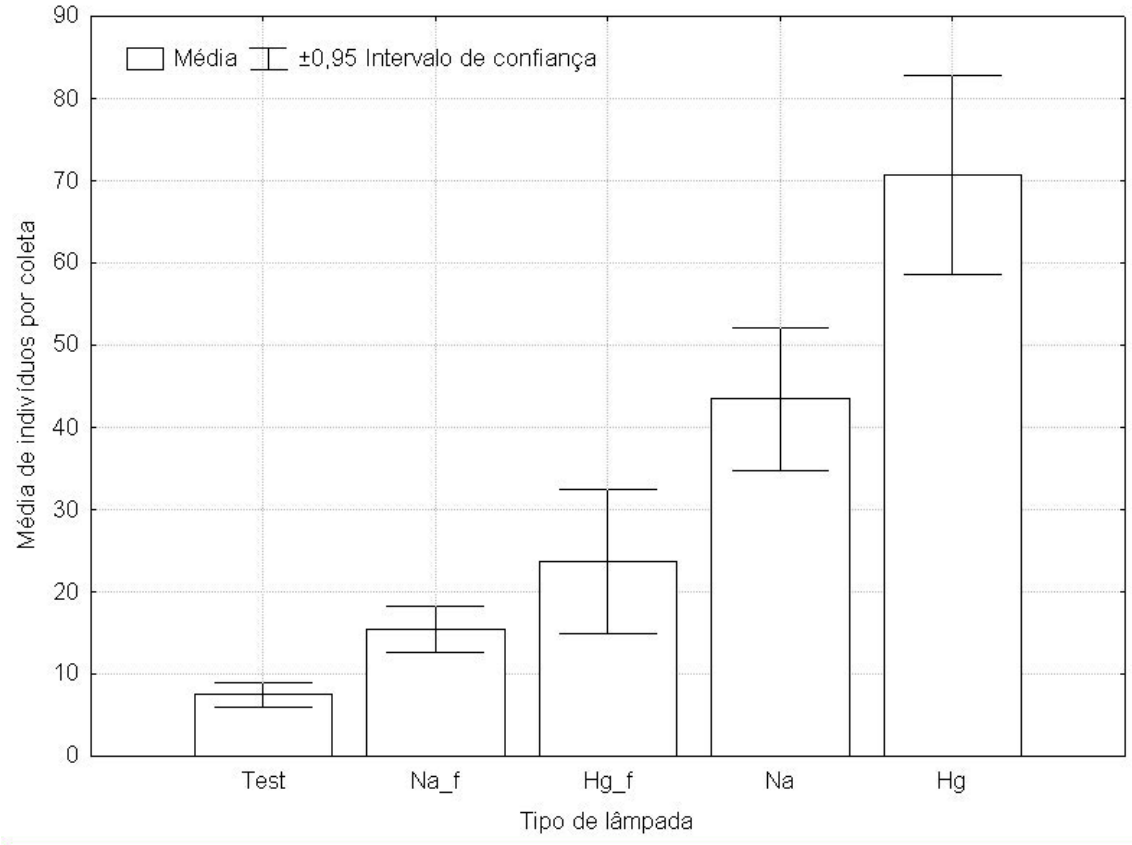



**Figura 4. 4.** *Média de indivíduos coletados por tipo de preparo nas duas campanhas de coleta.*

As tabelas detalhadas das coletas por grupo taxonômico estão reproduzidas no Apéndice 1.

Uma análise mais detalhada dos resultados é contida no Capítulo 5, mas a série de gráficos a seguir, que mostram o número de indivíduos por tipo de preparos e por grande grupo taxonômico, fornece uma visão sintética do significado dos diferentes preparos sobre a atração de insetos.

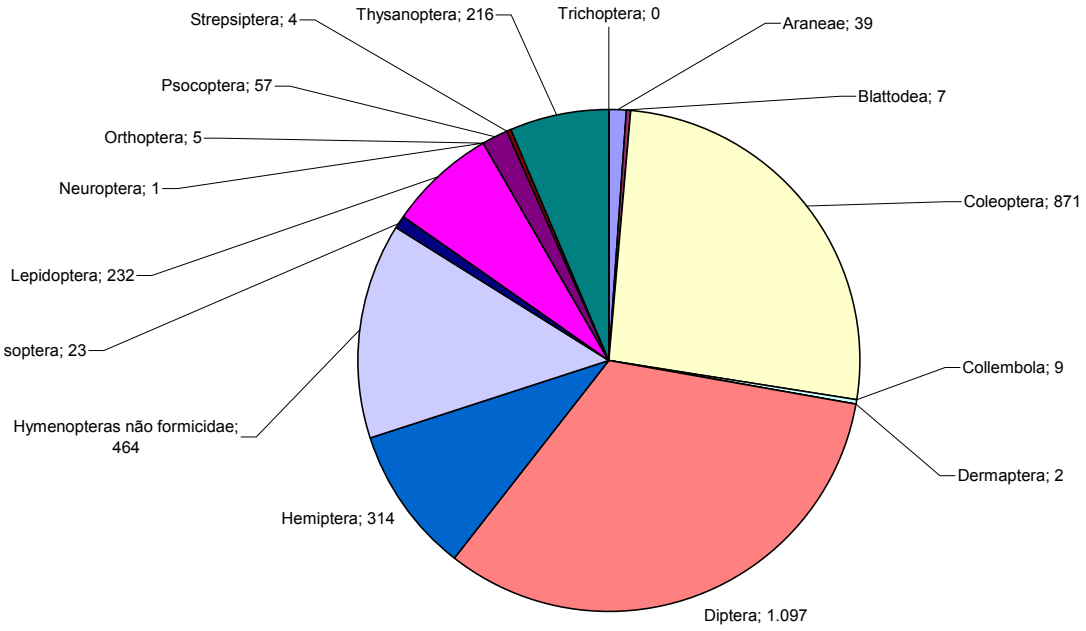



**Figura 4. 5.** *Número de indivíduos por grupo taxonômico coletados na lâmpada a vapor de mercúrio.*

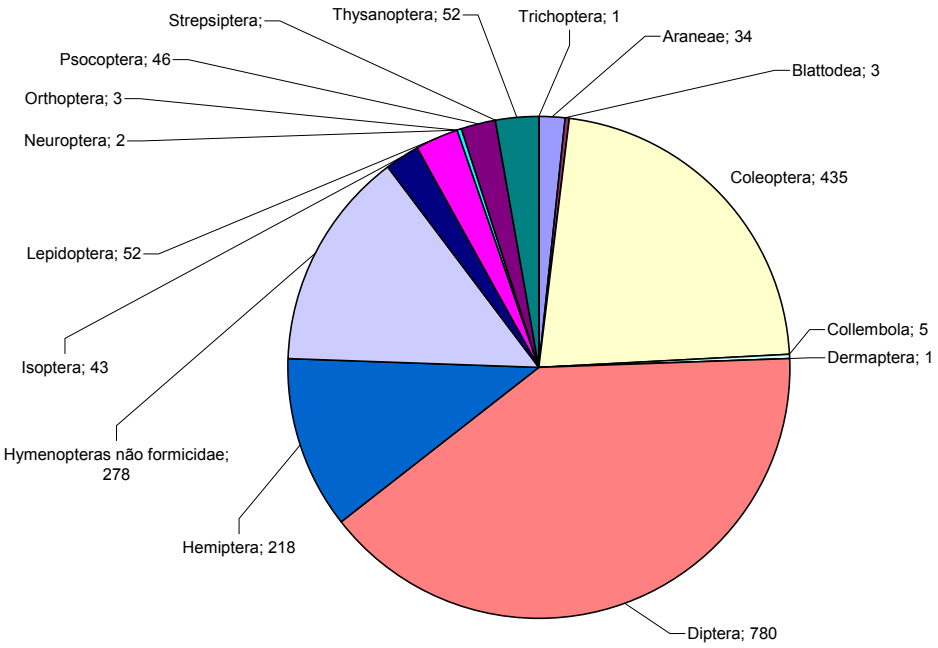



**Figura 4. 6**. *Número de indivíduos por grupo taxonômico coletados na lâmpada a vapor de sódio a alta pressão.*

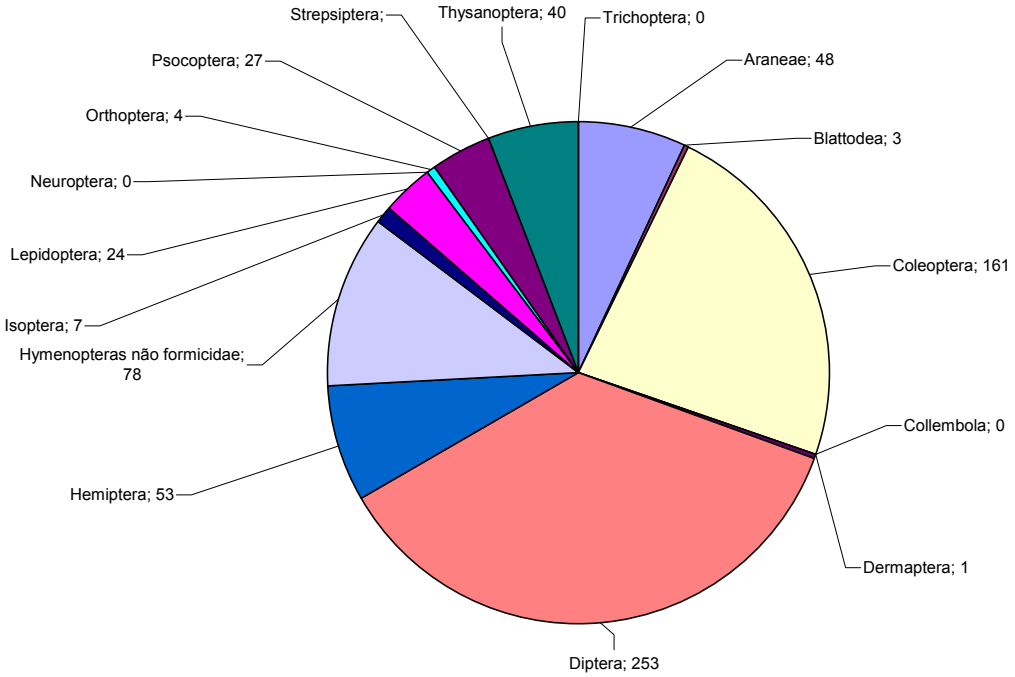



**Figura 4. 7**. *Número de indivíduos por grupo taxonômico coletados na lâmpada a vapor de sódio a alta pressão com filtro de ultravioleta*

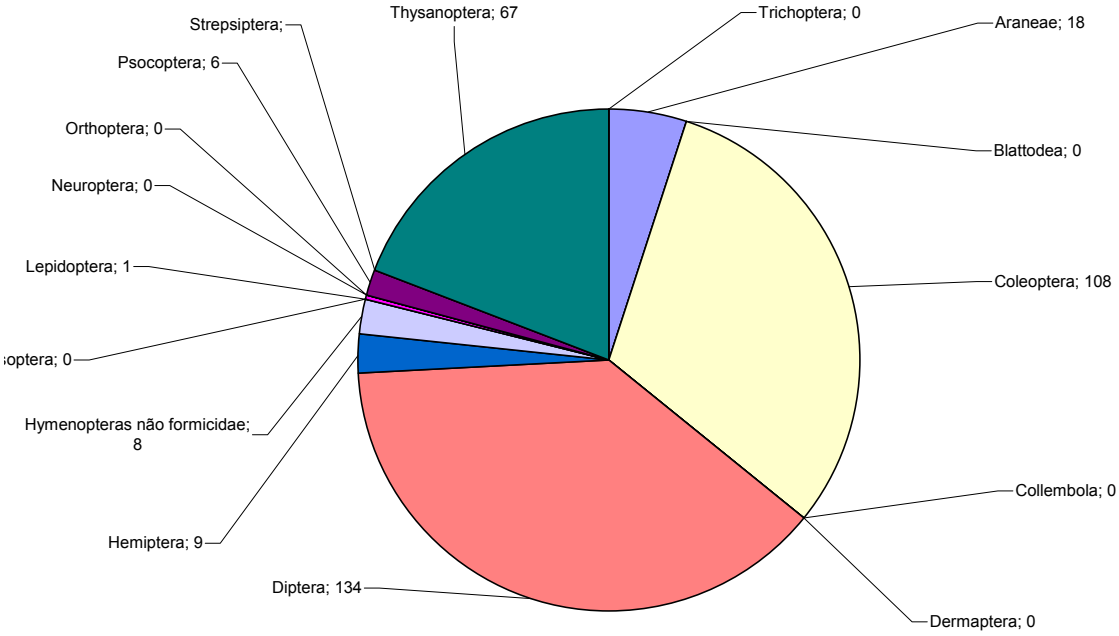



**Figura 4. 8**. *Número de indivíduos por grupo taxonômico coletados no testemunho (luminária sem lâmpada)*

# Capítulo 5. Discussão

As duas campanhas de coleta realizadas, apesar das limitações já apontadas, oferecem um quadro global de extremo interesse, não apenas em relação aos resultados específicos, no contexto da finalidade para a qual foram realizadas – a elaboração de sistemas de iluminação de impacto mínimo – mas também, para o contexto geral da entomologia. De fato, executando uma coleta sistemática de insetos é possível identificar fenômenos nem sempre suficientemente destacados na literatura entomológica. Pela grande diversidade de espécies presentes nos insetos, a entomologia trabalha em geral apenas com coletas específicas, com o objetivo de identificar uma espécie, ou uma família de insetos; portanto, com escopo limitado. Quando uma coleta é ampla, e não seleciona apenas as espécies de interesse do pesquisador, abrangendo toda a fauna coletada, aparecem fenômenos e comportamentos muitas vezes não previstos anteriormente.

Estudos mais aprofundados mereceriam ser realizados, com campanha de grande duração, como aquelas realizadas, por exemplo, na Inglaterra e na Hungria, mas ainda assim é possível fazer algumas interpretações, que serão discutidas a seguir. Em primeiro lugar devem ser feitos comentários sobre o significado das coletas para fins da elaboração de sistemas de iluminação de mínimo impacto sobre os insetos.

## *5.1. Iluminação de impacto mínimo*

Os resultados dos testes confirmam claramente a hipótese inicial de que a atração da iluminação artificial por parte dos insetos é fundamentalmente uma desorientação da navegação. Mas, a fonte de iluminação, para ser considerada um corpo sideral e, portanto, ser utilizada como baliza pelo inseto, precisa apresentar um componente ultravioleta. A simples colocação de um filtro que corta a radiação até 400 nm reduz, no caso de uma lâmpada a vapor de mercúrio, em 34% a atração e, no caso das lâmpadas a vapor de sódio, em 36% a quantidade de insetos coletados.

Uma idéia mais clara do impacto da colocação do filtro de UV pode ser obtida tabulando-se os dados da visibilidade dos diferentes preparos para o homem e para os insetos,

conforme mostrado na Tabela 5.1. Para essa finalidade, a irradiância de cada preparo é multiplicada pela sensibilidade fotópica do homem e dos insetos com três rodopsinas respectivamente e, no caso dos preparos com filtro, pela transmitância do filtro, obtendo dessa forma, a radiação útil ou a visibilidade do preparo para o homem e para os insetos. Esses dados podem ser normalizados, utilizando a lâmpada a vapor de mercúrio com valor unitário, para o homem e para os insetos. Esses dados, que representam o poder de atração relativa dos preparos, podem ser comparados com o rendimento específico da coleta em cada preparo. Dessa forma é possível avaliar quanto o componente ultravioleta afeta a atração efetiva do preparo.

**Tabela 5. 1.** *Comparação das características dos diferentes preparos com o rendimento das coletas.*

| **Fluxo luminoso multiplicado pela curva de sensibilidade fotópica** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Hg | Na | Hgf | Naf | T |
| Homem | 3.358 | 4.463 | 2.957 | 3.934 | 0 |
| Insetos | 3.548 | 1.562 | 2.101 | 1.350 | 0 |
| **Visibilidade relativa da lâmpada na base da sensibilidade fotópica Hg=1** | | | | | |
| | Hg | Na | Hgf | Naf | T |
| Homem | 1,00 | 1,33 | 0,88 | 1,17 | 0 |
| Insetos | 1,00 | 0,44 | 0,59 | 0,38 | 0 |
| **Média de insetos coletados por tipo de preparo.** | | | | | |
| | Hg | Na | Hgf | Naf | T |
| Média T | 70,27 | 43,43 | 23,71 | 15,65 | 7,47 |

Colocando o rendimento da lâmpada a vapor de mercúrio Hg igual a 1 é possível comparar diretamente o rendimento das coletas por tipo de preparo, conforme se apresenta na Tabela 5. 2. A tabela mostra como o rendimento é pronunciadamente diferente daquele esperado a partir do cálculo da visibilidade dos preparos. Contra uma visibilidade das lâmpadas a vapor de sódio de 0,44 em relação à lâmpada a vapor de mercúrio, o rendimento foi muito superior, atingindo 0,62. Mas no preparo com filtro, o rendimento da lâmpada a vapor de sódio foi de 0,36, contra um valor esperado, pela visibilidade, de 0,59%. Um resultado ainda mais surpreendente é aquele da lâmpada a vapor de mercúrio com filtro, Hg_f, que coletou apenas 0,34, contra uma visibilidade de 0,59.

**Tabela 5. 2.** *Comparação da visibilidade dos preparos com o rendimento das coletas*

| **Rendimento das coletas em relação à lâmpada a vapor de mercúrio Hg.** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Preparo/Hg | 1,00 | 0,62 | 0,34 | 0,22 |
| **Rendimento das coletas. Preparo sem filtro/preparo com filtro** | | | | |
| | Hg | Na | Hgf | Naf |
| | 1 | 1 | 0,34 | 0,36 |

Se levarmos em conta que, na campanha de coleta, o testemunho capturou em média 7,47 insetos por noite, e subtraímos esse valor dos resultados de cada preparo, já que ele representa a quantidade média de insetos que seriam coletados independente da presença de uma fonte de radiação artificial, os resultados são ainda mais significativos. Como mostra a Tabela 5.3., a lâmpada a vapor de sódio coletou apenas 57% dos insetos, a vapor de mercúrio com filtro 26% e o vapor de sódio com filtro 13%. Quando, finalmente, se compara o rendimento das coletas preparo com filtro/preparo sem filtro, o resultado é ainda mais significativo: com filtro a lâmpada a vapor de mercúrio e a lâmpada a vapor de sódio coletaram respectivamente 26% e 23%.

**Tabela 5.3.** *Comparação da visibilidade dos preparos com o rendimento das coletas retirados os insetos coletados no testemunho.*

| **Média dos insetos coletados por preparo Retirados os insetos coletados no testemunho** | | | |
|---|---|---|---|
| Hg | Na | Hg_f | Na_f |
| 62,80 | 35,96 | 16,25 | 8,18 |
| **Rendimento das coletas Em relação à lâmpada a vapor de mercúrio Hg.** | | | |
| Hg | Na | Hgf | Naf |
| 1,00 | 0,57 | 0,26 | 0,13 |
| **Rendimento das coletas Preparo sem filtro/preparo com filtro** | | | |
| Hg | Na | Hgf | Naf |
| 1 | 1 | 0,26 | 0,23 |

Uma visão sintética desses dados é oferecida pela Figura 5. 1, na qual são representados graficamente os valores da Tabela 5.3.

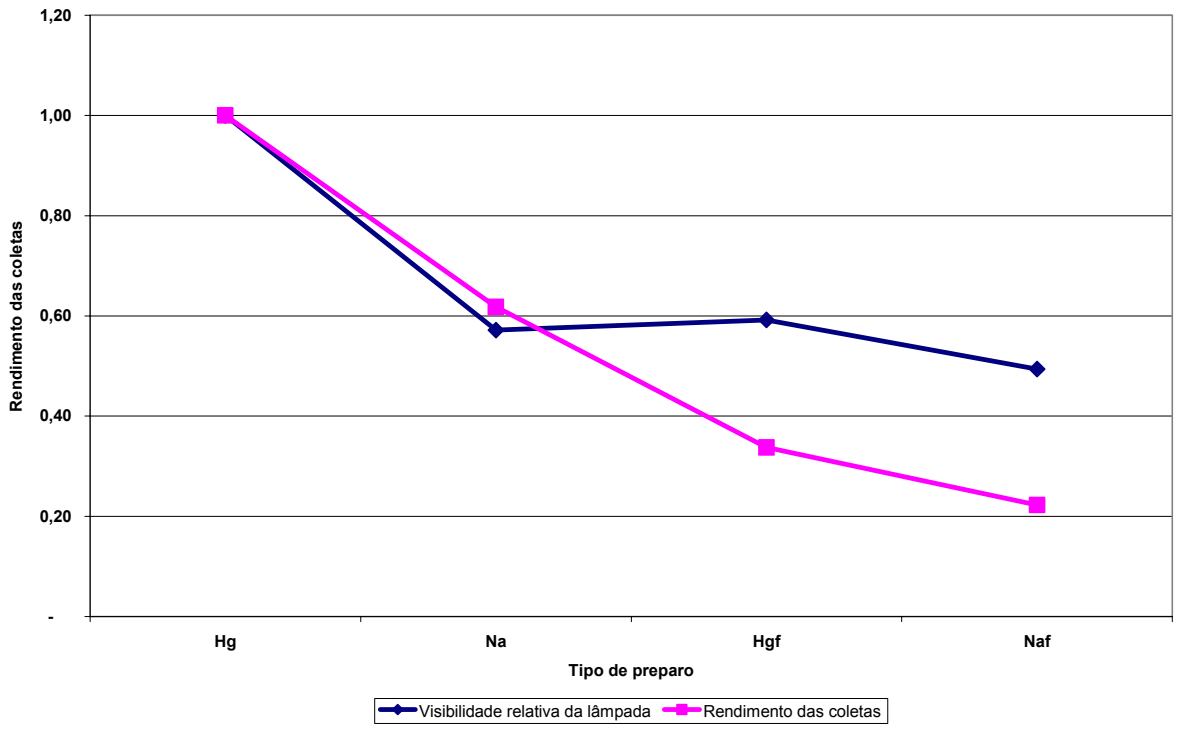



**Figura 5.1.** *Visibilidade dos preparos versus rendimento das coletas.*

A comparação entre a visibilidade das lâmpadas para os insetos e o rendimento das coletas confirma plenamente a hipótese de que realmente não é a visibilidade das lâmpadas que gera a atração mas sim o componente ultravioleta, utilizado como baliza sideral.

Esses dados, apesar de muito simples, oferecem um instrumento poderoso para desenvolvimento de sistemas de iluminação de impacto mínimo. No homem a percepção da radiação ultravioleta é inexistente, ou extremamente limitada; portanto, retirando-se o componente ultravioleta das luminárias externas não se afeta o conforto visual para o homem, mas é reduzida drasticamente a atração dos insetos, tornando a iluminação artificial quase neutra em relação aos mesmos.

A colocação de filtros ultravioleta é um procedimento relativamente simples e de baixo custo quando realizada em grande série. Existem fornecedores, em escala mundial, de filtros desse tipo[20], mas, pensando em uma produção seriada, é possível realizar uma deposição metálica no vidro protetor da luminária que permite, seletivamente, cortar os comprimentos de onda. Trata-se, portanto, de um procedimento perfeitamente viável, técnica e economicamente, que permite adotar medidas de redução do impacto da iluminação

[20] OSRAM SYLVANIA: Sources of Ultraviolet Blocking Materials; FAQ0038-0199; 2000

artificial sem grandes dificuldades, sendo apenas necessária a vontade política de levar em conta a variável ambiental nos projetos de iluminação pública.

Se, do ponto de vista do espectro da radiação emitida não existem grandes dificuldades, uma complexidade maior pode surgir quando da concepção dos projetos de iluminação. Com o aumento da eficiência e da potência das lâmpadas, existe uma tendência de realizar instalações de iluminação em postes de grande altura, reduzindo, dessa forma, o número de instalações. Contra uma altura de nove metros, que era o padrão antigo quando as lâmpadas apresentavam um fluxo da ordem de 1.000 lux, hoje existe a tendência de aumentar a altura para 12 e em alguns casos até para 25 metros. Evidentemente, quanto maior for a altura dos postes, maior será a distância da radiação difundida, acentuando, portanto, o raio de influência da iluminação pública. O rebaixamento da altura dos postes e a utilização de luminárias com feixe dirigido representam, sem dúvida, o segundo passo para minimizar o impacto da iluminação sobre o ambiente. Uma síntese das medidas que podem ser tomadas para reduzir o impacto sobre o meio ambiente é apresentada no Apêndice 2.

## *5.2. O comportamento das espécies*

Se, de uma forma global, a atração pela radiação ultravioleta explica o comportamento dos insetos em relação à iluminação artificial, a análise das coletas dos diferentes preparos mostra que o comportamento registra variabilidade. Conceitualmente, pode-se afirmar que as diferentes espécies utilizam a diferença entre comprimento de onda curta (proveniente da abóbada) e de onda longa (proveniente da reflexão da radiação sobre os objetos terrestres) como elemento discriminatório ambiental no qual é possível voar e no qual é necessário andar. Porém, dependendo do ambiente no qual a espécie está adaptada, a percepção da onda curta pode variar, sendo mais acentuada em direção ao ultravioleta nas espécies de espaços abertos e mais acentuada em direção à radiação azul, nas espécies de ambiente fechado. A identificação exata do fenômeno exigiria uma separação das coletas em nível de morfoespécie, já que os grandes grupos taxonômicos abrangem espécies adaptadas aos mais diversos ambientes. Ainda assim, na análise das coletas divididas em grandes grupos taxonômicos, encontram-se indícios desses comportamentos. Essa variabilidade pode ser verificada em maiores detalhes na análise da distribuição das coletas de coleópteros, que

foram separados por morfoespécies (apesar de que em muitas morfoespécies não existe um número de indivíduos suficiente para realizar tratamento estatístico).

Um segundo fenômeno assinalado pelas coletas é que outros fatores podem afetar a distribuição dos insetos. Um elemento importante é que, em alguns casos, o excesso de radiação ultravioleta pode afastar insetos que vivem em ambientes intrinsecamente escuros. Já em outros casos, alguns insetos foram atraídos pela presença de álcool nas armadilhas.

Esses resultados permitem lançar algumas hipóteses importantes, que poderão ser verificadas em campanhas futuras.

Alguns grupos, que podemos chamar de raros no ambiente ou na época do experimento, não apresentam um número suficiente de indivíduos coletados – esses grupos incluem Blatodea, Dermaptera, Orthoptera, Strepsiptera e Trichoptera. Tratando conjuntamente os dados desses cincos grupos taxonômicos, os resultados confirmam que, apesar de tratar-se de um grupo heterogêneo, o número de indivíduos coletados na luminária com alto conteúdo de UV é claramente superior ao registrado nas outras luminárias. Parece provável, portanto, que se fosse ampliado o número de coletas, também esses grupos seguiriam a tendência geral de maior atração pelas lâmpadas com maior conteúdo de radiação ultravioleta.

Em segundo lugar, é preciso destacar que as armadilhas coletaram indivíduos de dois grupos taxonômicos de artrópodes sem asas: Araneae e Collembola. Esses animais fazem parte do zooplâncton aéreo – animais suficientemente pequenos para ser arrastados pelo vento. Como ironicamente escreveu Dwakins (2001), são poucos os animais que não voam. O fato curioso é que o zooplâncton aéreo é influenciado pela luz e o teste T mostra que existe diferença entre o número de indivíduos coletados nas armadilhas iluminadas e no testemunho. No caso da aranhas coloca-se a teia em posições que atraiam os insetos (Craig e Bergard, 1990; Bruce et al 2001). Dois elementos, porém, surpreendem nessas coletas. O primeiro é que a armadilha é de difícil acesso. Diante disso, é possível imaginar que as aranhas, encontrando-se nos galhos das árvores, lancem um fio da teia para se aproximar do ponto de luz ou que lancem um fio da teia no ar e, quando o vento for favorável, se soltem do ponto no qual estavam, chegando a "voar" até a armadilha. O segundo elemento é que as coletas não mostram diferença significativa no número de indivíduos entre as três fontes de iluminação artificial. Foi também coletado um número elevado de aranhas no testemunho.

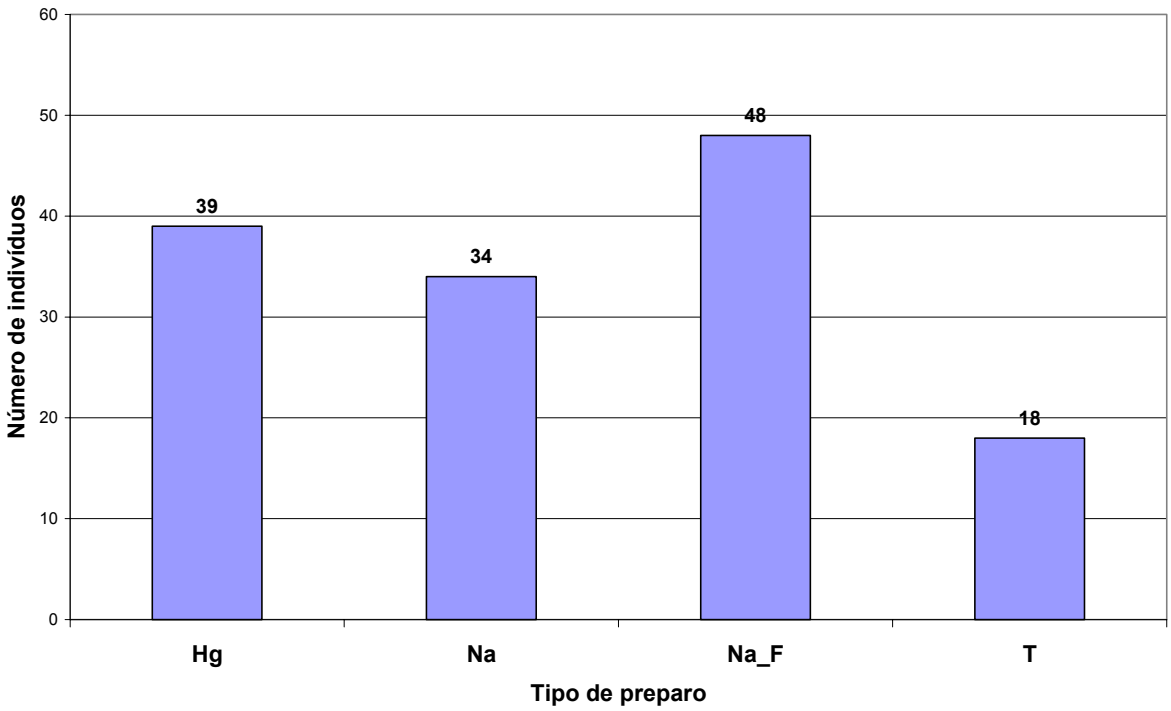



**Figura 5.2.** *Aranhas coletadas nas armadilhas por tipo de preparo.*

O fenômeno é claramente visível na Figura 5.2. na qual o testemunho ainda coletou 18 aranhas, contra uma média de 40 nos demais preparos. Isso demonstra, em princípio, que existe uma preferência para posição: as aranhas escolheram posições das quais era possível lançar teias em um espaço aberto, onde existe maior probabilidade de encontrar insetos que voam. Porém, houve também uma preferência por ambiente iluminado, no qual é mais provável encontrar insetos voando, confirmando, dessa forma, as observações realizadas por outros pesquisadores. Todavia, não existe preferência pelo comprimento de onda da radiação.

Quando se passa ao exame dos grupos taxonômicos mais representados, pode-se notar dois comportamentos distintos:

Para dois grupos, Coleopteros e Lepidopteros, registra-se diferença significativa do rendimento entre as lâmpadas a vapor de mercúrio, vapor de sódio e vapor de sódio com filtro, mas, enquanto os coleópteros não distinguem entre vapor de sódio com filtro e testemunho, nos lepidópteros existe uma diferença significativa.

O fenômeno é destacado claramente na Figura 5.3.que mostra como na Na_F foram coletados 161 indivíduos, e no testemunho 108, uma diferença não significativa do ponto de vista estatístico.

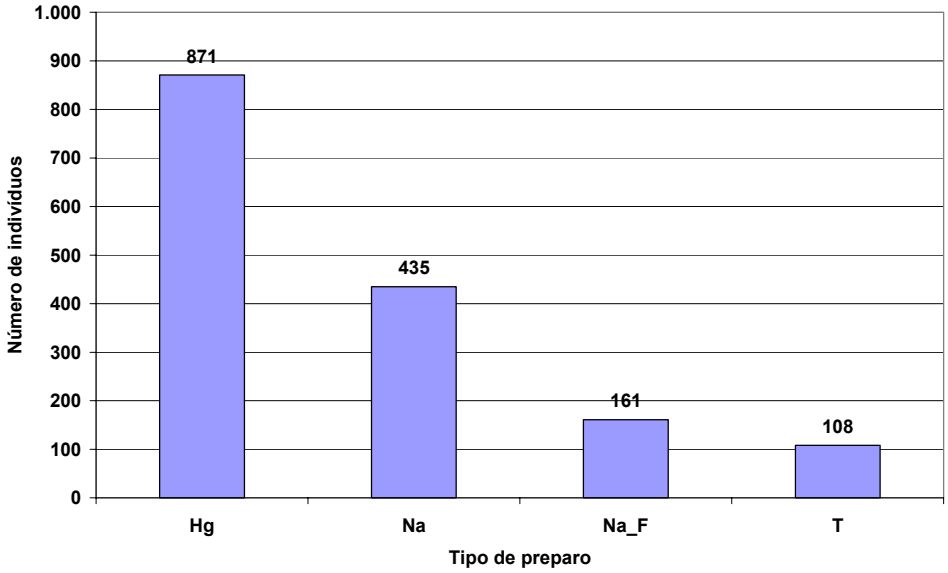



**Figura 5.3.** *Coleópteros coletadas por tipo de preparo.*

Quando se leva em conta, como mostrarei mais adiante, que no caso dos coleópteros algumas morfoespécies foram atraídas também pelo álcool, a diferença é ainda menos significativa.

No caso dos lepidópteros a situação é bem diferente, como mostra a Figura 5.4.

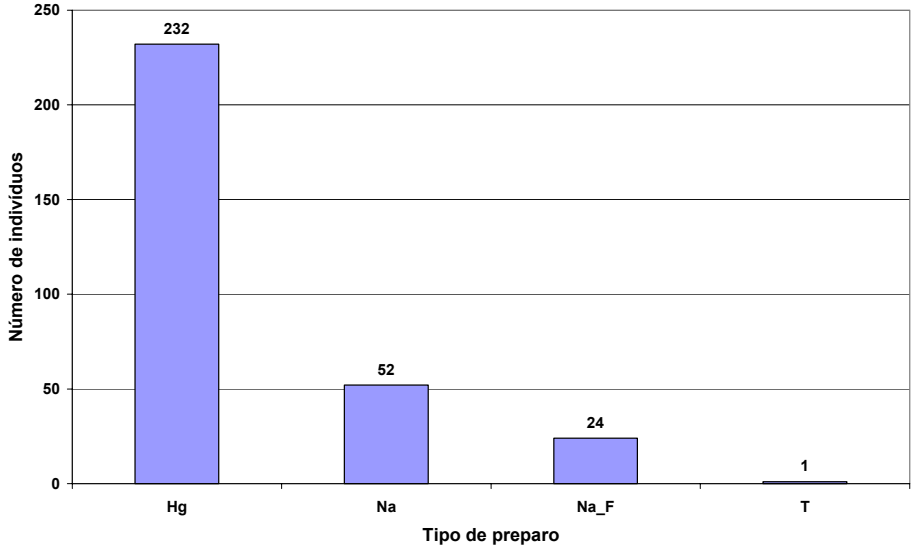



**Figura 5.4.** *Lepidópteros coletados por tipo de preparo.*

O primeiro elemento que se destaca nesse grupo taxonômico é o pequeno número de indivíduos coletados quando comparado com o dos coleópteros. Informações de moradores da fazenda Butantã nos anos de 1960 (dona Goretti Aparecida de Albuquerque, moradora da fazenda do Butantã, comunicação pessoal, 2005), indicam que, quando da abertura do Campus da Universidade, não era possível à noite acender lâmpadas fora do domicílio porque a quantidade de lepidópteros atraída por elas chegava a cobrir o chão. As coletas confirmam o fenômeno de diminuição de lepidópteros noturnos registrado na literatura internacional e, mais especificamente em São Paulo por Góes (2004). O segundo fenômeno é a distribuição extremamente acentuada por tipo de preparo. É difícil encontrar uma explicação. Uma hipótese poderia ser que, devido à forte diminuição da diversidade, a urbanização acabou selecionando apenas as espécies menos sensíveis à iluminação, portanto, as espécies que eram atraídas também por fluxos luminosos menos intensos acabaram desaparecendo.

Para três grupos – Diptera, Hemiptera e Hymenoptera (excetuando-se a família Formicidae) – não se registram diferenças significativas entre as lâmpadas a vapor de mercúrio e a vapor de sódio, mas registra-se diferença entre as lâmpadas a vapor de sódio com filtro e sem filtro e entre vapor de sódio com filtro e testemunho. A Figura 5.5. destaca bem o fenômeno.

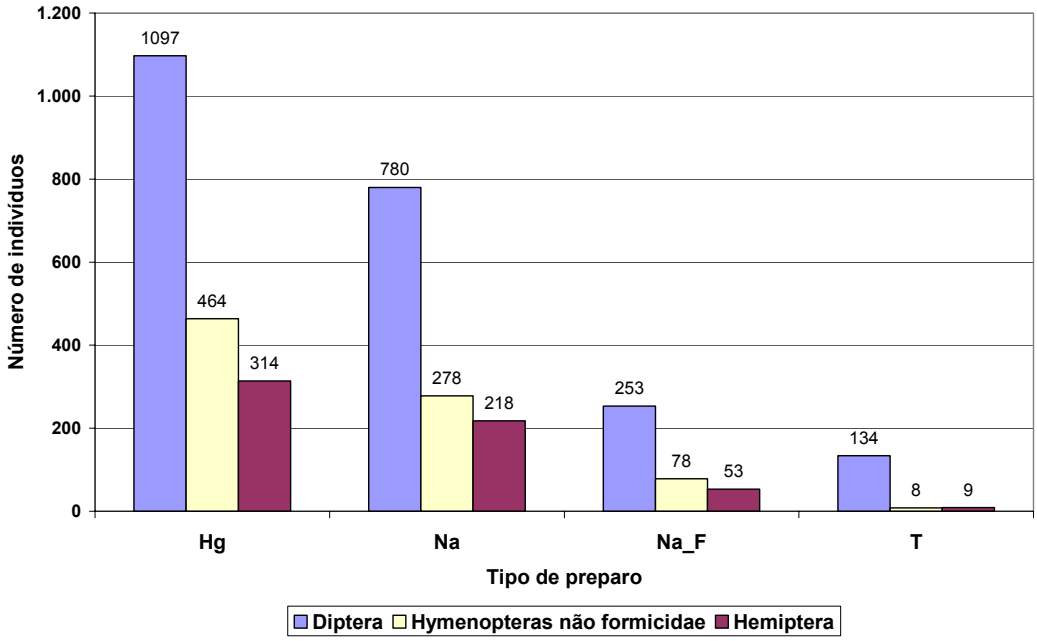



**Figura 5.V.** *Dípteros, himenopteros não formicidae e hemipteros coletados por tipo de preparo.*

Nesses três grandes grupos taxonômicos registra-se uma atração decrescente da lâmpada a vapor de mercúrio à lâmpada a vapor de sódio com filtro. Nos três grupos a tendência é clara, mas no grupo dos dípteros nota-se uma forte atração mesmos no testemunho. Esse fenômeno pode ser justificado pelo fato de que algumas espécies pertencentes ao grupo dos dípteros são atraídas, como comentarei mais adiante, pelo álcool.

A partir desses resultados é possível lançar uma série de hipóteses que deverão ser verificadas com um número maior de coletas e com um estudo mais aprofundado da fisiologia e do comportamento dos diferentes grupos taxonômicos.

A hipótese principal é que nos deparamos com três grupos distintos de sistemas visuais, adaptados a condições ambientais distintas e que estão presentes, dentro do mesmo grupo taxonômico, em proporções diferentes, conforme se discute a seguir:

1. Nos insetos nos quais se verifica uma diferença de rendimento das coletas entre a lâmpada a vapor de mercúrio e a vapor de sódio, como nos coleópteros e lepidópteros, é possível pensar que, dentro desses grandes grupos taxonômicos, existam espécies adaptadas ao escuro e espécies adaptadas à luz. Cabe destacar que estou sugerindo uma verdadeira adaptação biológica, e não um acomodamento (na área da visão os dois termos nem sempre são usados de forma apropiada). A adaptação poderia manifestar-se como uma diferenciação morfológica (olho de aposição, eficiente na claridade; olho de superposição ótica ou neural, tipicamente eficiente no escuro), ou com uma simples adaptação fisiológica, como se verifica, por exemplo, com a abelha, que, apesar de ter um olho de aposição, tem o sistema neural e a sensibilidade das rodopsinas adaptados ao escuro. A pré-adaptação ao escuro é fisiologicamente identificável nos lepidópteros, que exibem, dependendo da espécie, olho de aposição e olho de superposição ótica. Note-se que, entre os grupos taxonômicos que diferenciam as luminárias a vapor de mercúrio e vapor de sódio, existe provavelmente uma mistura de espécies: algumas não realizam a distinção e são atraídas pelas duas luminárias, outras espécies são atraídas pela luminária a mercúrio, e não por aquela a vapor de sódio. Isso se verifica nos coleópteros (média de 15 indivíduos por coleta na Hg e 10 na Na), e, em proporção menor, nos lepidópteros (média de 5,21 indivíduos na vapor de mercúrio e 1,33 na vapor de sódio).

2. Nos insetos nos quais não se verifica uma diferenciação entre a lâmpada a vapor de mercúrio e a vapor de sódio, podemos lançar a hipótese de que se trata em grande parte de insetos adaptados ao escuro. Para eles, devido a uma maior sensibilidade visual, qualquer fonte de iluminação artificial com conteúdo de ultravioleta é suficiente para gerar atração. Fariam parte desse grupo os dípteros, os hemípteros e os himenópteros.

3. Existe um terceiro grupo de espécies, representado por insetos que distinguem entre o testemunho e a lâmpada a vapor de sódio com filtro. O fenômeno está presente em apenas poucos taxa (por exemplo, nos coleópteros não se registra essa distinção, mas está presente entre os dípteros, os hemípteros, os himenópteros e os lepidópteros). A justificativa desse comportamento pode ser de dois tipos, não excludentes. Uma primeira hipótese é que se trata de indivíduos ou espécies com maior sensibilidade visual, que percebem o resto da radiação de onda curta não eliminada pelo filtro – a radiação entre 390 e 400 nm – e, portanto, continuam atraídos pela iluminação. A forma mais adequada de testar a hipótese é utilizar um filtro seletivo que corte a radiação até 400 ou 410 nm. Com esse filtro não existiria redução do conforto para o homem, e poderia se obter uma maior eficiência com relação à redução da atração. Outra hipótese é que essas espécies, diferentemente das outras, registram atração por faixas da radiação visível, pelas quais os outros insetos não são atraídos. Se considerarmos essas espécies como fundamentalmente adaptadas a ambientes pouco expostos à radiação celeste, qualquer radiação de onda curta, a partir do azul, poderia indicar espaço no qual é possível voar.

Durante a primeira campanha, com um total de 32 coletas, os coleópteros foram identificados por morfoespécie. Apesar de não se dispor de dados da história natural dessas espécies, os resultados indicam que o comportamento específico de cada espécie possa ser diferente do comportamento médio.

No total foram coletados 1070 coleópteros, divididos em 239 morfoespécies. Para muitas morfoespécies, o número de indivíduos coletados não foi suficiente para realizar um tratamento estatístico dos dados, para outras é possível lançar algumas interpretacões. [21]Aqui

[21] O estudante de graduação Bruno de Medeiros, que realizou a triagem dos insetos, está elaborando uma análise mais profunda dos dados que espero possa ser publicada no futuro.

merecem ser feitas apenas algumas considerações gerais sobre os resultados mais significativos.

Conforme previsto, os dados da divisão em morfoespécies confirmam que o comportamento dos insetos em relação à luz não foi uniforme: na grande maioria, o comportamento dos insetos seguiu o padrão geral das coletas, sendo que o número de indivíduos coletados foi decrescente, conforme a seqüência Hg>Na>NaF>T. Em muitos casos, entretando, os insetos não mostraram preferência entre a lâmpada a vapor de mercúrio e a lâmpada a vapor de sódio. Em outros casos, ocorre uma diferença estatisticamente significativa entre a lâmpada a vapor de mercúrio e os outros preparos. É possível que esse resultado decorra apenas do pequeno número de indivíduos coletados.

Quatro grupos de morfoespécies se afastam do padrão geral de maior atração pela lâmpada a vapor de mercúrio, sendo coletados em proporção maior na lâmpada a vapor de sódio sem filtro. Tratam-se dos grupos: Latridiidae; Silvanidae; Hydrophilidae; Staphylinida. Esses grupos são constituídos de coleópteros miúdos, bastante abundantes, muitos dos quais se alimentam de material vegetal em decomposição, e que vivem embaixo de pedras ou da casca de árvores e chegando a cavar buracos na madeira. É provável que, tratando-se de espécies que vivem em ambientes escuro, eles tendam a afastar-se de fontes excessivas de radiação ultravioleta como as lâmpadas a vapor de mercúrio, e utilizam a reduzida radiação da lâmpada a vapor de sódio para orientar-se. Vale lembrar que a radiação ultravioleta foi descoberta por Sir John Lubbock em 1879 (Silberglied, 1979), quando, expondo uma colônia de formigas, com os ovos, a uma radiação difratada com um prisma, viu que as formigas retiravam os ovos da área irradiada pela radiação UV (que é invisível) e não pela radiação vermelha.

## *5.3. Efeito de atração pelo álcool*

Como comentado, a utilização do álcool como elemento fixador na armadilha foi uma escolha consciente, já imaginando que poderia introduzir um viés na amostra. Os resultados das coletas mostraram que o efeito foi maior que o esperado e é interessante analisar mais em detalhe os dados. Antes, porém, de discutir os resultados, é importante salientar o significado do álcool dentro de uma rede trófica.

O álcool é um subproduto da respiração anaeróbica de bactérias na digestão de carboidratos. Trata-se de um caminho metabólico muito antigo de utilização da energia fixada nos processos fotossintéticos, dominante em todas as espécies antes do aumento do oxigênio na atmosfera. Hoje o metabolismo anaeróbico permanece apenas em algumas espécies, principalmente em bactérias e fermentos. Como o álcool é tóxico para os organismos vivos, duas enzimas, o ADH e o ALDH, difusos em todas as espécies, permitem a metabolização do álcool: a primeira, a álcool dehidrogenase, transforma o álcool em aldeído, o segundo anula o efeito tóxico do aldeído. Espécies que forrageiam em ambientes ricos em álcool, subproduto da fermentação de frutas ou de material em decomposição, presentam os genes que codificam as duas enzimas muitos mais ativas, e utilizam o álcool como indicador de ambientes ricos em nutrientes. O fenômeno, estudado em detalhe na Drosophila (Berry, 1993; Marcot *et al*, 1994; Stam *et al* 1996), pode ser estendido a outras espécies (Parson 1983; Dudley, 2000).

É significativo que, dentro dos 17 grupos taxonômicos de insetos coletados, em apenas 3 foi encontrado um alto número de indivíduos no testemunho, vale dizer, na armadilha sem iluminação artificial, mas com a presença de álcool. Os grupos são Dípteros, Thysanopteras e Coleopteros.

Quando se observam esses três grandes grupos taxonômicos pode-se perceber que se tratam de grupos aos quais pertencem espécies que forrageiam em ambientes ricos em açúcares ou em material em fermentação. É esse o caso dos dípteros, grupo ao qual pertence a *Drosophila*. O total de indivíduos coletados no testemunho foi de 108, equivalente a 7% do total coletado em todas as armadilhas. Esse número induz a pensar que o álcool representou um atrativo. Apesar da influência do álcool, porém, os dados mostram claramente como ocorreu um efeito acessório da iluminação: de fato, o número de indivíduos decresce de 1.097 da lâmpada a vapor de mercúrio a 780 na lâmpada a vapor de sódio e a 253 na lâmpada a vapor de sódio com filtro. Permanece, dessa forma, confirmada a atração da iluminação artificial.

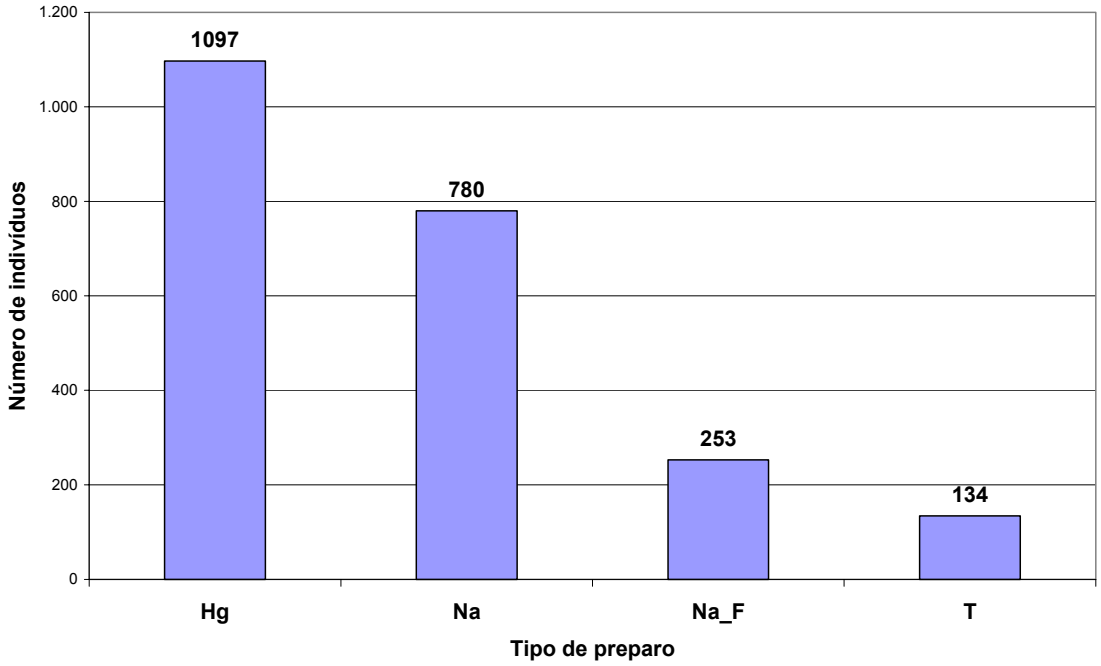



**Figura 5.6.** *Diptera. Número de indivíduos coletados por tipo de preparo*

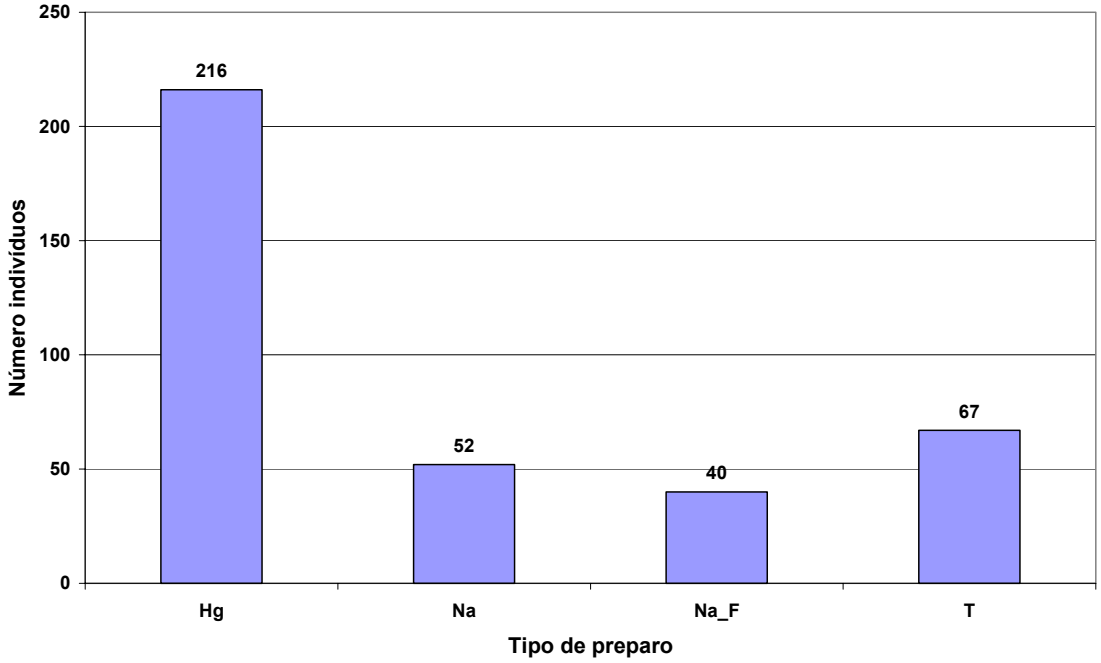



**Figura 5.7.** *Thysanoptera. Número de indivíduos coletados por tipo de preparo.*

Um caso ainda mais evidente é o dos Thysanoptera, grupo taxonômico do qual foram coletados mais indivíduos no testemunho que na lâmpada a vapor de sódio sem e com filtro. O grupo dos Thysanoptera, também conhecido pelo nome inglês de *Thrips*, compreende mais

de 5.000 espécies, com os hábitos alimentares os mais diversos, alimentando-se de folhas, flores e até pólen. Não surpreende, portanto, que eles sejam atraídos pelo álcool.

No caso dos coleópteros a situação é ainda mais evidente. Como, dentro do grande grupo taxonômico, os insetos foram divididos em morfoespécies, é possível elaborar uma análise mais fina do comportamento. De fato, quando se observa a distribuição das morfoespécies, apenas dois grupos registram uma presença marcante no testemunho: os grupos dos Cryptophagidae e dos Scolytinae. No primeiro caso, trata-se de uma família de insetos que se alimentam principalmente de folhas mortas e de material vegetal em fermentação, portanto, podem ser normalmente atraídos pelo álcool. Já no caso dos Scolytinae, que pertencem à família dos Curculionidae, que inclui muitas espécies que nidificam abaixo da casca das árvores, em cavidades em madeira viva e morta e foram vistas colocando ovos em frutas de goiaba em fase avançada de fermentação, é natural que o álcool possa representar um atrativo, já que é subproduto normal dos processos que occorrem no ambiente dessas espécies. Um caso significativo é representado pelo *Xyleborus capipennis*, que foi identificado no nível de espécie, em número elevado de indivíduos, mas não foi encontrada grande diferença entre cada preparo. A justificativa desse comportamento anômalo pode ser encontrada no fato de que o *Xyleborus capipennis* se alimenta de restos vegetais e cava galerias nos troncos das árvores[22]. Considerando-se a história natural da espécie é provável que esses insetos foram atraídos pelo álcool presente nas armadilhas, e não pela iluminação artificial.

Campanhas mais amplas de coleta e um estudo mais profundo de alguns grupos taxonômicos importantes poderão dar uma resposta a essas hipóteses. A forte presença no testemunho representa, assim, um típico indício de que o álcool é um indicador do ambiente de forrageamento.

[22] *Xyleborus capipennis*, confronta Flechtmann C.A.H.; Ottati A.L.T.; Berisford C.W. (2000): Comparison of Four Trap Types for Ambrosia Beetles (Coleoptera, Scolytidae) in Brazilian Eucalyptus Stands, Journal of Economic Entomology, V. 93, N 6, pp. 1701-1707(7); José Cola Zanuncio *et al* (2005):Plants of an Eucalyptus clone damaged by *Scolytidae* and *Platypodidae* (*Coleoptera*), Pesq. agropec. bras., Brasília, v.40, n.5, p.513-515.

# Capítulo 6. Conclusões e considerações finais

暗いポイントは　ヘッドライトの下です。

*O lugar mais escuro é debaixo do farol.*
Velho ditado japonês.

.

Este velho ditado japonês pode bem sintetizar a conclusão deste trabalho, pelo duplo sentido que carrega. No seu sentido mais direto, o ditado alerta para o fato óbvio de que um excesso de iluminação ofusca a visão, e acabamos por enxergar menos. É a grande realidade em um mundo no qual grande parte da população não conhece o que é a visão noturna humana, ou, como afirmam os astrônomos, que não se consegue ver a Via Láctea. No sentido metafórico, o ditado, conforme a interpretação de Potter (2007), no comentário a uma gravura de Utagawa Hiroshige (1797–1858), "O jardim das ameixas em Kameido", pode também significar que, com a visão do detalhe, corre-se o risco de perder a visão global; aplicado especificamente aos problemas epidemiológicos, o estudo do detalhe não oferece uma perspectiva real nem no laboratório nem na arte. No mundo real, debaixo do farol, sempre corremos o risco de ser ofuscados pelo excesso de luz. Apesar dos esforços rigorosos da ciência, no laboratório é fácil perder a visão da complexidade das interações entre os vetores e os hospedeiros de doenças.

Neste trabalho tentei exatamente não me deixar ofuscar pela luz do farol, e por isso, fui obrigado a iniciar a análise bem distante, começando pelo sol: a fonte de energia que permitiu o surgimento e a continuação da vida na Terra.

Era necessário conhecer as características da sua radiação e as transformações que ela sofre na parte central, na qual a energia é gerada pelas reações nucleares, até sua chegada na Terra, bem como as transformações que ela sofre na estratosfera, na atmosfera e na profundeza das águas. A radiação que chega à Terra tem suas características moldadas, podemos dizer, por sua interação com a vida terrestre. É diferente da radiação que chega à superfície de Marte, em Vênus, ou em qualquer planeta do sistema solar, não apenas pela distância específica do sol, mas porque ela é filtrada por uma atmosfera criada pela própria biota. Quando, mais de três bilhões de anos atrás, a vida começou a se desenvolver, a atmosfera era uma mistura de gases, como metano, amônia e nitrogênio. O oxigênio, altamente reativo, estava associado ao hidrogênio, em forma de água, ou armazenado em

óxidos. O alto conteúdo de radiação ultravioleta impedia a vida na Terra. Portanto, a vida nasceu e se desenvoveu na água, protegida do excesso de radiação. Com as primeiras formas de vida e o surgimento da fotossíntese, a biota começou a liberar oxigênio na atmosfera, o que deu início à criação de um meio similar àquela que hoje conhecemos. A atmosfera, rica em oxigênio, permitiu um maior aproveitamento da energia armazenada nos carboidratos e começou a acumular uma camada de ozônio na estratosfera, determinando uma barreira à radiação de onda curta, prejudicial à vida.

Apenas no início do Cambriano, quando a atmosfera já era similar à atual, a vida realizou o passo fatídico, saindo da água e iniciando a conquista da terra.

A radiação solar, portanto, não é somente a fonte de energia que permite a visão, mas é, em primeiro lugar, a fonte de energia que alimenta a vegetação, os produtores primários de energia, que alimentam o resto da biota. Apesar de ser a fonte primária de energia, a vegetação aproveita apenas algumas bandas específicas, e esse aproveitamento depende da sua disponibilidade. Não é somente a radiação solar em si que organiza a vida na Terra, mas também o equilíbrio na distribuição dos comprimentos de onda, e a biota percebe seletivamente esses diferentes comprimentos. Além disso, a radiação solar, com a sua alternância de dia e noite, representa o *zeitgeber*, o sinal horário que regula o relógio biológico existente em todos os seres vivos, das algas unicelulares ao homem, programando os ciclos metabólicos.

O equilíbrio sutil de filtragem da energia que provém do sol, e da energia de onda longa irradiada no espaço, garante a temperatura dominante na Terra, hoje comprometida pelo excesso de gás carbônico e outros gases de origem antropogênica que seguram a radiação de onda longa dentro da atmosfera terrestre.

Foi importante ter essa visão global da radiação solar antes de passar a examinar a radiação artificial, porque ela é diferente em relação à radiação natural, tanto na sua irradiância espectral, quanto na sua distribuição no tempo. Foi necessário estudar os sistemas de iluminação artificial para entender o quanto essa radiação é diferente da natural, e quais podiam ser as implicações disto para a biota. Mas, ainda mais importante, foi necessário entender a evolução da disponibilidade da iluminação artificial entre os homens. Durante quase toda a história humana a noite foi intrinsecamente escura, e a escuridão era rompida apenas pela escassa radiação avermelhada de tochas, lumens a óleo e velas. Conforme se relatou, nos últimos duzentos anos a disponibilidade de iluminação artificial aumentou, na Inglaterra, onde existe um estudo específico, mais de sei mil vezes e grande parte do mundo encontra-se agora fortemente iluminado, com um efeito que poderemos chamar de cósmico.

Esse efeito se acentuou nos últimos cinqüenta anos, com a entrada maciça na iluminação de novos modelos de lâmpadas altamente eficientes, mas com um espectro de irradiância muito diferente da radiação natural.

No início da explosão da iluminação artificial externa, apenas os astrônomos se preocuparam com a crescente poluição visual, que impedia a observação das estrelas, mas logo começaram a aparecer indícios de que a iluminação artificial intensa podia também levar a fortes alterações na biota. Mas, quais são os efeitos desse uso crescente da iluminação artificial sobre a biota? Num primeiro momento, surgiram apenas relatos de experiências pessoais, relatos anedóticos, sem testes científicos: aves que, no Hemisfério Norte, anteciparam a época da postura, filhotes de tartaruga que, na eclosão dos ovos, se orientam em direção à terra e não ao mar, tornando-se presa fáceis dos predadores. Surgiram também dúvidas de que a iluminação artificial, rompendo o ciclo circadiano do homem, podia levar a distúrbios metabólicos, insônia e até doenças degenerativas.

Hoje, estudos científicos mais aprofundados confirmaram as primeiras suspeitas e ampliaram a percepção dos riscos de uma iluminação artificial excessiva.

Os estudos científicos sobre os efeitos da iluminação artificial são complexos e exigem, como todos os estudos do meio biológico, tempo e observação continuada, e em geral não se encontram financiadores dispostos a custear estudos que contestam o modo de vida "moderno". Como pequena contribuição ao avanço dos conhecimentos na matéria, realizei uma série de experiências de campo estudando os insetos. Como é sabido, os insetos são fortemente atraídos pela iluminação artificial, mas, experimentando diferentes tipos de lâmpadas e de filtros foi possível confirmar aquilo de que se suspeitava há tempos: com o uso de lâmpadas adequadas, e a utilização de filtros de radiação ultravioleta, que representa o grande atrativo para os insetos, é possível minimizar o impacto sobre esses animais.

Por que estudar os insetos, espécies que olhamos com suspeita, ou até muitas vezes com repulsa? Os artrópodes representam mais de 80% das espécies animais existentes na Terra, e eles estão na base de uma série de transformações, positivas ou negativas. O desaparecimento de um polinizador pode levar uma espécie vegetal à extinção. A atração de um vetor de patógenos pode levar a um surto de enfermidades emergentes. A complexidade da rede trófica é tamanha que não é possível prever com antecedência o significado do desaparecimento, ou do aumento, de uma espécie de inseto que pode até não ser conhecida. O estudo do comportamento dos insetos em relação à iluminação artificial pode nos permitir entender algumas das conseqüências que a explosão descontrolada da iluminação artificial está criando no planeta.

Os resultados dos testes mostraram que, quando o problema do meio ambiente for levado em conta nos projetos de iluminação pública, é possível, com o uso de luminárias, lâmpadas e filtros adequados, minimizar o impacto. Acidentalmente, um bom projeto de iluminação pública que leve em conta o problema ambiental garante, também como subproduto, uma significativa economia de energia elétrica.

Terminado esse rápido resumo do conteúdo do trabalho, resta tecer algumas considerações sobre seu significado. E principalmente sobre o porquê dessa explosão de iluminação externa que está se verificando em todo o mundo.

A principal justificativa pelo aumento da iluminação externa é sem dúvida o velho argumento dos regulamentos que na renascença prescreviam a colocação de tochas fora das casas durante a noite: a segurança. Em um mundo no qual os relacionamentos interpessoais são sempre mais anônimos, a segurança representa sem dúvida a primeira justificativa para a iluminação noturna. Essa justificativa, apesar de em parte fundamentada, nem sempre é necessariamente verdadeira. Estudo do departamento de Justiça dos E.U.A. mostrou como muitas vezes o excesso de iluminação noturna, dando maior segurança aos transeuntes, os expõem a riscos maiores (Darksky Information Sheet 63). Por outro lado, um amplo estudo comparativo realizado pelo departamento do *Home Office* inglês mostra que os resultados das pesquisas sobre o efeito da iluminação pública na redução do crime são contrastantes. Quando os resultados das pesquisas mostram uma correlação positiva entre aumento da iluminação e diminuição do crime, o estudo adiciona uma consideração importante, a redução do crime verifica-se também no período diurno; portanto, na realidade não é o maior controle possível durante a noite que permite a redução do crime, mas o melhoramento do orgulho da comunidade e do controle social que a proporciona. (Farrington e Welsh, 2002).

Em todos os casos, mesmo que o aumento da iluminação gere uma redução do crime, esse fato não justifica os níveis atuais com os quais está sendo realizada. O excesso de iluminação externa ao qual hoje estamos assistindo faz parte de uma motivação inconsciente que nos leva ao que Thoristan Veblen (1899) definiu "*consumo conspícuo*". A disponibilidade de excedente (o consumo conspícuo de um bem) pode representar uma garantia de sobrevivência para uma tribo melanésica, através do *kula* descrito por Bronislaw Malinowsky (1922) nas Ilhas Trobriand, ou de uma tribo da costa noroeste americana, como os Tlingit, os Haida, os Tsimshian, através do *potlache* , estudado por Marcel Maus (1923-24). Mas, para uma sociedade tecnológica, que conquistou o controle da biosfera, o excedente representa, para usar a expressão de Bataille (1967), "*la parte maudite*" (a parte maldita).

A inutilidade da iluminação pública nos atuais níveis, que se manifesta claramente como consumo conspícuo, pode ser ilustrada com um acontecimento recente.

Em 2 de fevereiro de 2007, na apresentação do quarto relatório do *Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas* (IPCC 2007), para destacar o significado de um relatório internacional de cientistas que pela primeira vez reconheciam o preocupante estado da atmosfera terrestre, alguns países resolveram criar um evento que destacasse a data. Em Paris, as autoridades decidiram apagar por 10 minutos a iluminação noturna da torre Eiffel, e em Roma o mesmo aconteceu com a iluminação do Coliseu. A iniciativa, além de assinalar um evento excepcional, a publicação do relatório, tinha também a finalidade de alertar o público para o fato de que um uso mais parcimonioso da iluminação e de outros exageros no uso da energia poderia contribuir para reduzir a progressão rumo às mudanças climáticas.

É paradoxal que as autoridades, conscientes de que a redução do consumo de energia representa provavelmente o passo mais importante para reverter a tendência de aquecimento global, quiseram limitar apenas a 10 minutos de escuridão a manifestação de apoio ao relatório do painel intergovernamental.

A iluminação artificial parece exercer um fascínio incontrolável no homem moderno. O crescimento exponencial do uso da iluminação registrado na Inglaterra encontra paralelismos indiscutíveis (de forma maior ou menor) no resto do mundo.

Se observarmos o mundo atual, com as profundas alterações introduzidas pelo homem no ambiente, é difícil não reconhecer a validade do termo *Antropoceno*, dado à atual era geológica pelo paleontólogo e geólogo italiano Antonio Stoppani (1876), que, já na segunda metade do século 19, considerou que a atividade do homem estava afetando tanto o ambiente que era necessário inventar outro termo para indicar a era geológica na qual estamos vivendo.

Nesse contexto, cada especialista tende a identificar os sintomas dessa nova era geológica na sua área de atuação. Crutzen (2002; 2003) destaca o efeito do homem sobre a atmosfera, identificando como data inicial da nova era geológica a segunda metade do século 18, que coincide com a construção do primeiro motor a vapor por James Watt (1784). Ruddiman (2003), sempre destacando o efeito sobre a atmosfera, prefere retroceder o início do Antropoceno há 8.000 anos, quando, com a agricultura, o homem iniciou, no crescente fértil e no sudeste asiático, o desmatamento sistemático. Outros preferem destacar o efeito global, incluindo o ciclo da água. Pessoalmente me parece que a explosão da iluminação registrada na Terra, apesar de não representar o início do *Antropoceno*, poderia realmente ser

assumida como o símbolo mais evidente dessa nova era geológica na qual o homem conseguiu que a Terra brilhasse com luz própria.

Terminada essa longa discussão sobre os efeitos deletérios dos excessos da iluminação artificial vou apresentar algumas sugestões para minimizar o problema. O Apêndice 2 mostra, de forma mais detalhada, os caminhos que deveriam ser seguidos para realizar instalações de iluminação externa de impacto mínimo.

Os controles do fluxo luminoso e da sua intensidade representam sem dúvida o primeiro passo rumo a instalações compatíveis com o meio ambiente. Quanto maior for o contraste das luminárias, tanto maior será o impacto, no ambiente e também no homem. Fontes intensas de iluminação artificial levam ao ofuscamento da visão e, portanto, a uma perda da visualização do entorno, induzindo o aumento desproporcional de iluminação em outras áreas. Por outro lado, o direcionamento do feixe luminoso, concentrado apenas onde ele se torna efetivamente necessário é o mecanismo mais adequado para reduzir a poluição luminosa no ambiente natural, evitando os impactos negativos sobre animais e plantas.

A modulacão do espectro das luminárias representa o segundo mecanismo básico de controle. A procura por uma maior eficiência na geração de iluminação artificial acabou levando a criação de espetros de irradiância profundamente diferentes dos espectros da radiação natural. A escolha de sistemas de iluminação menos agressivos e o recurso a filtros seletivos de comprimentos de onda permitem, em muitos casos, reduzir drasticamente os efeitos de atração sobre os insetos e em geral sobre os animais.

Provavelmente o caminho mais adequado é a elaboração de normas mais rigorosas, como aquelas que estão sendo desenvolvidas em diferentes países, e em parte recomendadas pela CIE, nas quais sejam levadas em conta as exigências de conforto humano, mas também o impacto sobre o meio ambiente.

É, porém necessário não se deixar iludir por promessas fáceis de "sustentabilidade" que hoje estão na moda, nas quais o aumento da eficiência dos processos e um maior controle ambiental na produção de bens e serviços são divulgados como mecanismos para assegurar a sustentabilidade dos atuais padrões de vida.

Contrariamente ao que parece sugerir Diamond (2005), não acho que normas internacionais e regulamentos que incitem um maior respeito ambiental na produção dos bens sirvam muito para controlar o problema sem uma clara manifestação da população, que afinal é a parte que pede sempre mais iluminação. A produção "sustentável" dos bens e dos serviços serve muito pouco se o consumidor não está consciente da necessidade de reduzir a sua demanda. Diamon (2005) ilustra, no último capítulo de *Colapso*, alguns exemplos de

empresas que, adotando o respeito ao meio ambiente e à pessoa humana, obtiveram uma produção menos agressiva e, graças à publicidade de uma produção sustentável e economicamente justa, conseguiram ampliar a cota de mercado. A Tiffany, em New York, utilizando uma etiqueta de "sustentável", consegue vender a preço mais caro o ouro extraído nas minas do Rio Tinto com "responsabilidade social".

Em uma reflexão mais aprofundada, essas estratégias do politicamente correto lembram muito a venda das indulgências papais que levaram à reforma luterana. Sustentabilidade é, em primeiro lugar, redução do consumo conspícuo. De outra forma seriamos obrigados a definir como sustentável a política do governador da Califórnia, que quer que a tecnologia desenvolva um carro com as características de uma Ferrari, movido por energia renovável, álcool ou hidrogênio. É evidente que o problema da poluição e da degradação ambiental está apenas em parte na produção da gasolina, do álcool ou do hidrogênio. O problema maior está no desejo de usar uma Ferrari para circular a 10 quilômetros por hora no trânsito congestionado de uma grande metrópole.

As raízes do atual problema ecológico não estão apenas nos meios técnicos que utilizamos, mas residem principalmente nos nossos desejos, moldados por uma história biológica de mais de cinco milhões de anos (Pen, 2003). Como escreveu o geneticista James V. Neel (1999), se assumimos que o *gênero Homo* possui uma antiguidade de dois milhões de anos, é claro que por 99,8% da nossa história fomos uma espécie marginal que levou uma vida precária dentro de um ecossistema complexo. O homem é, comparado aos grandes predadores, uma espécie fraca, que chegou próxima à extinção. A grande redução do número de genes presentes na população atual induz estimar que aproximadamente 100.000 anos atrás a população humana era de cerca dois mil adultos, uma quantidade de indivíduos próxima àquela que é hoje a população de gorilas (Flannery, 2007). Com a tecnologia, que representa um componente essencial da cultura, conseguimos nos emancipar de muitas das necessidades materiais. Hoje, com a tecnologia agrícola, com a medicina, com a técnica de geração de energia, estamos em condição de moldar o nosso futuro. Estamos em condição de determinar a dieta, a densidade populacional, a estrutura política e social. Surgem, porém, dúvidas se realmente conseguiremos assegurar um resultado positivo para o "experimento humano".

A experiência do mundo contemporâneo, no qual o controle da fome levou a uma epidemia de obesidade, e a uma pletora de livros e recomendações sobre a dieta, o controle do movimento, com automóveis e aviões, levou a uma epidemia de academias de ginástica, para repor o movimento necessário ao corpo, dos quais o conforto moderno nos privou, leva-me a pensar que é possível, em breve, que os médicos comecem a recomendar aos pacientes

hipertensos algumas horas de escuridão completa para recolocar o relógio biológico humano em harmonia com os ciclos diários do sol e da Terra[23].

[23] Essa afirmação, que pode parecer paradoxal, não é destituída de fundamentos: em setembro 2007 o National Institutes of Health (NIH) dos Estados Unidos concedeu um financiamento de 1,8 milhões de dólares ao Lighting Research Center (LRC) do Rensselaer Polytechnic Institute para o desenvolvimento de um instrumento que permita individualmente medir a quantidade de radiação luminosa recebida ao longo do dia e da noite. Com esse dispositivo, conforme a afirmação de Mark Rea, principal responável do projeto, cada indivíduo estaria em condição de monitorar em tempo real sua exposição de maneira de poder sincronizar os ritmos circadianos. Rensselaer Polytechnic Institute's Lighting Research Center (LRC). Disponível no WWW em http://news.rpi.edu/update.do?artcenterkey=2303&setappvar=page(1) consulta 05/012/2007.

# Obras Citadas


ABBOTT, Edwin [1884] , (1992) **A. Flatland: a romance of many dimensions**, New York, Dover Publications, Inc.,

ALLAN, SA.; DAY, JF.; EDMAN, JD.(1987): Visual Ecology of Biting Flies, **Ann. Rew. Entomol.** 32: 297-316

ALLEN, D.J. ET AL Ozone depletion and increased UV-B radiation: is there a real threat to photosynthesis, **Journal of experimental Botany**, V 49, No 328. pp 1775-1788

ANTIGNUS Y. *et al.* (2000): Ultraviolet-Deficient Greenhouse Environment Affect Whitefly Attraction and Flight-Behavior **Environmental Entomology**, Vol. 30, No 2, pp. 396-399,.

ARIKAWA K. *et al* (1999): Ultraviolet absorbing pigment causes a narrow-band Violet receptor and a single peak receptor in the eye of the butterfly Papilio. **Vision. Research** 39(1999) 1-8.

BAHCALL, JOHN N (1999).: How the Sun Shines, **The Nobel Prize Lecture disponível em :** http://nobelprize.org/physics/articles/fusion/index.html, consulta 18/07/2005

BAKER, R.; SADOVY, Y (1978) The Distance and nature of the light-trap response of mpths, **Nature** 276. 818-821

BARGHINI, A (2003): **Atração dos insetos pela iluminação artificial**, Relatório preparado no Instituto de Eletrotécnica e Energia, da USP, a pedido de Petróleo Brasileiro S.A., Petrobras.

BARGHINI, A.; URBINATTI, P. R.; NATAL, D. (2004) Atração de mosquitos (Diptera:Culicidae) por lâmpadas incandescentes e fluorescentes, **Entomol. Vect.** 11 (4): 611-622,

BARRETT, J. R. JR.; HUBER, R.T.; HARWOOD, F.W. (1973) Selection of lamps for minimal insect attraction, **Trans. Am. Soc. Ag. Eng.** 17 (4) 710-711.

BARRETT, J. R. JR.; KILLOUGH, R.A.; HARTSOK, J.G. (1974): Reducing insect problems in lighted areas, **Trans. Am. Soc. Ag. Eng.**, 18 (2) 329-30

BARRETTO MP, RIBEIRO RD, BELDA NETO FM. (1978) Reservoirs and wild vectors of Trypanosoma cruzi. LXVIII: infection of mammals by oral route **Rev Bras Biol.** 1978; 38(2):455-9.

BATAILLE, G. (1967); **La part maudite**, Edicion de Minuit, Paris

BATTELLI, G.( 1946): **Rationes decimarum Italiae, Latium**, Città del Vaticano.

BEIER, P. (1995): Dispersal of juvenile cougars in fragmented habitat **Journal of Wildlife Management** 59(2): 228-237.

BERGMAN, R.S., PARHAM, T.G.; MCGOWAN, (1995): UV Emission from General Lighting Lamps, **Journal of the Illuminating Society**, Winter pp. 13-24

BERLIN, I. (1978) Marx's Kapital and Darwin, **Journal of the History of Ideas**, Vol. 39, No. 3. (Jul. - Sep., 1978), p. 519. Stable URL: http://links.jstor.org/sici?sici=0022-5037%28197807%2F09%2939%3A3%3C519%3AMKAD%3E2.0.CO%3B2-A

BERSON D, DUNN F, TAKAO M (2002). Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. **Science** 295 (5557): 1070-3.

BERTRAM DS (1971): Attraction of triatomine bug vectors of Chagas's disease to betalights. **Nature**. 1971 May 28; 231(5300):268.

BHATTACHARYA, A., Y. D. MISHRA, *ET AL.* (1995). "Attraction of some insects associated with lac towards various coloured lights." **Journal of Insect Science 8**(2):205-206.

BIRD, B., L. C. BRANCH, AND D. L. MILLER. (2004). "Effects of coastal lighting on foraging behavior of beach mice." **Conservation Biology** 18(5):1435-1439;

BITBO M, LUISI PL (2004): Autopoiesis with or without cognition: defining life at its edge , **J. R. Soc. Interface** (2004) 1, 99–107

BJÖRN, L O ET AL. 1999 Effects of ozone depletion and increased ultraviolet-B radiation on northern vegetation, **Polar Research**, Volume: 18, Number: 2, Pages: 331-337;

BLASK DE, BRAINARD GC, DAUCHY RT, HANIFIN JP, DAVIDSON LK, KRAUSE JA, SAUER LA, RIVERA-BERMUDEZ MA, DUBOCOVICH ML, JASSER SA, LYNCH DT, ROLLAG MD, ZALATAN F.(2006) Melatonin-depleted blood from premenopausal women exposed to light at night stimulates growth of human breast cancer xenografts in nude rats. **Cancer Res.** 2005 Dec 1;65(23):11174-84.

BLOMBERG ).; ITÄMIES, J.; KUUSELA, K. (1976) Insects catches in a blended and balck light-trap in northern Finland, 133.Oikos 27: 57-63.

BOIVIN DB, JAMES FO. (2002): Phase-dependent effect of room light exposure in a 5-h advance of the sleep-wake cycle: implications for jet lag. **J Biol Rhythms**.;17(3):266-76.

BOLTZMANN, LUDWIG ([1866] 1986) La segunda ley de la teoría mecánica del calor, in **Escritos de mecánica y termodinámica**, Alianza Editora, Madrid.

BOMEL, W. J.M. ET AL (2004)

BONCINELLI E. (2000): Il cervello, la mente e l'anima, Le straordinarie scoperte sull'intelligenza umana, Mondadori Editore, Milano

BOURNE R. (1996) The beginnings of electric street lighting in the City of London, **Engineering Science and Education Journal**, April 1996 pp 81-88

BOWER J.(2000): The Dark Side of Light, **Audubon**, March-April 2000, http://magazine.audubon.org/darksideoflight.html, consulta 01/08/05

BOYCE PR. (2006): Lemmings, light and health; **Leukos** 2006; 2: 175-184

BRIGHT, AA JR.; MACLAURIN WR (1943): Economic Factors Influencing Development and Introduction of the Fluorescent Lamp, **Journal of Political Economy**, Vol 51, 1943, pp 429-450.

BRISCOE, A D; CHITTKA, L. (2001): The Evolution of Color Vision in Insects**. Annual Review of Enthomology***,* pp. 471-510.

BROWN, K.S.; GIFFORD, R. D (2004): Lepidotera in the Cerrado Landscape and the Conservation of Vegetation, Soil, and Topographical Mosaics. Oliveira e Marquis, **The Cerrados of Brasil**. New York, Columbia University Press. Pp. 201-221 2004

BRUCE M.J.; HERBETSTEIN, M.E.; ELGAR, M.A. (2001) Signalling conflict between prey and predator attraction, **J . EVOL. BIOL**. 14; 786-794

BURCHFIELD, J D (1975):. **Lord Kelvin and the Age of the Earth**, Chicago, The University, Of Chicago Press.

CAJOCHEN C, ZEITZER JM, CZEISLER CA, DIJK DJ. (2000): Dose-response relationship for light intensity and ocular and electroencephalographic correlates of human alertness. **Behav Brain Res**;115(1):75-83.

CALIFORNIA ENERGY COMMISSION (2004) 2005 Building Energy Efficiency Standards for Residential and Nonresidential Buildings, www.energy.ca.gov/title24 consulta 05/05/05.

CALLAHAN P.S. (1976): **Tuning in to Nature**, Devin-Adair, Old Greenwich, Conn.

CALLAHAN P.S. (1977): Moth and candle: the candle flame and a sexual mimic of the coded infrared wavelenghths from a moth sex scent. **Applied optics**, 16; 12 3089-3097.

CALLAHAN P.S. (1985) Dielectric waveguide modeling at 3.0 cm of the antenna sensilla of the lovebug, Plecia neartica **Applied optics**, - OSA

CAMPBELL SS; DAWSON, D; ANDERSON, MW (1993) Alleviation of sleep maintanance insomnia with timed exposure to bright light, **J Am Geriatr Soc**, 41: 826-836

CAMPBELL, D. T. (1 974). "Evolutionary Epistemology." In **The Philosophy of Karl Popper**, Part 1, . Edited by P. Schilpp. LaSalle: Open Court. Pages 413-463.

CAMPBELL-LENDRUM, DIARMID, PINTO, MARA CRISTINA, DAVIES, CLIVE. (1999): Is Lutzomyia intermedia more Endophagic than Lutzomyia whitmani Because it is more Attracted to Light?. MEM. INST. OSWALDO CRUZ, vol.94, no.1. ISSN 0074-0276. disponível em: www.who.int/tdr/publications/tdrnews/news64/chagas.htm, consulta 25/10/2005

CANDURA PAULO (2003): Visão Humana: Vapores metálicos x Vapor de sódio, **Lume Arquitetura**, V. 1 N° 3, pp. 48-52.

CAYLESS, M.A.; MARSDEN, A.M. **Lamps and Lighting**, 3° edition, London 1983,

CHAGAS, C (1909): Nova tripanozomiase humana: Estudos sobre a morfolojia e o ciclo evolutivo do Schizotrypanum cruzi n. gen., n. sp., ajente etiolojico de nova entidade morbida do homem. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v.1, n.2, p.159-218, ago. 1909.

CHANDRASEKHAR, E (1951): Polarization of the Sunlit Sky, **Nature** 167, 51 - 55 (13 January 1951)

CHANEY, WR **Does Night Lighting Harm Trees?** Purdue University, http://www.ces.purdue.edu/extmedia/FNR/FNR-FAQ-17.pdf, consulta 3/3/2007

CIE TECHNICAL REPORT 13 (1981):**A method for assessing the quality of daylight simulators for colorimetry**, CIE, Paris.

CIE TECHNICAL REPORT 150 (2003): **Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations**, CIE, Vienna 2003.

CINZANO, P., FALCHI, F.; ELVIDGE (2001): The first world atlas of the artificial night sky brightness. **Mon Not R Astron Soc** 328: 689-707.

CLEMENTS, A. N.: **The Biology of Mosquitoes**, Publishing Wallingford Caby 740, Vol. 2. **Sensory Reception and Behaviour**, 1999.

COIMBRA, CARLOS E. A., Jr. (1988) Human Settlements, Demographic Pattern, and Epidemiology in Lowland Amazonia: The Case of Chagas's Disease, **American Anthropologist**, New Series, Vol. 90, No. 1., pp. 82-97.

COMMITTEE ON SCIENCE AND TECHNOLOGY Seventh Report, http://www.parliament.the-stationery-office.co.uk/pa/cm200203/cmselect/cmsctech/747/74702.htm consulta 01/09/2005

CORDULACK, S. W. (2005): A Franco-American Battle of Beams: Electricity and the Selling of Modernity, **Journal of Design History** 2005 18(2):147-166;

CRAIG, C.; BERGARD, G.D (1990) Insect Attraction to Ultraviolet-Reflecting Spider Webs and Web Decorations **Ecology,** Vol. 71, No. 2., pp. 616-623.

CRICK, F.H.C. (1966): The genetic Code: Yesterday, Today, and Tomorrow, **Proceedings of the XXXI Cold Spring Harbor: The Genetic Code**, , New York, pp. 3-9; 1966, in www http://profiles.nlm.nih.gov/SC/B/C/B/T/_/scbcbt.pdf, consulta 6/10/2005.

CUBA, CÉSAR A ET AL. (2002) The Triatomines of Northern Peru, with Emphasis on the Ecology and Infection by Trypanosomes of Rhodnius ecuadoriensis (Triatominae) Mem Inst Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Vol. 97(2): 175-183, March 2002

DACKE MARIE *et al*. (2003): Insect orientation to polarizes moonlight, **Nature** 24 3 jul. 2003, p 33.

DAMASIO, A (1994): **Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain**, Penguin Books, London

DARKSKY (2002): **IDA's Lighting Code Handbook V1.14 Sep 2002**, Version 1.14 December 2000 / September 2002 International Dark-Sky Association, Tucson, http://www.darksky.org/ordsregs/lchintro.html Acesso em 20 outubro 2003

DARKSKY: **Outdoor Lighting Code Handbook**, Version 1.14 December 2000 / September 2002 International Dark-Sky Association, Tucson, ida@darksky.org Acesso em 20 outubro 2003

DARWIN, C. (1859): **The origin of species by means of natural selection**, John Murray, London disponível em http://darwin-online.org.uk/majorworks.html, consulta 1/02/2007.

DARWIN, C. (1985): **The Correspondence of Charles Darwin**, editor F. Burkhart e S. Smith, Cambridge University Press, New York

DARWIN, C. (1987): **Charles Darwin Notebooks, 1836-1844** editor P.H. Barrett, Coronel University Press, Ithaca, N.Y.

DAVIS S, MIRICK DK, STEVENS RG.(2001): Night shift work, light at night, and risk of breast cancer. **J Natl Cancer Inst**. 2001 Oct 17;93(20):1557-62.

DAWKINS, R (1988) **Unweaving the Rainbow, science, delusion and the appetite for wonder**, Boston : Houghton Mifflin

DAWKINS, R. ([1996] 1998): A escalada do monte improvável, Companhia das Letras, São Paulo, trad. Port. de **Climbing mount improbable**, Cambridge University Press, Cambridge.

DAWKINS, R. ([2006] 2007): **The God delusion**, citado na versão portuguesa **Deus, um delírio**, Companhia das letras, São Paulo

DAWKINS, R. (1986): **The Blind Wachmaker: Why the Evidence of Evolution Reveals a Universe Without Design, New** York: Norton.,

DE GROOT JJ; VAN VLIET AJM (1986): **The High-Pressure Sodium Lamp**, MacMillan Education, London.

DECANDIDO,R. (2004) Autumn 2004 Visible Night Migration of Birds at the Empire state Building. New York City, New York. http://www.birderblog.com/bird/Places/NewYork/ESB/ESBFallMigrationReport2004.pdf, consulta 10/03/2006

DECOURSEY, P.J. (2003) Overview of biological timing from unicells to humans; in **Chronobiology: Biological Timekeeping**, Edited by J. C. Dunlap, J. L. Loros, and P. J. pp. 3-24.

DEMIRDES H., VENIN, C; LAGANIER, V. (2005) A proposal for practical elavuation of obstrusive light from outdoor lighting instalations in the design stage, Apresentação no congresso no **Dark-Sky Symposium 2005,– Belgium**, disponível em http://www.astrosurf.com/anpcn/congres/GENK_2005/, consulta 5/10/2006

DENNET D. (1995): **Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life**, Tuchstone, New York,

DENTON, T.A. (1900): **Moths and butterflies of the United States east of the Rocky Mountains**, Vol. 1, The moths, Bradlee Whidden, Boston.

DETHIER, V.G. (1963) **The Physiology of Insect Senses**, London.

DIAMOND J. ([2005] 2006) **Collasso, Como as sociedades escolhem o fracasso ou o sucesso**, trad portugues de **Collapse**, Editora Record , Rio de Janeiro São Paulo Record

DIAMOND, J. ( 2005) **Collapse** Cit Trad Port. Collapso, Record, Rio de Janeiro.

DIAS-LIMA, A.; BERMUDEZ, E. C., MEDEIROS, J. F. et al. (2002): Vertical stratification of phlebotomine sandfly fauna (Diptera, Psychodidae) in a primary non-flooded forest of the Central Amazon, Amazonas State, Brazil. **Cad. Saúde Pública**, maio/jun. 2002, vol.18, no.3, p.823-832.

DILAURA, D. L.(2002) Light´s Measure: A History of Industrial Photometry to 1909, **Leukos**, vol 1, No 3, pp 75-149.

DOS SANTOS TG, DE MELLO GAIA MC, BRAZIL RP (2003): Attraction of sand flies (Diptera: Psychodidae) to light traps in rural áreas of Minas Gerais state, Brazil. **J Am Mosq Control Assoc** 19: 74-78.

DURISCOE A S (2001): Modeling Light Pollution from Population Data and Implications for National Park Service Lands, **The George Wright Forum**, v 18, n 4, 2001, pp. 56-68.

DURISCOE, D. (2001) Preserving pristine night skies in National Parks and the wilderness ethic, **The George Wright Forum**, 18, 4 pp. 30-36.

DUTT G.S.: Illumination and sustainable development, Part I Technology and economics, Part II Implementing lighting efficiency programs, en **Energy for Sustainable Development**, Volume 1, No 1, pp, 23-35 y Volume 1, No 2 pp. 17-27 1994.

DUTT, G.H. 1994: Illumination and sustainable development, Part I: Technology and economics, **Energy for Sustainable Development** Volume 1 No. 1 1 May 1994, 23-35, http://www.ieiglobal.org/ESDVol1No1/illumination.pdf, consulta 11/5/2005

ECOLOGICAL CONSEQUENCES OF ARTIFICIAL NIGHT LIGHTING Congresso internacional realizado em fevereiro 2002, em Los Angeles, http://www.urbanwildlands.org/abstracts.html.

EDDY, J.A.; ISE, R.; MARSHALL, G.C.(1979): A New Sun: The Solar Results from Skylab, National Aeronautics and Space Administration, Washington, D.C.

EDDY, J.E. (1979): **A New Sun: The Solar Results from Skylab**, National Aeronautics and Space Administration, Washington, D.C. 1979, http://history.nasa.gov/SP-402/contents.htm, consulta 10/10/2005

EIBL-EIBESFELDT I.; KRAMER SOL (1958): Ethology, the Comparative Study of Animal Behavior **The Quarterly Review of Biology**, Vol. 33, No. 3. (Sep., 1958), pp. 181-211.

EIGEN M. (1992): Gradini verso la vita. Adelphi Milano.

EISENBEIS, G.; HASSEL, F.(1999): Attraction of nocturnal insects by street lights. **Zoology** 102, Suppl. II 92.1: 81.

EISENBEIS, G.; HASSEL, F.:(2000) Zur Anziehung nachtaktiver Insekten durch Strassenlanternen, [Attraction of nocturnal insects to street lights - a study of municipal lighting systems in a rural area of Rheinhessen] **Natur und Landschaft**, 75, 4: 145-156.

ELTON, A (1958) Gas for light and heat, in Singer, editor, **History of Technology**, Oxford University Press, Oxford 1958 V. 4°, pp258-275.

EPRI/LRO (2002): **Lighting and Human Health**, disponivel in WWW, http://www.lrc.rpi.edu/programs/lightHealth/overview.asp, consulta 06/02/2007

ERNST M. (1886, revised to 1905): **The Analysis of Sensations and the Relation of the Physical to the Psychical**, (1897). Dover Edition, 1959;

EVANS OGDEN, LESLEY J. (1996): **Collision Course: The Hazards of Lighted Structures and Windows to Migrating Birds**, World Wildlife Fund Canada and Fatal Light Awareness Program. Toronto http://www.flap.org/new/ccourse.pdf, consulta 11/10/2004

FELICIANGELI, DORA. M ET. AL (2002): Is Rhodnius robustus (Hemiptera:Reduviidae) responsible for Chagas disease transmission in Western Venezuela, **Tropical Medicine and International Health**, V.7, No 3 pp.280-287, março 2002.

FEYNMAN, R.P. (1983) **The Feynman lectures on physics**, Redwood City, Calif. Addison-Wesley, 3 v.

FLANNERY T (2007): **The Weather Makers: how man is changing the climate and what it means for life on earth**, Atlantic Monthly Press, New York.

FLORIDA POWER COMPANY (2002) **Coastal Roadway Lighting Manual. A Handbook of Practical Guidelines for Managing Street Lighting to Minimize Impacts to Sea Turtles,** Juno Beach, Florida 2002.

FOUQUET, R; PEARSON, P.J.G.(2003) **Long Run Trends in Energy Services: The Price and Use of Light in the United Kingdom (1500-2000)**, Centre for Energy Policy and Technology, Imperial College London, September 2003 http://www.eeg.tuwien.ac.at/teaching/courses/download/373012/fouguet&pearson-light.pdf Consulta 10/2/2006

FRANK, K. D. (1988). "Impact of outdoor lighting on moths: An assessment." **Journal of the Lepidopterists' Society 42**(2):63-93.

FRISCH, K. VON (1914-1915):Der Farben und Formensinn der Bienen: Zoologische Jarbücher (Physiologie) 35, 1-188, (1914-15). (The bee's sense of colour and shape.)

FRISCH, K. VON (1973): Autobiography, The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1973 disponível em http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1973/frisch-autobio.html, consula 10/10/2007.

FRISCH, K. VON (1949):Die Polarisation des Himmelslichtes als orientierender Faktor bei den Tänzen der Bienen: **Experientia** (Basel) 5, 142-148 (1949). (The polarisation of skylight as a means of orientation during the bee's dances.)

FRISCH, K. VON (1955): **The dancing bees: an account of the life and senses of the honey bee** New York : Harcourt, Brace.

FRSCH, K. VON (1971): **Bees: their vision, chemical senses, and language**, Ithaca, NY, Corbel University Press.

FYHRQUIST, N.(1999): **Spectral and thermal proprieties of amphibian visual pigments related to molecular structure**, Dissertationes Biocentri Wiiki Uniniversitatis Helsingiensis, Helsinki.

GALLO, DOMINGOS (1988): **Manual de entomologia agrícola**, Octavio Nakano, Sinval Silveira Neto. Edição 2. ed. São Paulo : Agronomica Ceres.

GAMOW, G (1954): Possible relation between deoxiribonucei acid and protein structure, **Nature** 173: 318.

GEGENFURTNER, KARK, R.; KIPER, DANIEL C. (2003) Color Vision, **An. Rev. Neurosci** 2003: 26: 181-206.

GERAQUE, E.: Infecções freqüentes **Agência FAPESP**, disponível em http://www.agencia.fapesp.br/boletim_dentro.php?data[id_materia_boletim]=3597 consulta 10/08/05

GÓES DE, ROB (2004): **Os duendes de seis patas e a cidade mutante**, Geração Editorial, São Paulo,

GOETHE, W (s.d.), **Fausto**, Tradução de Jenny Klabin Segall, Companhia Editora Nacional, São Paulo.

GOLDSMITH TH (1990): Optimization, constraint, and history in the evolution of eyes, **Quat. Rev. Biol** 65, 3, pp. 281-322., 1990.

GOLDSMITH TH (1994): Ultraviolet receptors and color vision: evolutionary implications and the dissonance paradigm, **Vision Res**. 1994 Jun; 30(11): 1479-87.

GOLDSMITH, T H The visual system of insects, in ROCKSTEIN, **The Physiology of Insecta**, Academic Press, New York, London, vol 2 pp.165-272. 1974

GOLDSMITH, TH (1992): Photoreception and Vision, in PANZER **Neural Animal Physiology**, pp. 171-245.

GOULD J.L. E; GOULD C.G. (1988): **The Honey Bee**, The Scientific American Library, New York.

GOULD, S.J. (1981), **The Mismeasure of Man**. New York: W.W. Norton & Co.

GOULD, S.J. (1993): **Eight Little Piggies** New York-London W.W. Norton & Company

GREGORY, R. L.; H. E. ROSS, H. E.; MORAY N(1964) The curious eye of Copilia, **Nature**, 201, 4925, 1166.

GREGORY, R.L. (1963): **Eye and Brain. The psychology of seeing**, Oxford University Press, Oxford

GREGORY, R.L; WALLACE, J.G (1963): Recovery from Early Blindness. A Case Study, **Experimental Psychology Society Monograph No. 2** , disponível em http://www.richardgregory.org/papers/recovery_blind/recovery-from-early-blindness.pdf, consulta 08/02/2004

GUIMARAES, Anthony Érico, GENTILE, Carla, LOPES, Catarina Macedo *et al*.(2000): Ecology of mosquitoes (Diptera: Culicidae) in areas of Serra do Mar State Park, State of São Paulo, Brazil. III - daily biting rhythms and lunar cycle influence. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, Nov./Dec. 2000, vol.95, no.6, p.753-760.

GUREVITZ, J. M.; CEBALLOS, L. A.; KITRON, U.; GÜRTLER, R. E. (2006): Flight Initiation of Triatoma infestans (Hemiptera: Reduviidae) Under Natural Climatic Conditions **Journal of Medical Entomology**, Volume 43, Number 2, March 2006, pp. 143-150(8)

HAHLWEG K. (1986): Popper versus Lorenz: An Exploration into the Nature of Evolutionary Epistemology; **Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association**, Vol. 1986,Volume One: Contributed Papers. (1986), pp. 172-182. disponível em Stable URL: http://links.jstor.org/sici?sici=0270-8647%281986%291986%3C172%3APVLAEI%3E2.0.CO%3B2-E, consulta 11/12/2004.

HALDER, G., CALLAERTS, P. GEHRING, W.J. (1995a). "New perspectives on eye evolution." **Curr. Opin. Genet. Dev**. 5 (pp. 602 –609).

HALDER, G., CALLAERTS, P. GEHRING, W.J. (1995b). "Induction of ectopic eyes by targeted expression of the eyeless gene in Drosophila". **Science** 267 (pp. 1788–1792).

HARRISON, H.S. (1958) Fire-making, fuel and lighting. In Singer, editor, **History of Technology**, Oxford University Press, Oxford 1958, V. 1°, pp.216-237.

HASEGAWA, K *et al* (1997) The Paramecium circadian clock: synchrony of changes in motility, membrane potential, cyclic AMP and cyclic GMP, **Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology** Volume 181, Number 1 / June, 1997

HEALTH COUNCIL OF THE NETHERLANDS (2000): **Impact of outdoor lighting on man and nature**. The Hague: Health Council of the Netherlands, publication no. 2000/25E.

HEBERT E., REESE E.(1995): **Avian Collision and Electrocution: An Annotated Bibliography;** California Energy Commission October 1995 Publication Number: P700-95-001 http://www.safewind.info/pdf/avian_collision.pdf consulta 05/08/05

HERBERT E; (1970) Spatial Disorientation in Birds, **The Wilson Bulletin** Volume 82, Number 4 December 1970 400-419 http://elibrary.unm.edu/sora/Wilson/v082n04/p0400-p0419.pdf consulta 10/08/2005

HEWITT H.; WESTON, H.C. (1961): **Atlas Lighting**, Atlas Lighting Ltda, London 1961

HEYERS D, MANNS M, LUKSCH H, GÜNTÜRKÜN O, MOURITSEN H (2007) A Visual Pathway Links Brain Structures Active during Magnetic Compass Orientation in Migratory Birds. **PLoS ONE** 2(9): e937

HIENTON, T.E. (1974) **Summary of investigations of Electric Insect Traps**, Technical Bulletin No. 1498, Agricultural Research Service, Washington 1974.

HORVÄTH G (1995): Reflection-Polarization Patterns of flat Wather Surfaces and their Relevance for Insects Polarization Vision, **J. theor. Biol**, 175, pp 27-37

HSU R, BRISCOE AD, CHANG BSW, PIERCE NE. (2001): Molecular Evolution of a Long Wavelength-Sensitive Opsin in Mimetic Heliconius Butterflies (Lepidoptera: Nymphalidae). **Biological Journal of the Linnean Society** 72(3): 435-449 2001.

HUNTLEY W. B. (1972): David Hume and Charles Darwin **Journal of the History of Ideas**, Vol. 33, No. 3, Festschrift for Philip P. Wiener (Jul. - Sep., 1972), pp. 457-470

HUXLEY, T (1863): Evidence as to Man's Place in Nature, Disponível em www. http://www.gutenberg.org/etext/2931, consulta 15/5/2007.

HUXLEY, T. ([1879] 1902): **Hume**, MacMillan, London, disponível in www. http://infomotions.com/etexts/gutenberg/dirs/1/8/8/1/18819/18819.htm, consulta 7/02/2005

IEA (International Energy Agency) (2002): **Word Outlook**, Energy and poverty, pp. 365-392, http://www.iea.org/Textbase/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=989, acesso 10/10/2004

IESNA (1951):Illuminating Engeneering Society of North America **Lighting Handbook**, 2° edition, New York ,

IESNA (1971) Illuminating Engeneering Society of North America **Lighting Handbook**, 5° edition, New York 1971,

IESNA (1993) ILLUMINATING ENGENEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA **Lighting Handbook**, 8° edition, New York 1993,

IESNA (1999a) ILLUMINATING ENGENEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA **Lighting Handbook**, *9°* edition, New York 1999,

IESNA (1999b) Outdoor Environment Lighting Committee, "Lighting for Exterior Environments", RP-33-99, New York: Illuminating Engineering Society of North America 1999

INTERNATIONAL DARK-SKY ASSOCIATION (2002) Outdoor Lighting Code Handbook, http://www.darksky.org

IPCC INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2007): **Climate Change 2007: The Physical Science Basis** disponível em: http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html cosulta 10/08/2007

IWAMOTO, M. *et al* (2003) Hypo-osmotic or Ca2+-rich external conditions trigger extra contractile vacuole complex generation in Paramecium multimicronucleatum. J. **Exp. Biol**. **206**, 4467-4473

JAMISON D T; BREMAN J G, MEASHAM A R, ALLEYNE G, CLAESON M; EVANS B D; JHA P; MILLS A; MUSGROVE P (2006): Disease Control Priorities in Developing Countries (second edition), Oxford University Press and The World Bank, Washington, http://files.dcp2.org/pdf/DCP/DCPFM.pdf, consulta 22/04/2006

JAN H. F. REMME, PIET FEENSTRA, P. R. LEVER, ANDRÉ MÉDICI, CARLOS MOREL, MOUNKAILA NOMA, K. D. RAMAIAH, FRANK RICHARDS, A. SEKETELI, GABRIEL SCHMUNIS, W. H. VAN BRAKEL, AND ANNA VASSALL, (2006) Tropical Diseases Targeted for Elimination: Chagas Disease, Lymphatic Filariasis, Onchocerciasis, and Leprosy. **Disease Control Priorities in Developing Countries** (2nd Edition),ed. , 433-450. New York: Oxford University Press. DOI: 10.1596/978-0-821-36179-5/Chpt-22. disponível em http://files.dcp2.org/pdf/DCP/DCP22.pdf, consulta 12/02/2007

JANZEN, D. H. (1983): Insects, in **Costa Rican natural history** / edited by Daniel H. Janzen, Chicago : University of Chicago Press.

JANZEN, D. H.(1975): **Ecology of Plants in the Tropics, London**, Edward Arnold, 1975, Trad port. **Ecologia vegetal nos trópicos**; São Paulo, Epu, 1980.

JASSER SA, BLASK DE, BRAINARD GC. (2006): Light during darkness and cancer: relationships in circadian photoreception and tumor biology.**Cancer Causes Control**. 2006 May;17(4):515-23. Review.

JONES J, FRANCIS C M: 2003 The effects of light characteristics on avian mortality at lighthouses, Journal of Avian Biology 2003 34:4 328

JONES, R. *ET AL* 2003 :Alternatives to Fuel-Based Lighting in Rural China, http://eetd.lbl.gov/emills/PUBS/PDF/RL6%20ID058-final.pdf consulta 12/04/2006

KALTENRIEDER N. *et al* (1989) Spectral sensitivity, absolute threshold, and visual field of two tick species, Hyalomma dromedarii and Amblyomma variegatum. **J Comp Physiol [A].** 1989;165(2):155-64.

KANT, I. (1998) **Critique of Pure Reason**, ed. and trans. P. Gruyer and A.W. Wood, Cambridge: Cambridge University Press.

KELVIN W. T., (1862) On the Age of the Sun's Heat," **Macmillan's Magazine**, 288--293 (March 5, 1862).

KENDALL, M; SCHOLAND, M (2001): **Energy Savings Potential of Solid State Lighting in General Lighting Applications**, U.S. Department of Energy, 2001, disponível em http://www.eere.energy.gov/buildings/info/documents/pdfs/ssl_final_report3.pdfwith , consulta 10/02/2005

KREIT F; KREIDER, JF (1978): **Principles of Solar Energy**, Hemisphere Publishing Corporation, Washinghton.

KRINSKY, I.N; LANDRUM, J.T.; BONÉ, R.A. (2003) Biological Mechanisms of the Protective Role of Lutein and Zeaxanthin in the Eye, **Annu. Rev. Nutr**. 2003, 23: 171-201.

LAMBERT, CRIS; JONES, LINDA Basic Photophysics, in **The Digital Photobiology Compendium**, http://www.Photobiology.info/learnmodules/photophysics01.asp consulta: 22/12/2003.

LAMBRECHTS S.M; ROTHWELL A.L. JR. 1996 A study of UV Protection in Lighting, **Journal of the Illuminating Engineering Society**, Summer 1996, pp 104-112.

LAND, M.; FERNALD. R. D.(1992) The evolution of eye, **Annu. Rev. Neusci**. 1992, 15, 1-29

LAND, M.F. (1997): Visual Acuity in Insects, **Annual Review of Entomology**, Vol. 42: 147-177

LAND, MF (1999) Motion and vision: why animals move their eyes, **J. Comp. Physiol. A:** V 185, N 4, pp: 341 - 352

Lei N 7034 de 13 de Fevereiro 1997, do estado da Bahia, Proíbe uso de fonte de iluminação que ocasione intensidade luminosa superior a zero lux tendo em vista proteger as tartarugas marinhas no litoral norte.

LEIBROCK, C.S.; REUTER, T.; LAMB, T.D. (1998) Molecular basis of dark adaptation in road photoreceptors, **Eye** 12, 511-520.

LEPRINCE, J.A.; ORENSTEIN, A.J.(1916): **Mosquito control in Panamá**, New York, Putnam's Sons 1916.

LEROI-GOURHAN, A. (1973) : **Milieu et Tecniques**, Édicions Abin Michel, Paris 1973.

LESLEY J. E. O. (1996) **Collision Course: The Hazards of Lighted Structures and Windows to Migrating Birds**, Published by World Wildlife Fund Canada and the Fatal Light Awareness Program. September 1996.

LEWONTIN, R (2000) **It ain't Necessary So: The Dream of Human Genome and Other Illusions**, The NewYirk Review of Books, New York.

LEWONTIN R.C. (1959) On the Anomalous Response of Drosophila pseudoobscura to Light *The American Naturalist*, Vol. 93, No. 872. (Sep. - Oct., 1959), pp. 321-328. Stable URL: http://links.jstor.org/sici?sici=0003-

0147%28195909%2F10%2993%3A872%3C321%3AOTAROD%3E2.0.CO%3B2-Q consulta 12/12/2005

LEWONTIN, ROSE & KAMIN (1984) **Biology, Ideology and Human Nature: Not In Our Genes** Pantheon Books.

LINDAUER, M ( 1994) **Messaggio senza Parole**, trad. It. **De Botschaft ohne Worte**, Mondadori-De Agostini, Milano.

LINHARES, ALEXANDRE DA COSTA coord. **Saúde na Amazônia**, ANPES, são Paulo 1983

LISCUM E (2002) Phototropism: Mechanisms and Outcomes. In CR Somerville, EM Meyerowitz, eds, **The Arabidopsis Book**. American Society of Plant Biologists, Rockville, MD, sisponível em: http://www.aspb.org/publications/arabidopsis/, consulta 1/02/2007

LIU, J.; DIETZ, T.; CARPENTER, S.R.; ALBERTI, M.; FOLKE, C.; MORAN, E.; PELL, A.N.; DEADMAN, P.; KRATZ, T.; LUBCHENCO, J.; OSTROM, E.; OUYANG, Z.; PROVENCHER, W.; REDMAN, C.L.; SCHNEIDER, S.H.; TAYLOR, W.W. (2007): Complexity of Coupled Human and Natural Systems; **Science** 14 September 2007, Vol. 317. no. 5844, pp. 1513 - 1516

LONGCORE, T; RICH. C (2004): Ecological light pollution, **Front. Ecol Environ**; 2004; 2(4) 191-198

LORENZ, K. ([1938] 1972) Taxia y acción institiva en el movimento de rodar los huevos por el ganso silvestre, *In* **El comportamiento animal y humano**, Plaza & Janés Editores, Barcelona, pp. 453-502, pub. Orig. In **Zeitschrift für Tierpsychologie**, R. II, vol. 1, 1938

LORENZ, K. (1941). "Kant´s Lehre vom apriorischen im Lichte gegen wartiger Biologie". Blatter fur Deutsche Philosophie 15: 94-125. Trad ingl. "Kant's Doctrine of the A Priori in the Light of Contemporary Biology." I n **General Systems: Yearbook of the Research**, Volume V I I . Edited by L. von Bertalanffy and A. Rapoport. (trans.) Charlotte Ghurye. Ann Arbor: Society for General Systems Research, 1962. Pages 23-35 .)

LORENZ, K. (1974): **L'altra faccia dello specchio, Per una storia natuale della conoscenza**, Il Saggiatore, Milano 1974.

LORENZ, K. (1978) **Vergleichende Verhalttensforshung: Grundlagen der Ethologie**, Springer-Verlag, Vienna 1978.

LOSEY, J; VAUGHAN, M (2006): The Economic Value of Ecological Services Provided by Insects, **BioScience** Vol. 56 No. 4 pp. 311-323

LOTKA, A.J. (1922) Contribution to the Energetics of Evolution **PNAS**, 8: 147-151

LOVELOCK, J.E (1988) **The Ages of Gaia. A biography of Our Living Earth**, Oxford University Press, Oxford.

LOVELOCK, J.E. Gaia. **A New Look at Life on Earth**, Oxford University Press, Oxford 1979.

MACKECHINE J. (1958) The distribuition and utilization of electricity, in Singer editor **History of Technology**, Oxford University Press, Oxford, 1958, v 5, pp. 208-234.

MALINOWSKI, B. (1922): **Argonauts of the Western Pacific**. E.P. Dutton & Co. Inc.:New York.

MANN,(1987): **Secondary Metabolism**, Oxford University Press, Oxford 1987.

MATURANA, H.; VARELA, F ([1973] 1980). **Autopoiesis and Cognition: the Realization of the Living.** Robert S. Cohen and Marx W. Wartofsky (Eds.), Boston Studies in the Philosophy of Science 42. Dordecht: D. Reidel Publishing Co.

MAUS, M (1923-24): Essai sur le don, forme arquäique de l'échange, **Année sociologique**, II.

MAYNARD SMITH, JOHN; SZATHMÁRY EÖRS (1999) **The origins of life. From the Birth of Life to the Origins of Language**, Cambridge University Press, Cambridge.

MAYR, E. (2001): The Philosophical Foundations, **Proceedings of the American Philosophical Society**, 145;. 4, pp 488-495, disponível em http://www.aps-pub.com/proceedings/1454/409.pdf, consulta 23/05/2005

MAZOKHIN-PORSHNYAKOV, G. (1969) **A. Insect vision**. (trad. Ingl.) Plenum Press, New York, 1969

MCCLUNG CR, SALOMÉ PA, MICHAEL TP (2002) The Arabidopsis Circadian System. In CR Somerville, EM Meyerowitz, eds, **The Arabidopsis Book.** American Society of Plant Biologists, Rockville, MD, doi: 10.1199/tab.0044, http://www.aspb.org/publications/arabidopsis/

MCGOWAN, T. (1989): Energy-Efficient lighting, in JOHANSSON, T.B.; BODLUND, B.; WILLIAM R.H. (eds) **Electricity**, Lund University Press Lund.

MCILWAIN, JAMES T **An introduction to the Biology of Vision**, Cambridge University Press, Cambridge 1996.

MEYER, JOHN R.: **General Entomology Course Tutorial**, Department of Entomology NC State University, 2002, http://www.cals.ncsu.edu:8050/course/ent425/tutorial/index.html, 3/2/2004.

MILLER, THOMA, **Insect Vision**. University of California Riverside Insect Physiology ENT173 Course Notes http://www.faculty.ucr.edu/~insects/pages/teachingresources/tmlectures/vision.html

MILLS, E (2005) The $230-billion Global Lighting Energy Bill, Expanded from version published in the Proceedings of the 5th International Conference on Energy-Efficient Lighting, May 2002, Nice, France. http://eetd.lbl.gov/EMills/PUBS/PDF/Global_Lighting_Energy.pdf consulta 7/10/2005

MILLS, E 2005 : The Specter of Fuel-Based Lighting, **Science** 27 May 2005: Vol. 308. no. 5726, pp. 1263 - 1264, http://www.sciencemag.org/cgi/reprint/308/5726/1263.pdf , supporting Online Material, http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/308/5726/1263/DC1 , consulta 10/12/2005

MINISTERIE VAN VERKEER EN WATERSTAAT (1999) **Falls of migrant birds An analysis of current knowledg**e 15 November 1999 http://www.luchtvaartbeleid.nl/nr/dglresource/upload/RLD%20138%20-%20Falls%20of%20migrant%20birds.pdf consulta 12/08/05

MITHEN, S. J. (1996). **The Prehistory of the Mind: The Cognitive Origins of Art, Religion and Science**. Cambridge: Cambridge University Press.

MOLENAAR, J.G. DE (2005): The impact of lighting on nature, palestra no **Dark-Sky Symposium 2005, Genk – Belgium**, disponível em http://www.astrosurf.com/anpcn/congres/GENK_2005/, consulta 5/10/2006

MÖLLER, R. (2002): Insects could exploit UV-Green contrast for landmark navigation, **Journal of Theoretical Biology**, V. 214, N° 4 2002, 619-631

MUIR *et al* (1992), Aedes aegypti (Diptera: Culicidae) Vision: response to stimuli from the optical environment, **Jour. Med. Entomo**., 29, 3, 445-450.

MUIR *et al*(1992): Aedes aegypti (Diptera: Culicidae) Vision: spectral sensitivity and other perceptual parameters of the Female eye, **Journ. Med. Entomol**. 29,2, 278-281.

MUMFORD, L. (1961) **The city in history: its origins, its transformations, and its prospects**, London : Secker & Warburg, 1961

MUTWIWA UN, BORGEMEISTER C, VON ELSNER B, TANTAU HJ (2005): Effects of UV-absorbing plastic films on greenhouse whitefly (Homoptera: Aleyrodidae). **J Econ Entomol.** 2005 Aug; 98(4):1221-8.

NABLI, H; BAILEI, W.C.;NECIBI, S. (1999) Beneficial Insect Attraction to Light with different Wavelenghts, **Biological Control**, 16, 185-188.

NASA http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap001127.html, consulta 10/08/05

NASA: **A New Sun: The Solar Results From Skylab**, disponiível em http://history.nasa.gov/SP-402/, consulta 26/10/2004.

NAVIGANT CONSULTING INC. (2003) **Energy Savings Potential of Solid State Lighting, in General Illumination Applications**, Prepared for: Building Technologies Program; Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy disponível em http://www.netl.doe.gov/ssl/PDFs/SSL%20Energy%20Savi_ntial%20Final.pdf, consulta 10/02/2005

NBR IEC 60589-1 (1999)

NEEL, J.V (1999): When some fines old genes meet a 'New' environment, World Rew Nutr. Diet. Base, Krager, V. 84 pp. 1-8.

NEMA (NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION), **White Paper on Outdoor Lighting Code Issues**. http://www.nema.org/products/div2/Outdoor.pdf, 2000

NEMHAUSER J, CHORY J (2002) Photomorphogenesis. In CR Somerville, EM Meyerowitz, eds, **The Arabidopsis Book**. American Society of Plant Biologists, Rockville, MD, doi: 10.1199/tab.0054, http://www.aspb.org/publications/arabidopsis/

NEVES, W; PILÓ, L (2008): *O povo de Luzia: em busca dos primeiros* americanos ; Editora Globo, Rio de Janeiro 2008

NEW J.,COSMIDES L., TOOBY J. (2007):Category-specific attention for animals reflects ancestral priorities, not expertise**, PNAS** October 16, 2007 vol. 104  no. 42 pp.16598–16603

NICHOLSON, I. (1983) **The Sun**, Mitchell Beazley Publishers, London

NIEUWENHOUT, F.D.J; WIGGELINKHUIZEN, R.J. VAN DER PLAS (1998): Rural Lighting Services: A Comparison of Lamps for Domestic Lighting in Developing Countries http://www.ecn.nl/docs/library/report/1998/rx98035.pdf, consulta

NLPIP (2004) Light pollution, **NLPIP**, Vol 7 Issue 2, disponível em http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/lightpollution/abstract.asp, consulta 15/10/2007.

OLIVEIRA P.E.; GIBBS, P.E. (2004) Polination and Reproductive Biology in Cerrado Plant Communities, in Oliveira e Marquis, **The Cerrados of Brasil**. New York, Columbia University Press. 329-350

ORANSKY I (2005): Closing Bell: Please Stop, You're Interfering With My Research **The Scientist** 19 (12):60

PAIETA J (1982): Photooxidation and the Evolution of Circadian Rhytmicity, **J. Teor. Biol**. (1982) 97, 77-82

PARISINOU, E. (2000) Lighting the World of Women: Lamps and Torches in the Hands of Women in the Late Archaic and Classical Periods, **Greece & Rome** 2nd Ser., Vol. 47, No. 1 (Apr., 2000), pp. 19-43

PAS, F. (2005): Lighting Projects in Sint-Niklaas. **Dark-Sky Symposium 2005**, Genk, Belgium Disponível em http://www.astrosurf.com/anpcn/congres/GENK_2005/abstractNiklaas.html

PASOLINI, P. P.: (1975) Il vuoto del potere, ovvero L'articolo delle lucciole Corriere della sera 1° fev 1975, reproduzido em **Scritti Corsari**, consulta 2/09/2005 http://www.pasolini.net/saggistica_scritticorsari_lucciole.htm

PAULEY SM.(2004): Lighting for the human circadian clock: recent research indicates that lighting has become a public health issue. **Med Hypotheses**; 63(4):588-96.

PENN, DJ (2003) The Evolutionary Roots of Our Environmental Problems: Toward a Darwinian Ecology, **The Quarterly Review of Biology**, Vol. 78, No. 3. pp. 275-301.

PICHAUD F, BRISCOE A, AND DESPLAN C.. Evolution of Color Vision. **Current Opinion in Neurobiology** 9: 622-627, 1999.

PIERCE, JOHON R. **An introduction to information theory: symbols, signal and noise**, II ed. Dover, New York 1980.

PINKER, S. (2002 **The Blank Slate**, citado da trad. It. Tabula Rasa, Milano, Mondadori Editore 2005.

POINCARÉ, H (1902): **La Science et l'hypothèse**, Flammarion, edição eletrônica http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/philo/textesph/Scienceetmethode.pdf, consulta 15/08/2007

POINCARÉ, H (1908): **Science et méthode**, Flammarion – 1908; edição eletrônica, http://abu.cnam.fr/cgi-bin/donner_html?scihyp2, consulta 11/05/2006

POTTER, P (2007): The Darkest Place Is under the Light House **Emerging Infectious Diseases** Volume 13, Number 4–April 2007

PRIGOGINE, ILYA (1984) **Order out of chaos: man's new dialogue with nature**, Toronto; New York, N.Y. : Bantam Books,

PROVENCIO I, JIANG G, DE GRIP W, HAYES W, ROLLAG M (1998). "Melanopsin: An opsin in melanophores, brain, and eye". **Proc Natl Acad Sci U S A** 95 (1): 340-5.

RAMACHANDRAN V. (2003): **The Emerging Mind**, BBC - Radio 4 - Reith Lectures 2003, Disponível em http://www.bbc.co.uk/radio4/reith2003/lecturer.shtml, consulta xxx

RAMACHANDRAN, V.S. (1998) Phantoms in the Brain: Probing the Mysteries of the Human Mind, Quill William Morrow,

RAMSEY KR; MARCHEVA, B; KOHSAKA, A BASS J (2007): The Clockwork of Metabolism **Annual Review of Nutrition**Vol. 27: 219-240

REE, H (2005) Studies on Anopheles sinensis, the vector species of vivax malaria in Korea **The Korean Journal of Parasitology**, Vol. 43, No. 3. 75-92, September 2005

REFLECTEK RepelGro Metallic UV Reflective Mulch for Vegetable Crops http://www.repelgrow.com.prod02.htm (06/01/2004)

REISENMAN C. E.; INSAUSTI, T. C.; LAZZARI, C. R. (2002) Light-induced and circadian changes in the compound eye of the haematophagous bug Triatoma infestans (Hemiptera: Reduviidae) **The Journal of Experimental Biology** 205, 201-210 (2002)

REITER RJ. (2002): Potential biological consequences of excessive light exposure: melatonin suppression, DNA damage, cancer and neurodegenerative diseases. **Neuro Endocrinol Lett**.;23(5-6):385-6

RIZZOLATTI, G.; SINIGAGLIA, C. (2006) **So quel che fai. Il cervello che agisce e i neuroni specchio**, Raffaello Cortina Editore, Milano

ROB DE GÓES (2002): **Os Duendes de Seis Patas e a Cidade Mutante**, Geração editorial, São Paulo

ROHDE E.([1890] 1970) **Psyche. Seelencult und Unsterblichkeitsglaube dês Grichen**, consultado na versão italiana Laterza, Bari Roma

ROJAS, A., VINHAES, M., RODRIGUEZ, M. *et al*. (2005): Reunião Internacional sobre Vigilância e Prevenção da Doença de Chagas na Amazônia: implementação da Iniciativa Intergovernamental de Vigilância e Prevenção da doença de Chagas na Amazônia. **Rev. Soc. Bras. Med. Trop**. [online]. Jan./Feb. 2005, vol.38, no.1 [cited 10 August 2005], p.82-89. Available from World Wide Web: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0037-86822005000100022&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0037-8682

ROLAND, C.; WEIDMAN, P.: Proposal for an iron tower: 300 metres in height, **Architectural Research Quarterly**, V. 8 I. 3-4 - Dec 2004 8: 215-245

ROMAN, A; CINZANO, P; GIACOMETTI, G; GIULINI, P (2000): Light Pollution and Possible Effects on Highter Plants, **Memorie della Societá Astronomica Italiana** V 71 N. 1 p 59-71

RØRSLETT B (2006): **Flowers in Ultraviolet, Arranged by Plant Family**, disponível in www, http://www.naturfotograf.com/UV_TARA_VUL.html#top , consulta 3 janeiro 2007

ROSA, AMÉLIA P. A. TRAVASSOS DA; VASCONCELOS, PEDRO F. C,; ROSA, JORGE F. S. TRAVASSOS (1998): **An overview of arbovirology in Brazil and neighbouring countries** Belém : Instituto Evandro Chagas.

ROTHENBERGER, RR (1993): **Lighting Indoor House Plants** Agricultural publication G06515 -- Reviewed October 1, 1993 University of Missouri-Columbia, http://zone10.com/Tech/Lighting/PlantLighting.htm, consulta 3/3/2007

RUNKLE, G. (1961): Marxism and Charles Darwin; **The Journal of Politics**, Vol. 23, No. 1. (Feb., 1961), pp. 108-126. Stable URL: http://links.jstor.org/sici?sici=0022-3816%28196102%2923%3A1%3C108%3AMACD%3E2.0.CO%3B2-F

SACKS, O (1995): **An Anthropologist in Mars: seven paradoxical tales**, trad Port. Um antropólogo em Marte : sete histórias paradoxais; São Paulo, Companhia das Letras, 1996

SAHLINS, M. (1977)**The Use and Abuse of Biology: An Anthropological Critique of Sociobiology**;London: Tavistock.

SALOMÓN, O. D. *ET AL* (1999) Presence of Panstrongylus rufotuberculatus (Champion, 1899) (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) in Argentina **Mem Inst Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, Vol. 94(3): 285-288, May/Jun. 1999

SALVINI-PLAWEN, L.V.; MAYR, E. (1977): On the Evolution of Photoreceptors and Eyes, In **Evolutionary biology**. (eds M.K. Hecht; W.C. Steere, B. Wallace) New York, Plenum, 10, 207-63, 1977.

SANDERSON, K. (2007): Birds may 'see' magnetic north. Study links migratory navigation systems in the eyes and the brain. news@nature.com. Published online: 26 September 2007; | doi:10.1038/news070924-5 disponível em http://www.nature.com/news/2007/070924/pf/070924-5_pf.html, consulta 25 setembro 2007.

SANDERSON, K.; KIRKLEY D. (1998). "Yearly activity patterns of bats at Belair National Park in Adelaide, South Australia." **Australian Mammalogy** 20:369-375.

SARQUIS OTÍLIA *ET AL* (2004) Epidemiology of Chagas disease in Jaguaruana, Ceará, Brazil. I. Presence of triatomines and index of Trypanosoma cruzi infection in four localities of a rural area, **Mem. Inst. Oswaldo Cruz** vol.99 no.3 Rio de Janeiro May 2004

SAUNDERS, DAVID Ultra-Violet Filters for Artificial Light Sources, **National Gallery Technical Bulletin** Vol 13, 1989

SAYRE RM, DOWDY JC, POH-FITZPATRICK M (2004): Dermatological Risk of Indoor Ultraviolet Exposure from Contemporary Lighting Sources. **Photochemistry and Photobiology**, Vol. 80, No. 1 pp. 47–51

SCHERNHAMMER ES, SCHULMEISTER K.(2004): Melatonin and cancer risk: does light at night compromise physiologic cancer protection by lowering serum melatonin levels? **Br J Cancer**. Mar 8;90(5):941-3.

SCHIVELBUSCH, W. (1987) The Policing of Street Lighting, **Yale French Studies**, No. 73, **Everyday Life**, pp. 61-74

SCHIVELBUSCH, W. (1988): **Disenchanted Night The Industrialization of Light in the Nineteenth Century.** Translated by Angela Davies. Berkeley: University of California Press.

SCHMITZ, H; BLECKMANN H. (1998): The photomechanic infrared receptor for the detection of forest fires in the beetle Melanophila acuminata (Coleoptera: Buprestidae) Journal of Comparative Physiology A; V 182, N 5 647-657 SMITH, A (1795), **History of Astronomy** Glasgow Edition of the Works and Correspondence Vol. 3 Essays on Philosophical Subjects [1795], disponível em http://oll.libertyfund.org//files/201/Smith_0141.04.pdf, consulta 15/03/2005

SCHOFIELD,CJ Trypanosoma cruzi The Vector-parasite Paradox, **Mem Inst Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, Vol. 95(4): 535-544, Jul./Aug. 2000

SCHRÖDINGER, E. (1962): **What is life? : The physical aspect of the living cell**, Cambridge, University Press.

SERVICE, M.W. **Mosquito Ecology Field Sampling Methods**, Edição 2nd ed. London; New York : Elsevier Applied Science, 1993.

SHANNON, CLAUDE ELWOOD **The mathematical theory of communication** Urbana University of Illinois Press, 1949 The first paper is reprinted from the Bell System technical journal, July and October, 1948.

SILBERGLIED RE (1979): Communication in the Ultraviolet, **Annual Review of Ecology and Systematics**, Vol. 10: 373-398

SMITH, A. (1759): **The Theory of Moral Sentiments**; (GLASGOW EDITION OF WORKS, VOL. 1) (1759), disponível em http://oll.libertyfund.org//files/192/Smith_0141.01.pdf, consulta 03/01/2005)

SMITH, G.S. (2007) The polarization of skylight: An example from nature, **Am. J. Phys**. 75 No. 1, January 2007, pp 25-35

SNOW, C. P. (Charles Percy) ([1959] 1988), **Two cultures**, Cambridge, Cambridge University Press.

SPICCIARELLI, R (2004): **La psiche del frassino**, Roma , Consiglio Regionale della Basilicata, Potenza 2004

SRINIVASAN MV, ZHANG SW (2004)Visual motor computations in insects, **Annual Review of Neuroscience**, 2004,. 27, pp. 679-696

STANLEY, DAVID **Insect Physiology**, notes for the course in Entomology 401/801, university of Nebraska, http://entomology.unl.edu/ent801/ent801home.html

STEIN, R.G. (1977) **Arquiteture and Energy**, Anchor Press, New York

STEVEN R. J.(1989): Hominid Use of Fire in the Lower and Middle Pleistocene: A Review of the Evidence, **Current Anthropology**, Vol. 30, No. 1. (Feb., 1989), pp.1-26.

STEVENS RG.(2005): Circadian disruption and breast cancer: from melatonin to clock genes. **Epidemiology**. Mar;16(2):254-8.

STEVENS, R G., REA M.(2001), Light in the Built Environment: Potential role of Circadian Disruption in Endocrine Disruption and Breast Cancer, **Cancer Causes and Control**, Volume 12, Issue 3, Apr 2001, Pages 279 – 287.

STILES, W.S. (1948): The physical interpretation of the spectral sensitivity curve of the eye, **Transactions of the optical convention of the worshipful company of spectacles makers**, 97-107, Spectacle Makers'Co. London.

STOPPANI, A. ([1875] 1920), **Il Bel Paese. Conversazioni sulle bellezze naturali la geologia e la geografia fisica d' Italia**. Torino, Società editrice internazionale.

STRYER L (1996): Vision: From Photon to Perception **PNAS**, V. 93, N. 2, pp. 557-559

SULLIVAN, J. Anthocyanin, http://www.Charlies-web.com/specialtopics/anthocyanin.html 12/01/2004

SWHWIND R (1991): Polarization vision in water insects and insect living in moist substrate, **J. Compar Physiol** A 169: 531-540.

SZENTKIRÁLYI F (2002): Fifty Years-Long Insect Survey in Hungary: T. Jeremy´s Contribution to Ligght-Trapping, **Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae**, (supl. 1), pp 85-105.

TEIXEIRA A., *et al*. (2001): Research - Emerging Chagas Disease: Trophic Network and Cycle of Transmission of Trypanosoma cruzi from Palm Trees in the Amazon **Emerging Infectious Diseases** Vol. 7, No. 1, January–February 2001, pp. 100-112, http://www.cdc.gov/ncidod/eid/vol7no1/pdfs/teixeira.pdf consulta 10/08/05

TINBERGEN, N (1974): **Curious Naturalists**, Penguin Books, Harmondsworth

TRAVASSO AMÉLIA P.A. DA ROSA, VASCONSELOS, PEDRO F.C.; TRAVASSO, JORGE F.S. DA ROSA: **An overview of Arbovirology in Brasil and neighbouring countries**, Belém 1998.

TRINKLEIN, DAVID H: **Flowers and houseplants** http://muextension.missouri.edu/explorepdf/agguides/hort/g06515.pdf, Consulta 3/3/2007;

TSAO, J.Y (2002)**Light Emitting Diodes (LEDs) for General Illumination**, Sandia National Laboratories, disponível em http://lighting.sandia.gov/lightingdocs/OIDA_SSL_LED_Roadmap_Full.pdf, consulta 10/02/2005

TURRO, NICHOLAS J.; LAMOLA ANGELO A. Photochemestry, in SMITH, editor **The Science of Photobiology**, Plenum, pp 63-86.

UEXKÜL, J. VON (s.d.) **Dos animais e dos homens** Livros do Brasil, Lisboa, sem data.trad. port. de **Steifzuge durch die Umwelten von Tieren und Menschen**.

VAMOSI JC, KNIGHT TM, STEETS JA, MAZER SJ, BURD M, ASHMAN TL. (2006): Pollination decays in biodiversity hotspots. **Proc Natl Acad Sci** Jan 24;103(4):956-61.

VAN DER PLAS, ROBERT; DE GRAAFF, A.B. 1988: **A Comparison of Lamps for Domestic Lighting in Developing Countries**, The World Bank, Industry and Energy Department Working Paper, Energy Series Paper No. 6, Washington 1988. http://www-wds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/1999/08/15/000009265_3960928135927/Rendered/PDF/multi_page.pdf

VAN SOMEREN EJ, KESSLER A, MIRMIRAN M, SWAAB DF.(1997): Indirect bright light improves circadian rest-activity rhythm disturbances in demented patients. **Biol Psychiatry**. 1997 1;41(9):955-63.

VEBLEN T (1899): **The Theory of the Leasure class,** Disponível no www in http://socserv2.mcmaster.ca/%7Eecon/ugcm/3ll3/veblen/leisure/index.html consulta 07/05/2005

VERHEIJEN, F. J. (1958). "The mechanisms of the trapping effect of artificial light sources upon animals." **Netherlands Journal of Zoology 13**:1-107.

VIVIANI, V. (2001) Fireflies (Coleoptera: Lampyridae) from Southeastern Brazil: Habitats, Life History, and Bioluminescence Journal: **Annals of the Entomological Society of America** Volume: 94 Issue: 1 Pages: 129-145

VIVIANI, VADIM R; BECHERA, ETELVINO J.H. Bioluminiscence of Brasilian Fireflies (Coleóptera: Lampyridae): Spectral distribution and ph effect on luciferase-elicited colors. **Photochemestry and Photobiology**, Vol 62. No 3, pp 490-495, 1995.

WALD, G. (1959) Life and Light, **Scientific American**, 1959, vol. 201, p.92-108

WALD, G. ARTIGO IN PNAS

WALD, G; RAYPORT, S (1977) Vision in Annelid Worms **Science** 24 June 1977: Vol. 196. no. 4297, pp. 1434 - 1439

WALKER; GALBREATH (1979) Collecting insects at lights: a test of four types of lamp, **New Zealand Entomologist**, 1979, Vol. 7, No. 1 83-85en

WALLACE, A.R. (1870) *The Limits of Natural Selection as Applied to Man*, **in Contributions to the Theory of Natural Selection**, London 1870.

WALLACE, A.R. (1869) Sir Charles Lyell on Geological Climates and the Origin of Species, **Quarterly Review**, april 1

WALTER, A.; POJO DO ROGO, I.; FERREIRA, A. J.; ROGIER, C. (2005) Risk factors for reinvasion of human dwellings by sylvatic triatomines in northern Bahia State, Brazil Fatores de risco para re-infestação de domicílios por triatomíneos silváticos no norte do Estado da Bahia, **Cad. saúde pública**; 21(3):974-978, disponível em: http://www.scielosp.org/pdf/csp/v21n3/34.pdf, consulta 7/10/2005.

WANG H, DENG XW (2002) Phytochrome Signaling Mechanism*. In CR Somerville, EM Meyerowitz, eds, **The Arabidopsis Book**. American Society of Plant Biologists, Rockville, MD, doi: 10.1199/tab.0074.1, http://www.aspb.org/publications/arabidopsis/

WANG,HAIYANG; DENG, XING WANG 2002 Phytochrome Signaling Mechanism, in **The Arabidopsis Book**, Editors: Somerville, C; Meyerowitz, E; http://www.bioone.org/archive/1543-8120/18/1/pdf/i1543-8120-18-1-1.pdf, consulta 5/03/2007.

WEHNER, R. (1976) Polarized-Light Navigation by Insects, **Scientific American** V. 235 (1) 106-155

WEHR TA, GIESEN HA, MOUL DE, TURNER EH, SCHWARTZ PJ. (1995): Suppression of men's responses to seasonal changes in day length by modernartificial lighting. **Am J Physiol**. 1995

WEITZ, C.J.; NATHANS, J. Rodopsin activation. **Biochemistry** 32 14172-4182

WHITE PAPER (1995): Rural England - **A Nation Committed To A Living Countryside**, London HMSO 1995.

WHITE PAPER (1996) of the Office of the Deputy Prime Minister: **Lighting in the Countryside: Towards Good Practice**. London HMSO 1995 http://www.odpm.gov.uk/stellent/groups/odpm_planning/documents/page/odpm_plan_606163.hcsp consulta 02/09/2005

WHO (2005): Control of Chagas Disease Second report of the WHO Expert Committee disponível em: .whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_905.pdf, consulta 11/07/2005.

WIKIPEDIA CONTRIBUTORS, 'Gas lighting', Wikipedia, The Free Encyclopedia, 19 April 2006, 08:46 UTC, <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Gas_lighting&oldid=49136419> [accessed 8 May 2006]

WILLEMS, H (2005):VELUWE, dark and quiet Province of Gelderland, palestra no **Dark-Sky Symposium 2005,** Genk – Belgium , disponível em http://www.astrosurf.com/anpcn/congres/GENK_2005/, consulta 5/10/2006

WITHERINGTON, B.E.; MARTIN, R.E.: (1996) **Understanding, Assessing and Resolving Light-Pollution Problems on Sea Turtle Nesting Beaches**, Florida Department of Environmental Protection, FMRI Technical Report TR-2, Miami 1996.

WITHERS, P C (1992) **Comparative Animal Physiology**, Saunders College Publishing, Orlando,

WORLD BANK (2006) **World Energy Outlook 2002- Energy and Poverty**, Washington DC

WORLD BANK 2001 :Peri-Urban Electricity Consumers- A Forgotten but Important Group: What Can We Do to Electrify Them? Energy Sector Management Assistance Programme ESMAP Report 249/01 http://www-wds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/2002/02/09/000094946_02012504153166/Rendered/PDF/multi0page.pdf, consulta 10/02/2005.

ZELEDON R, UGALDE JA, PANIAGUA LA. (2001) Entomological and ecological aspects of six sylvatic species of triatomines (Hemiptera, Reduviidae) from the collection of the National Biodiversity; Institute of Costa Rica, Central America. **Mem Inst Oswaldo Cruz**.; 96(6):757-64.

ZELEDÓN, R.; RABINOVICH, J. E. (1981): Chagas' Disease: An ecological Appraisal With special Emphasis on its Insect Vector, **Ann. Rev. Entomol.** 1981. 26: 101-

# Apêndice I

## Documentação das coletas

A série de tabelas aqui reproduzida representa a tabulação dos dados das coletas totais e se encontra dividida por grande grupo taxonômico, contendo cada uma as principais variáveis estatísticas, quais sejam: número de indivíduos coletados por dia; total de indivíduos por campanha e total geral, incluindo o cálculo da média, desvio padrão e intervalo de confiança. As tabelas, também, contêm o valor do teste t, mostrando quando a diferença entre as amostras não pode ser atribuída ao acaso.

A título de resumo, a tabela teste t sintetiza o resultado das estatísticas por grupo taxonômico, indicando com 1 quando existe diferença positiva entre suas séries, e 2 quando existe uma diferencia negativa entre duas séries. Os valores da estatística de cada situação devem ser verificados nas tabelas individuais de cada grupo taxonômico.

**Araneae**

| Data | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| 16/03/05 | 0 | 1 | | 0 | 1 |
| 18/03/05 | 0 | 1 | | 0 | 0 |
| 23/03/05 | 5 | 0 | | 4 | 0 |
| 24/03/05 | 1 | 0 | | 1 | 0 |
| 29/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 31/03/05 | 0 | 0 | | 1 | 0 |
| 05/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 06/04/05 | 2 | 0 | | 0 | 0 |
| 12/04/05 | 0 | 1 | | 1 | 1 |
| 13/04/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 19/04/05 | 2 | 2 | | 0 | 0 |
| 20/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 27/04/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/04/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 03/05/05 | 1 | 0 | | 2 | 0 |
| 04/05/05 | 0 | 2 | | 0 | 0 |
| 06/05/05 | 0 | 0 | | 1 | 0 |
| 10/05/05 | 1 | 1 | | 1 | 0 |
| 11/05/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 13/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 17/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 18/05/05 | 0 | 0 | | 1 | 0 |
| 01/06/05 | 1 | 1 | | 0 | 0 |
| 07/06/05 | 0 | 1 | | 0 | 0 |
| 08/11/05 | 3 | 4 | | 0 | 0 |
| 11/11/05 | 0 | 0 | | 3 | 0 |
| 12/11/05 | 1 | 0 | | 1 | 2 |
| 17/11/05 | 0 | 2 | | 0 | 0 |
| 18/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 22/11/05 | 1 | 0 | | 2 | 2 |
| 24/11/05 | 2 | 3 | | 4 | 1 |
| 25/11/05 | 2 | 2 | | 7 | 1 |
| 29/11/05 | 1 | 1 | | 1 | 2 |
| 01/12/05 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 02/12/05 | 1 | 0 | 4 | 3 | 2 |
| 24/03/06 | 1 | 3 | 0 | 3 | 2 |
| 31/03/06 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 05/04/06 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| 07/04/06 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 11/04/06 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| 12/04/06 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 18/04/06 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 19/04/06 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 20/04/06 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 |
| 26/04/06 | 1 | 2 | 18 | 3 | 0 |
| 27/04/06 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28/04/06 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Primeira campanha | | | | | |
| Total | 27 | 22 | | 30 | 10 |
| Média | 0,82 | 0,67 | | 0,91 | 0,30 |
| Desvio | 1,10 | 1,02 | | 1,57 | 0,64 |
| Intervalo confiança | 0,38 | 0,35 | | 0,54 | 0,22 |
| Segunda campanha | | | | | |
| Total 2006 | 12 | 12 | 28 | 18 | 8 |
| Média 2006 | 0,86 | 0,86 | 2,00 | 1,29 | 0,57 |
| Desvio 2006 | 0,66 | 1,10 | 4,76 | 1,20 | 1,02 |
| Intervalo confiança | 0,35 | 0,58 | 2,49 | 0,63 | 0,53 |
| Total coletas | | | | | |
| Total geral | 39 | 34 | | 48 | 18 |
| Média geral | 0,83 | 0,72 | | 1,02 | 0,38 |
| Desvio geral | 0,99 | 1,04 | | 1,47 | 0,77 |
| Intervalo confiança | 0,28 | 0,30 | | 0,42 | 0,22 |

Valor do Teste t

| | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| Hg | | 2,79E-01 | | | |
| Na | | | 1,84E-01 | | |
| Hg_f | | | | 2,73E-01 | |
| Na_f | | | | | 1,30E-03 |

**Blattodea**

| Data | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| 16/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 18/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 23/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 24/03/05 | 0 | 1 | | 0 | 0 |
| 29/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 31/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 05/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 06/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 12/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 13/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 19/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 20/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 27/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 03/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 04/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 06/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 10/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 11/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 13/05/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 17/05/05 | 0 | 1 | | 0 | 0 |
| 18/05/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 01/06/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 07/06/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 08/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 11/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 12/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 17/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 18/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 22/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 24/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 25/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/11/05 | 0 | 0 | | 1 | 0 |
| 01/12/05 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 02/12/05 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 24/03/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 31/03/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 05/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 07/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26/04/06 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28/04/06 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Primeira campanha | | | | | |
| Total | 3 | 2 | | 1 | 0 |
| Média | 0,09 | 0,06 | | 0,03 | - |
| Desvio | 0,29 | 0,24 | | 0,17 | - |
| Intervalo confiança | 0,10 | 0,08 | | 0,06 | - |
| Segunda campanha | | | | | |
| Total 2006 | 4 | 1 | - | 2 | - |
| Média 2006 | 0,29 | 0,07 | - | 0,14 | - |
| Desvio 2006 | 0,61 | 0,27 | - | 0,36 | - |
| Intervalo confiança | 0,32 | 0,14 | - | 0,19 | - |
| Total coletas | | | | | |
| Total geral | 7 | 3 | | 3 | - |
| Média geral | 0,15 | 0,06 | | 0,06 | - |
| Desvio geral | 0,42 | 0,25 | | 0,25 | - |
| Intervalo confiança | 0,12 | 0,07 | | 0,07 | - |

Valor do Teste t

| | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| Hg | | 7,98E-02 | | | |
| Na | | | 1,68E-01 | | |
| Hg_f | | | | 8,24E-02 | |
| Na_f | | | | | 4,16E-02 |

**Coleoptera**

| Data | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| 16/03/05 | 20 | 16 | | 3 | 1 |
| 18/03/05 | 21 | 11 | | 0 | 0 |
| 23/03/05 | 10 | 3 | | 1 | 0 |
| 24/03/05 | 24 | 6 | | 1 | 0 |
| 29/03/05 | 11 | 10 | | 0 | 1 |
| 31/03/05 | 9 | 3 | | 1 | 3 |
| 05/04/05 | 13 | 3 | | 0 | 2 |
| 06/04/05 | 21 | 8 | | 1 | 1 |
| 12/04/05 | 25 | 17 | | 4 | 3 |
| 13/04/05 | 58 | 38 | | 5 | 6 |
| 19/04/05 | 14 | 12 | | 1 | 1 |
| 20/04/05 | 36 | 11 | | 2 | 1 |
| 27/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/04/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 03/05/05 | 0 | 2 | | 0 | 0 |
| 04/05/05 | 1 | 3 | | 1 | 0 |
| 06/05/05 | 7 | 4 | | 2 | 0 |
| 10/05/05 | 20 | 24 | | 2 | 2 |
| 11/05/05 | 8 | 10 | | 3 | 5 |
| 13/05/05 | 21 | 26 | | 4 | 3 |
| 17/05/05 | 19 | 10 | | 4 | 5 |
| 18/05/05 | 19 | 22 | | 4 | 8 |
| 01/06/05 | 12 | 2 | | 1 | 1 |
| 07/06/05 | 6 | 3 | | 0 | 0 |
| 08/11/05 | 14 | 2 | | 3 | 3 |
| 11/11/05 | 3 | 1 | | 0 | 0 |
| 12/11/05 | 7 | 4 | | 1 | 1 |
| 17/11/05 | 29 | 10 | | 7 | 4 |
| 18/11/05 | 14 | 14 | | 7 | 5 |
| 22/11/05 | 22 | 17 | | 4 | 10 |
| 24/11/05 | 27 | 16 | | 11 | 6 |
| 25/11/05 | 35 | 40 | | 11 | 4 |
| 29/11/05 | 19 | 12 | | 3 | 1 |
| 01/12/05 | 23 | 6 | 8 | 19 | 5 |
| 02/12/05 | 35 | 12 | 6 | 15 | 3 |
| 24/03/06 | 31 | 13 | 12 | 7 | 1 |
| 31/03/06 | 9 | 2 | 2 | 2 | 0 |
| 05/04/06 | 8 | 8 | 8 | 7 | 6 |
| 07/04/06 | 20 | 2 | 5 | 2 | 0 |
| 11/04/06 | 40 | 4 | 15 | 5 | 1 |
| 12/04/06 | 33 | 4 | 10 | 8 | 4 |
| 18/04/06 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 19/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20/04/06 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26/04/06 | 62 | 8 | 34 | 0 | 8 |
| 27/04/06 | 48 | 12 | 10 | 8 | 1 |
| 28/04/06 | 8 | 4 | 7 | 1 | 2 |
| Primeira campanha | | | | | |
| Total | 546 | 360 | | 87 | 77 |
| Média | 16,55 | 10,91 | | 2,64 | 2,33 |
| Desvio | 12,15 | 10,09 | | 2,91 | 2,59 |
| Intervalo confiança | 4,21 | 3,50 | | 1,01 | 0,90 |
| Segunda campanha | | | | | |
| Total 2006 | 325 | 75 | 118 | 74 | 31 |
| Média 2006 | 23,21 | 5,36 | 8,43 | 5,29 | 2,21 |
| Desvio 2006 | 18,95 | 4,60 | 8,65 | 5,92 | 2,61 |
| Intervalo confiança | 9,92 | 2,41 | 4,53 | 3,10 | 1,37 |
| Total coletas | | | | | |
| Total geral | 871 | 435 | | 161 | 108 |
| Média geral | 18,53 | 9,26 | | 3,43 | 2,30 |
| Desvio geral | 14,62 | 9,13 | | 4,16 | 2,57 |
| Intervalo confiança | 4,22 | 2,64 | | 1,20 | 0,74 |

Valor do Teste t

| | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| Hg | | 1,95E-06 | | | |
| Na | | | 7,90E-02 | | |
| Hg_f | | | | 1,39E-01 | |
| Na_f | | | | | 2,22E-02 |

**Collembola**

| Data | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| 16/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 18/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 23/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 24/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 31/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 05/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 06/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 12/04/05 | 1 | 2 | | 0 | 0 |
| 13/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 19/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 20/04/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 27/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 03/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 04/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 06/05/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 10/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 11/05/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 13/05/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 17/05/05 | 0 | 2 | | 0 | 0 |
| 18/05/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 01/06/05 | 1 | 1 | | 0 | 0 |
| 07/06/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 08/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 11/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 12/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 17/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 18/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 22/11/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 24/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 25/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 01/12/05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/12/05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24/03/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 31/03/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 05/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 07/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Primeira campanha | | | | | |
| Total | 9 | 5 | | 0 | 0 |
| Média | 0,27 | 0,15 | | - | - |
| Desvio | 0,45 | 0,51 | | - | - |
| Intervalo confiança | 0,16 | 0,18 | | | |
| Segunda campanha | | | | | |
| Total 2006 | - | - | - | - | - |
| Média 2006 | - | - | - | - | - |
| Desvio 2006 | - | - | - | - | - |
| Intervalo confiança | | | | | |
| Total coletas | | | | | |
| Total geral | 9 | 5 | | - | - |
| Média geral | 0,19 | 0,11 | | - | - |
| Desvio geral | 0,40 | 0,43 | | - | - |
| Intervalo confiança | 0,11 | 0,12 | | | |
| Valor do Teste t | | | | | |
| | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
| Hg | | 1,26E-01 | | | |
| Na | | | | | |
| Hg_f | | | | | |
| Na_f | | | | | |

**Dermaptera**

| Data | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| 16/03/05 | 1 | 0 | | 1 | 0 |
| 18/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 23/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 24/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 31/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 05/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 06/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 12/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 13/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 19/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 20/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 27/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 03/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 04/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 06/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 10/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 11/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 13/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 17/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 18/05/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 01/06/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 07/06/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 08/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 11/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 12/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 17/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 18/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 22/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 24/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 25/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 01/12/05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/12/05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24/03/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 31/03/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 05/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 07/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26/04/06 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 27/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Primeira campanha | | | | | |
| Total | 2 | 0 | | 1 | 0 |
| Média | 0,06 | - | | 0,03 | - |
| Desvio | 0,24 | - | | 0,17 | - |
| Intervalo confiança | 0,08 | - | | 0,06 | - |
| Segunda campanha | | | | | |
| Total 2006 | - | 1 | - | - | - |
| Média 2006 | - | 0,07 | - | - | - |
| Desvio 2006 | - | 0,27 | - | - | - |
| Intervalo confiança | - | 0,14 | - | - | - |
| Total coletas | | | | | |
| Total geral | 2 | 1 | | 1 | - |
| Média geral | 0,04 | 0,02 | | 0,02 | - |
| Desvio geral | 0,20 | 0,15 | | 0,15 | - |
| Intervalo confiança | 0,06 | 0,04 | | 0,04 | - |

Valor do Teste t

| | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| Hg | | 2,85E-01 | | | |
| Na | | | 1,68E-01 | | |
| Hg_f | | | | - | |
| Na_f | | | | | - |

**Diptera**

| Data | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| 16/03/05 | 9 | 5 | | 3 | 0 |
| 18/03/05 | 4 | 6 | | 1 | 1 |
| 23/03/05 | 4 | 5 | | 5 | 0 |
| 24/03/05 | 12 | 14 | | 6 | 0 |
| 29/03/05 | 22 | 15 | | 3 | 0 |
| 31/03/05 | 5 | 6 | | 1 | 1 |
| 05/04/05 | 14 | 4 | | 3 | 2 |
| 06/04/05 | 20 | 8 | | 2 | 0 |
| 12/04/05 | 22 | 34 | | 4 | 1 |
| 13/04/05 | 54 | 48 | | 13 | 1 |
| 19/04/05 | 41 | 44 | | 2 | 0 |
| 20/04/05 | 65 | 60 | | 2 | 1 |
| 27/04/05 | 13 | 5 | | 2 | 1 |
| 29/04/05 | 8 | 0 | | 1 | 0 |
| 03/05/05 | 18 | 9 | | 1 | 0 |
| 04/05/05 | 19 | 12 | | 3 | 0 |
| 06/05/05 | 11 | 11 | | 0 | 1 |
| 10/05/05 | 8 | 20 | | 3 | 0 |
| 11/05/05 | 11 | 20 | | 1 | 1 |
| 13/05/05 | 17 | 15 | | 2 | 1 |
| 17/05/05 | 40 | 36 | | 1 | 0 |
| 18/05/05 | 34 | 31 | | 1 | 0 |
| 01/06/05 | 5 | 15 | | 2 | 0 |
| 07/06/05 | 16 | 14 | | 2 | 0 |
| 08/11/05 | 13 | 14 | | 11 | 5 |
| 11/11/05 | 17 | 16 | | 7 | 5 |
| 12/11/05 | 38 | 43 | | 13 | 9 |
| 17/11/05 | 6 | 15 | | 2 | 14 |
| 18/11/05 | 5 | 16 | | 1 | 13 |
| 22/11/05 | 24 | 21 | | 5 | 8 |
| 24/11/05 | 29 | 21 | | 8 | 1 |
| 25/11/05 | 2 | 8 | | 2 | 1 |
| 29/11/05 | 13 | 9 | | 5 | 5 |
| 01/12/05 | 10 | 13 | 3 | 7 | 2 |
| 02/12/05 | 15 | 2 | 3 | 5 | 7 |
| 24/03/06 | 11 | 2 | 8 | 1 | 2 |
| 31/03/06 | 25 | 15 | 7 | 1 | 3 |
| 05/04/06 | 46 | 16 | 23 | 12 | 1 |
| 07/04/06 | 42 | 9 | 32 | 4 | 9 |
| 11/04/06 | 24 | 4 | 6 | 3 | 1 |
| 12/04/06 | 37 | 12 | 16 | 14 | 0 |
| 18/04/06 | 53 | 33 | 13 | 32 | 5 |
| 19/04/06 | 36 | 25 | 12 | 25 | 13 |
| 20/04/06 | 51 | 15 | 26 | 6 | 11 |
| 26/04/06 | 56 | 16 | 16 | 11 | 2 |
| 27/04/06 | 26 | 5 | 14 | 6 | 0 |
| 28/04/06 | 46 | 13 | 31 | 8 | 6 |
| Primeira campanha | | | | | |
| Total | 619 | 600 | | 118 | 72 |
| Média | 18,76 | 18,18 | | 3,58 | 2,18 |
| Desvio | 14,96 | 14,35 | | 3,38 | 3,72 |
| Intervalo confiança | 5,18 | 4,97 | | 1,17 | 1,29 |
| Segunda campanha | | | | | |
| Total 2006 | 478 | 180 | 210 | 135 | 62 |
| Média 2006 | 34,14 | 12,86 | 15,00 | 9,64 | 4,43 |
| Desvio 2006 | 15,71 | 8,65 | 9,72 | 8,97 | 4,20 |
| Intervalo confiança | 8,23 | 4,53 | 5,09 | 4,70 | 2,20 |
| Total coletas | | | | | |
| Total geral | 1.097 | 780 | | 253 | 134 |
| Média geral | 23,34 | 16,60 | | 5,38 | 2,85 |
| Desvio geral | 16,61 | 13,06 | | 6,21 | 3,96 |
| Intervalo confiança | 4,80 | 3,77 | | 1,79 | 1,14 |

Valor do Teste t

| | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| Hg | | 4,15E-04 | | | |
| Na | | | 2,55E-01 | | |
| Hg_f | | | | 7,24E-02 | |
| Na_f | | | | | 3,78E-03 |

**Hemiptera**

| Data | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| 16/03/05 | 15 | 4 | | 1 | 0 |
| 18/03/05 | 2 | 4 | | 1 | 0 |
| 23/03/05 | 4 | 8 | | 2 | 0 |
| 24/03/05 | 6 | 13 | | 3 | 0 |
| 29/03/05 | 7 | 11 | | 1 | 0 |
| 31/03/05 | 5 | 8 | | 0 | 0 |
| 05/04/05 | 4 | 6 | | 0 | 0 |
| 06/04/05 | 8 | 6 | | 1 | 0 |
| 12/04/05 | 9 | 14 | | 2 | 0 |
| 13/04/05 | 16 | 13 | | 1 | 1 |
| 19/04/05 | 3 | 9 | | 1 | 0 |
| 20/04/05 | 5 | 7 | | 3 | 0 |
| 27/04/05 | 0 | 1 | | 0 | 0 |
| 29/04/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 03/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 04/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 06/05/05 | 0 | 1 | | 0 | 1 |
| 10/05/05 | 2 | 1 | | 1 | 0 |
| 11/05/05 | 3 | 6 | | 0 | 0 |
| 13/05/05 | 6 | 2 | | 0 | 1 |
| 17/05/05 | 10 | 5 | | 1 | 0 |
| 18/05/05 | 5 | 12 | | 1 | 1 |
| 01/06/05 | 2 | 1 | | 2 | 0 |
| 07/06/05 | 2 | 0 | | 0 | 0 |
| 08/11/05 | 2 | 3 | | 0 | 0 |
| 11/11/05 | 4 | 0 | | 1 | 0 |
| 12/11/05 | 1 | 1 | | 1 | 1 |
| 17/11/05 | 5 | 10 | | 1 | 0 |
| 18/11/05 | 5 | 7 | | 1 | 0 |
| 22/11/05 | 10 | 4 | | 1 | 1 |
| 24/11/05 | 12 | 14 | | 2 | 1 |
| 25/11/05 | 18 | 12 | | 5 | 0 |
| 29/11/05 | 6 | 3 | | 1 | 0 |
| 01/12/05 | 31 | 6 | 7 | 6 | 0 |
| 02/12/05 | 18 | 3 | 4 | 7 | 0 |
| 24/03/06 | 11 | 5 | 3 | 1 | 0 |
| 31/03/06 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 05/04/06 | 4 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| 07/04/06 | 7 | 5 | 3 | 0 | 0 |
| 11/04/06 | 20 | 1 | 4 | 0 | 0 |
| 12/04/06 | 4 | 1 | 4 | 1 | 0 |
| 18/04/06 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20/04/06 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 26/04/06 | 15 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| 27/04/06 | 11 | 4 | 7 | 0 | 0 |
| 28/04/06 | 8 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| Primeira campanha | | | | | |
| Total | 178 | 186 | | 34 | 7 |
| Média | 5,39 | 5,64 | | 1,03 | 0,21 |
| Desvio | 4,69 | 4,70 | | 1,10 | 0,42 |
| Intervalo confiança | 1,62 | 1,63 | | 0,38 | 0,14 |
| Segunda campanha | | | | | |
| Total 2006 | 136 | 32 | 40 | 19 | 2 |
| Média 2006 | 9,71 | 2,29 | 2,86 | 1,36 | 0,14 |
| Desvio 2006 | 8,75 | 2,13 | 2,28 | 2,34 | 0,53 |
| Intervalo confiança | 4,58 | 1,11 | 1,20 | 1,23 | 0,28 |
| Total coletas | | | | | |
| Total geral | 314 | 218 | | 53 | 9 |
| Média geral | 6,68 | 4,64 | | 1,13 | 0,19 |
| Desvio geral | 6,40 | 4,36 | | 1,56 | 0,45 |
| Intervalo confiança | 1,85 | 1,26 | | 0,45 | 0,13 |

Valor do Teste t

| | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| Hg | | 1,62E-02 | | | |
| Na | | | 1,21E-01 | | |
| Hg_f | | | | 1,83E-02 | |
| Na_f | | | | | 1,05E-04 |

**Hymenoptera Fomicidae**

| Data | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| 16/03/05 | 244 | 60 | | 69 | 0 |
| 18/03/05 | 28 | 35 | | 12 | 0 |
| 23/03/05 | 11 | 8 | | 5 | 0 |
| 24/03/05 | 39 | 5 | | 6 | 0 |
| 29/03/05 | 9 | 15 | | 1 | 0 |
| 31/03/05 | 21 | 5 | | 0 | 0 |
| 05/04/05 | 509 | 8 | | 259 | 0 |
| 06/04/05 | 62 | 38 | | 10 | 0 |
| 12/04/05 | 16 | 3 | | 0 | 0 |
| 13/04/05 | 8 | 9 | | 2 | 0 |
| 19/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 20/04/05 | 7 | 1 | | 0 | 0 |
| 27/04/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 03/05/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 04/05/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 06/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 10/05/05 | 134 | 6 | | 45 | 0 |
| 11/05/05 | 7 | 6 | | 0 | 0 |
| 13/05/05 | 10 | 4 | | 1 | 0 |
| 17/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 18/05/05 | 18 | 6 | | 3 | 0 |
| 01/06/05 | 146 | 1 | | 37 | 0 |
| 07/06/05 | 0 | 1 | | 0 | 0 |
| 08/11/05 | 19 | 19 | | 0 | 0 |
| 11/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 12/11/05 | 0 | 2 | | 0 | 0 |
| 17/11/05 | 185 | 125 | | 6 | 0 |
| 18/11/05 | 356 | 279 | | 44 | 0 |
| 22/11/05 | 8 | 10 | | 17 | 2 |
| 24/11/05 | 2314 | 870 | | 167 | 0 |
| 25/11/05 | 1318 | 1470 | | 216 | 7 |
| 29/11/05 | 40 | 19 | | 1 | 0 |
| 01/12/05 | 878 | 214 | 160 | 221 | 0 |
| 02/12/05 | 3003 | 226 | 1472 | 596 | 0 |
| 24/03/06 | 211 | 104 | 73 | 87 | 1 |
| 31/03/06 | 13 | 19 | 5 | 3 | 0 |
| 05/04/06 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 07/04/06 | 7 | 0 | 3 | 2 | 0 |
| 11/04/06 | 37 | 8 | 20 | 6 | 0 |
| 12/04/06 | 4 | 0 | 3 | 1 | 0 |
| 18/04/06 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 19/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20/04/06 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 26/04/06 | 21 | 8 | 6 | 8 | 0 |
| 27/04/06 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| 28/04/06 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Primeira campanha | | | | | |
| Total | 5512 | 3005 | | 901 | 9 |
| Média | 167,03 | 91,06 | | 27,30 | 0,27 |
| Desvio | 457,56 | 292,90 | | 63,19 | 1,26 |
| Intervalo confiança | 158,53 | 101,48 | | 21,89 | 0,44 |
| Segunda campanha | | | | | |
| Total 2006 | 4.177 | 586 | 1.742 | 926 | 1 |
| Média 2006 | 298,36 | 41,86 | 124,43 | 66,14 | 0,07 |
| Desvio 2006 | 812,84 | 80,22 | 390,41 | 164,20 | 0,27 |
| Intervalo confiança | 425,78 | 42,02 | 204,50 | 86,01 | 0,14 |
| Total coletas | | | | | |
| Total geral | 9.689 | 3.591 | | 1.827 | 10 |
| Média geral | 206,15 | 76,40 | | 38,87 | 0,21 |
| Desvio geral | 579,70 | 249,03 | | 103,53 | 1,06 |
| Intervalo confiança | 167,52 | 71,97 | | 29,92 | 0,31 |

Valor do Teste t

| | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| Hg | | 3,02E-02 | | | |
| Na | | | 1,87E-01 | | |
| Hg_f | | | | 1,86E-01 | |
| Na_f | | | | | 6,80E-03 |

**Hymenoptera outros**

| Data | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| 16/03/05 | 27 | 18 | | 2 | 0 |
| 18/03/05 | 2 | 4 | | 0 | 0 |
| 23/03/05 | 5 | 3 | | 0 | 0 |
| 24/03/05 | 10 | 3 | | 0 | 0 |
| 29/03/05 | 4 | 2 | | 2 | 0 |
| 31/03/05 | 2 | 1 | | 2 | 0 |
| 05/04/05 | 6 | 0 | | 2 | 0 |
| 06/04/05 | 16 | 1 | | 1 | 0 |
| 12/04/05 | 13 | 17 | | 2 | 0 |
| 13/04/05 | 20 | 15 | | 2 | 0 |
| 19/04/05 | 12 | 3 | | 2 | 0 |
| 20/04/05 | 12 | 11 | | 1 | 0 |
| 27/04/05 | 1 | 1 | | 1 | 0 |
| 29/04/05 | 0 | 1 | | 0 | 0 |
| 03/05/05 | 2 | 1 | | 0 | 0 |
| 04/05/05 | 0 | 2 | | 1 | 0 |
| 06/05/05 | 2 | 1 | | 1 | 0 |
| 10/05/05 | 5 | 2 | | 0 | 1 |
| 11/05/05 | 7 | 2 | | 0 | 0 |
| 13/05/05 | 5 | 7 | | 0 | 0 |
| 17/05/05 | 24 | 21 | | 3 | 0 |
| 18/05/05 | 29 | 70 | | 8 | 0 |
| 01/06/05 | 6 | 0 | | 1 | 0 |
| 07/06/05 | 2 | 4 | | 0 | 1 |
| 08/11/05 | 4 | 1 | | 0 | 0 |
| 11/11/05 | 0 | 1 | | 0 | 0 |
| 12/11/05 | 0 | 1 | | 2 | 0 |
| 17/11/05 | 11 | 8 | | 2 | 0 |
| 18/11/05 | 11 | 10 | | 2 | 1 |
| 22/11/05 | 6 | 3 | | 1 | 1 |
| 24/11/05 | 21 | 10 | | 0 | 1 |
| 25/11/05 | 20 | 7 | | 2 | 0 |
| 29/11/05 | 0 | 1 | | 0 | 0 |
| 01/12/05 | 35 | 11 | 3 | 10 | 0 |
| 02/12/05 | 39 | 5 | 6 | 15 | 1 |
| 24/03/06 | 9 | 1 | 36 | 3 | 0 |
| 31/03/06 | 19 | 5 | 1 | 0 | 0 |
| 05/04/06 | 11 | 2 | 3 | 2 | 0 |
| 07/04/06 | 17 | 0 | 3 | 1 | 0 |
| 11/04/06 | 8 | 4 | 2 | 3 | 0 |
| 12/04/06 | 7 | 3 | 4 | 0 | 0 |
| 18/04/06 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| 19/04/06 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 20/04/06 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 26/04/06 | 18 | 4 | 23 | 2 | 0 |
| 27/04/06 | 3 | 5 | 1 | 1 | 0 |
| 28/04/06 | 6 | 1 | 2 | 0 | 1 |
| Primeira campanha | | | | | |
| Total | 285 | 232 | | 40 | 5 |
| Média | 8,64 | 7,03 | | 1,21 | 0,15 |
| Desvio | 8,41 | 12,66 | | 1,54 | 0,36 |
| Intervalo confiança | 2,92 | 4,38 | | 0,53 | 0,13 |
| Segunda campanha | | | | | |
| Total 2006 | 179 | 46 | 87 | 38 | 3 |
| Média 2006 | 12,79 | 3,29 | 6,21 | 2,71 | 0,21 |
| Desvio 2006 | 11,79 | 2,79 | 10,30 | 4,39 | 0,43 |
| Intervalo confiança | 6,18 | 1,46 | 5,39 | 2,30 | 0,22 |
| Total coletas | | | | | |
| Total geral | 464 | 278 | | 78 | 8 |
| Média geral | 9,87 | 5,91 | | 1,66 | 0,17 |
| Desvio geral | 9,60 | 10,80 | | 2,75 | 0,38 |
| Intervalo confiança | 2,78 | 3,12 | | 0,80 | 0,11 |

Valor do Teste t

| | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| Hg | | 4,35E-03 | | | |
| Na | | | 1,69E-01 | | |
| Hg_f | | | | 1,24E-01 | |
| Na_f | | | | | 2,58E-04 |

**Isoptera**

| Data | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| 16/03/05 | 15 | 8 | | 4 | 0 |
| 18/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 23/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 24/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 31/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 05/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 06/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 12/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 13/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 19/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 20/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 27/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/04/05 | 3 | 2 | | 0 | 0 |
| 03/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 04/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 06/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 10/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 11/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 13/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 17/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 18/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 01/06/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 07/06/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 08/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 11/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 12/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 17/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 18/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 22/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 24/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 25/11/05 | 2 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 01/12/05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/12/05 | 0 | 33 | 4 | 3 | 0 |
| 24/03/06 | 3 | 0 | 7 | 0 | 0 |
| 31/03/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 05/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 07/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Primeira campanha | | | | | |
| Total | 20 | 10 | | 4 | 0 |
| Média | 0,61 | 0,30 | | 0,12 | - |
| Desvio | 2,66 | 1,42 | | 0,70 | - |
| Intervalo confiança | 0,92 | 0,49 | | 0,24 | - |
| Segunda campanha | | | | | |
| Total 2006 | 3 | 33 | 11 | 3 | - |
| Média 2006 | 0,21 | 2,36 | 0,79 | 0,21 | - |
| Desvio 2006 | 0,80 | 8,82 | 2,08 | 0,80 | - |
| Intervalo confiança | 0,42 | 4,62 | 1,09 | 0,42 | - |
| Total coletas | | | | | |
| Total geral | 23 | 43 | | 7 | - |
| Média geral | 0,49 | 0,91 | | 0,15 | - |
| Desvio geral | 2,26 | 4,93 | | 0,72 | - |
| Intervalo confiança | 0,65 | 1,42 | | 0,21 | - |

Valor do Teste t

| | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| Hg | | 2,81E-01 | | | |
| Na | | | 2,41E-01 | | |
| Hg_f | | | | 1,37E-01 | |
| Na_f | | | | | 8,19E-02 |

**Lepidoptera**

| Data | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| 16/03/05 | 11 | 0 | | 1 | 0 |
| 18/03/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 23/03/05 | 3 | 1 | | 0 | 0 |
| 24/03/05 | 4 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/03/05 | 3 | 0 | | 0 | 0 |
| 31/03/05 | 1 | 4 | | 0 | 0 |
| 05/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 06/04/05 | 4 | 0 | | 0 | 0 |
| 12/04/05 | 0 | 2 | | 0 | 0 |
| 13/04/05 | 7 | 0 | | 2 | 0 |
| 19/04/05 | 0 | 2 | | 0 | 0 |
| 20/04/05 | 15 | 1 | | 0 | 0 |
| 27/04/05 | 1 | 1 | | 0 | 0 |
| 29/04/05 | 0 | 2 | | 0 | 0 |
| 03/05/05 | 4 | 2 | | 1 | 0 |
| 04/05/05 | 8 | 1 | | 0 | 0 |
| 06/05/05 | 6 | 0 | | 0 | 0 |
| 10/05/05 | 1 | 1 | | 0 | 0 |
| 11/05/05 | 4 | 1 | | 1 | 0 |
| 13/05/05 | 4 | 3 | | 0 | 0 |
| 17/05/05 | 22 | 4 | | 0 | 0 |
| 18/05/05 | 20 | 2 | | 1 | 0 |
| 01/06/05 | 2 | 2 | | 1 | 1 |
| 07/06/05 | 4 | 3 | | 1 | 0 |
| 08/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 11/11/05 | 1 | 0 | | 1 | 0 |
| 12/11/05 | 3 | 2 | | 0 | 0 |
| 17/11/05 | 2 | 2 | | 0 | 0 |
| 18/11/05 | 0 | 1 | | 0 | 0 |
| 22/11/05 | 3 | 0 | | 0 | 0 |
| 24/11/05 | 13 | 4 | | 1 | 0 |
| 25/11/05 | 6 | 1 | | 0 | 0 |
| 29/11/05 | 16 | 0 | | 0 | 0 |
| 01/12/05 | 16 | 1 | 4 | 5 | 0 |
| 02/12/05 | 6 | 0 | 1 | 2 | 0 |
| 24/03/06 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 31/03/06 | 4 | 2 | 3 | 2 | 0 |
| 05/04/06 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 07/04/06 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 11/04/06 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12/04/06 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| 18/04/06 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 19/04/06 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 20/04/06 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| 26/04/06 | 7 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 27/04/06 | 7 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| 28/04/06 | 6 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Primeira campanha | | | | | |
| Total | 169 | 42 | | 10 | 1 |
| Média | 5,12 | 1,27 | | 0,30 | 0,03 |
| Desvio | 5,91 | 1,28 | | 0,53 | 0,17 |
| Intervalo confiança | 2,05 | 0,44 | | 0,18 | 0,06 |
| Segunda campanha | | | | | |
| Total 2006 | 63 | 10 | 18 | 14 | - |
| Média 2006 | 4,50 | 0,71 | 1,29 | 1,00 | - |
| Desvio 2006 | 3,90 | 0,73 | 1,20 | 1,36 | - |
| Intervalo confiança | 2,04 | 0,38 | 0,63 | 0,71 | - |
| Total coletas | | | | | |
| Total geral | 232 | 52 | | 24 | 1 |
| Média geral | 4,94 | 1,11 | | 0,51 | 0,02 |
| Desvio geral | 5,36 | 1,17 | | 0,91 | 0,15 |
| Intervalo confiança | 1,55 | 0,34 | | 0,26 | 0,04 |

Valor do Teste t

| | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| Hg | | 4,52E-06 | | | |
| Na | | | 4,38E-02 | | |
| Hg_f | | | | 1,82E-01 | |
| Na_f | | | | | 2,84E-04 |

**Neuroptera**

| Data | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| 16/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 18/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 23/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 24/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 31/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 05/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 06/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 12/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 13/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 19/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 20/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 27/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 03/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 04/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 06/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 10/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 11/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 13/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 17/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 18/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 01/06/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 07/06/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 08/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 11/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 12/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 17/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 18/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 22/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 24/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 25/11/05 | 0 | 2 | | 0 | 0 |
| 29/11/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 01/12/05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/12/05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24/03/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 31/03/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 05/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 07/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Primeira campanha | | | | | |
| Total | 1 | 2 | | 0 | 0 |
| Média | 0,03 | 0,06 | | - | - |
| Desvio | 0,17 | 0,35 | | - | - |
| Intervalo confiança | 0,06 | 0,12 | | - | - |
| Segunda campanha | | | | | |
| Total 2006 | - | - | - | - | - |
| Média 2006 | - | - | - | - | - |
| Desvio 2006 | - | - | - | - | - |
| Intervalo confiança | - | - | - | - | - |
| Total coletas | | | | | |
| Total geral | 1 | 2 | | - | - |
| Média geral | 0,02 | 0,04 | | - | - |
| Desvio geral | 0,15 | 0,29 | | - | - |
| Intervalo confiança | 0,04 | 0,08 | | - | - |

Valor do Teste t

| | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| Hg | | 3,30E-01 | | | |
| Na | | | - | | |
| Hg_f | | | | - | |
| Na_f | | | | | - |

**Orthoptera**

| Data | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| 16/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 18/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 23/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 24/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/03/05 | 0 | 1 | | 0 | 0 |
| 31/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 05/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 06/04/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 12/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 13/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 19/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 20/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 27/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 03/05/05 | 0 | 0 | | 1 | 0 |
| 04/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 06/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 10/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 11/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 13/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 17/05/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 18/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 01/06/05 | 0 | 0 | | 1 | 0 |
| 07/06/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 08/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 11/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 12/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 17/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 18/11/05 | 0 | 0 | | 1 | 0 |
| 22/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 24/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 25/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 01/12/05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/12/05 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 24/03/06 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 31/03/06 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 05/04/06 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 07/04/06 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11/04/06 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 12/04/06 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 18/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26/04/06 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 27/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Primeira campanha | | | | | |
| Total | 2 | 1 | | 3 | 0 |
| Média | 0,06 | 0,03 | | 0,09 | - |
| Desvio | 0,24 | 0,17 | | 0,29 | - |
| Intervalo confiança | 0,08 | 0,06 | | 0,10 | - |
| Segunda campanha | | | | | |
| Total 2006 | 3 | 2 | 3 | 1 | - |
| Média 2006 | 0,21 | 0,14 | 0,21 | 0,07 | - |
| Desvio 2006 | 0,43 | 0,53 | 0,43 | 0,27 | - |
| Intervalo confiança | 0,22 | 0,28 | 0,22 | 0,14 | - |
| Total coletas | | | | | |
| Total geral | 5 | 3 | | 4 | - |
| Média geral | 0,11 | 0,06 | | 0,09 | - |
| Desvio geral | 0,31 | 0,32 | | 0,28 | - |
| Intervalo confiança | 0,09 | 0,09 | | 0,08 | - |

Valor do Teste t

| | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| Hg | | 2,66E-01 | | | |
| Na | | | 3,60E-01 | | |
| Hg_f | | | | 1,68E-01 | |
| Na_f | | | | | 2,21E-02 |

**Psocoptera**

| Data | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| 16/03/05 | 1 | 1 | | 0 | 0 |
| 18/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 2 |
| 23/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 24/03/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 31/03/05 | 0 | 1 | | 0 | 0 |
| 05/04/05 | 3 | 0 | | 0 | 1 |
| 06/04/05 | 0 | 1 | | 0 | 0 |
| 12/04/05 | 1 | 2 | | 1 | 0 |
| 13/04/05 | 1 | 2 | | 0 | 0 |
| 19/04/05 | 2 | 0 | | 0 | 0 |
| 20/04/05 | 1 | 3 | | 0 | 0 |
| 27/04/05 | 1 | 1 | | 0 | 0 |
| 29/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 03/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 04/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 06/05/05 | 0 | 0 | | 1 | 0 |
| 10/05/05 | 2 | 0 | | 2 | 0 |
| 11/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 13/05/05 | 5 | 5 | | 2 | 1 |
| 17/05/05 | 2 | 2 | | 2 | 1 |
| 18/05/05 | 5 | 9 | | 4 | 0 |
| 01/06/05 | 1 | 1 | | 0 | 0 |
| 07/06/05 | 1 | 2 | | 0 | 0 |
| 08/11/05 | 2 | 0 | | 0 | 0 |
| 11/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 1 |
| 12/11/05 | 1 | 1 | | 2 | 0 |
| 17/11/05 | 2 | 0 | | 0 | 0 |
| 18/11/05 | 2 | 1 | | 0 | 0 |
| 22/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 24/11/05 | 2 | 0 | | 0 | 0 |
| 25/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 01/12/05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/12/05 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 24/03/06 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 31/03/06 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 |
| 05/04/06 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 07/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11/04/06 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| 12/04/06 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18/04/06 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19/04/06 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 20/04/06 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 |
| 26/04/06 | 2 | 3 | 3 | 1 | 0 |
| 27/04/06 | 6 | 4 | 1 | 3 | 0 |
| 28/04/06 | 4 | 0 | 1 | 2 | 0 |
| Primeira campanha | | | | | |
| Total | 36 | 32 | | 14 | 6 |
| Média | 1,09 | 0,97 | | 0,42 | 0,18 |
| Desvio | 1,33 | 1,83 | | 0,94 | 0,46 |
| Intervalo confiança | 0,46 | 0,63 | | 0,32 | 0,16 |
| Segunda campanha | | | | | |
| Total 2006 | 21 | 14 | 9 | 13 | - |
| Média 2006 | 1,50 | 1,00 | 0,64 | 0,93 | - |
| Desvio 2006 | 1,83 | 1,41 | 0,93 | 1,00 | - |
| Intervalo confiança | 0,96 | 0,74 | 0,49 | 0,52 | - |
| Total coletas | | | | | |
| Total geral | 57 | 46 | | 27 | 6 |
| Média geral | 1,21 | 0,98 | | 0,57 | 0,13 |
| Desvio geral | 1,49 | 1,70 | | 0,97 | 0,40 |
| Intervalo confiança | 0,43 | 0,49 | | 0,28 | 0,11 |

Valor do Teste t

| | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| Hg | | 1,44E-01 | | | |
| Na | | | 1,86E-01 | | |
| Hg_f | | | | 2,07E-01 | |
| Na_f | | | | | 2,50E-03 |

**Strepsitera**

| Data | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| 16/03/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 18/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 23/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 24/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 31/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 05/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 06/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 12/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 13/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 19/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 20/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 27/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 03/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 04/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 06/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 10/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 11/05/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 13/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 17/05/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 18/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 01/06/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 07/06/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 08/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 11/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 12/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 17/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 18/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 22/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 24/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 25/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/11/05 | 1 | 0 | | 0 | 0 |
| 01/12/05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/12/05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24/03/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 31/03/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 05/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 07/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Primeira campanha | | | | | |
| Total | 4 | 0 | | 0 | 0 |
| Média | 0,12 | - | | - | - |
| Desvio | 0,33 | - | | - | - |
| Intervalo confiança | 0,11 | - | - | - | - |
| Segunda campanha | | | | | |
| Total 2006 | - | - | - | - | - |
| Média 2006 | - | - | - | - | - |
| Desvio 2006 | - | - | - | - | - |
| Intervalo confiança | - | - | - | - | - |
| Total coletas | | | | | |
| Total geral | 4 | - | | - | - |
| Média geral | 0,09 | - | | - | - |
| Desvio geral | 0,28 | - | | - | - |
| Intervalo confiança | 0,08 | - | - | - | - |

Valor do Teste t

| | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| Hg | | 2,21E-02 | | | |
| Na | | | - | | |
| Hg_f | | | | - | |
| Na_f | | | | | - |

**Thysanoptera**

| Data | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| 16/03/05 | 8 | 8 | | 2 | 0 |
| 18/03/05 | 4 | 1 | | 0 | 0 |
| 23/03/05 | 0 | 3 | | 1 | 1 |
| 24/03/05 | 0 | 0 | | 3 | 0 |
| 29/03/05 | 1 | 2 | | 1 | 2 |
| 31/03/05 | 3 | 1 | | 5 | 1 |
| 05/04/05 | 11 | 3 | | 2 | 0 |
| 06/04/05 | 64 | 4 | | 5 | 0 |
| 12/04/05 | 1 | 1 | | 0 | 4 |
| 13/04/05 | 4 | 4 | | 1 | 2 |
| 19/04/05 | 11 | 1 | | 1 | 2 |
| 20/04/05 | 1 | 2 | | 1 | 6 |
| 27/04/05 | 1 | 1 | | 0 | 3 |
| 29/04/05 | 0 | 0 | | 1 | 3 |
| 03/05/05 | 1 | 0 | | 0 | 1 |
| 04/05/05 | 0 | 0 | | 1 | 3 |
| 06/05/05 | 0 | 1 | | 2 | 3 |
| 10/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 7 |
| 11/05/05 | 1 | 1 | | 2 | 4 |
| 13/05/05 | 2 | 1 | | 0 | 6 |
| 17/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 3 |
| 18/05/05 | 3 | 1 | | 0 | 0 |
| 01/06/05 | 0 | 0 | | 0 | 6 |
| 07/06/05 | 0 | 0 | | 3 | 1 |
| 08/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 11/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 12/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 17/11/05 | 1 | 1 | | 0 | 0 |
| 18/11/05 | 0 | 2 | | 0 | 0 |
| 22/11/05 | 0 | 1 | | 1 | 1 |
| 24/11/05 | 2 | 0 | | 0 | 2 |
| 25/11/05 | 0 | 2 | | 2 | 3 |
| 29/11/05 | 0 | 1 | | 0 | 0 |
| 01/12/05 | 10 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| 02/12/05 | 0 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 24/03/06 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 31/03/06 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 05/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 07/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26/04/06 | 16 | 2 | 4 | 0 | 0 |
| 27/04/06 | 49 | 5 | 0 | 2 | 1 |
| 28/04/06 | 20 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Primeira campanha | | | | | |
| Total | 119 | 42 | | 34 | 64 |
| Média | 3,61 | 1,27 | | 1,03 | 1,94 |
| Desvio | 11,23 | 1,66 | | 1,38 | 2,09 |
| Intervalo confiança | 3,89 | 0,58 | | 0,48 | 0,72 |
| Segunda campanha | | | | | |
| Total 2006 | 97 | 10 | 8 | 6 | 3 |
| Média 2006 | 6,93 | 0,71 | 0,57 | 0,43 | 0,21 |
| Desvio 2006 | 13,84 | 1,44 | 1,28 | 0,76 | 0,58 |
| Intervalo confiança | 7,25 | 0,75 | 0,67 | 0,40 | 0,30 |
| Total coletas | | | | | |
| Total geral | 216 | 52 | | 40 | 67 |
| Média geral | 4,60 | 1,11 | | 0,85 | 1,43 |
| Desvio geral | 12,01 | 1,60 | | 1,25 | 1,94 |
| Intervalo confiança | 3,47 | 0,46 | | 0,36 | 0,56 |

Valor do Teste t

| | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| Hg | | 1,96E-02 | | | |
| Na | | | 3,69E-01 | | |
| Hg_f | | | | 3,65E-01 | |
| Na_f | | | | | 5,07E-02 |

**Trichoptera**

| Data | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|
| 16/03/05 | 0 | 1 | | 0 | 0 |
| 18/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 23/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 24/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 31/03/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 05/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 06/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 12/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 13/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 19/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 20/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 27/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/04/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 03/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 04/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 06/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 10/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 11/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 13/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 17/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 18/05/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 01/06/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 07/06/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 08/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 11/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 12/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 17/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 18/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 22/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 24/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 25/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 29/11/05 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 01/12/05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/12/05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24/03/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 31/03/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 05/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 07/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28/04/06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Primeira campanha | | | | | |
| Total | 0 | 1 | | 0 | 0 |
| Média | - | 0,03 | | - | - |
| Desvio | - | 0,17 | | - | - |
| Intervalo confiança | - | 0,06 | | - | - |
| Segunda campanha | | | | | |
| Total 2006 | - | - | - | - | - |
| Média 2006 | - | - | - | - | - |
| Desvio 2006 | - | - | - | - | - |
| Intervalo confiança | - | - | - | - | - |
| Total coletas | | | | | |
| Total geral | - | 1 | | - | - |
| Média geral | - | 0,02 | | - | - |
| Desvio geral | - | 0,15 | | - | - |
| Intervalo confiança | - | 0,04 | | - | - |
| Valor do Teste t | | | | | |
| | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
| Hg | | 1,61E-01 | | | |
| Na | | | - | | |
| Hg_f | | | | - | |
| Na_f | | | | | - |

**Total das coletas**

| | Valores absolutos | | | | | | Valores percentuais | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Data | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test | total | Hg | Na | Na_F | Test | Hg_F/Hg |
| 16/3/2005 | 108 | 62 | 0 | 17 | 2 | 189 | 57,14% | 32,80% | 8,99% | 1,06% | |
| 18/3/2005 | 34 | 27 | 0 | 2 | 3 | 66 | 51,52% | 40,91% | 3,03% | 4,55% | |
| 23/3/2005 | 31 | 23 | 0 | 13 | 1 | 68 | 45,59% | 33,82% | 19,12% | 1,47% | |
| 24/3/2005 | 58 | 37 | 0 | 14 | 0 | 109 | 53,21% | 33,94% | 12,84% | 0,00% | |
| 29/3/2005 | 48 | 41 | 0 | 7 | 3 | 99 | 48,48% | 41,41% | 7,07% | 3,03% | |
| 31/3/2005 | 25 | 24 | 0 | 10 | 5 | 64 | 39,06% | 37,50% | 15,63% | 7,81% | |
| 5/4/2005 | 51 | 16 | 0 | 7 | 5 | 79 | 64,56% | 20,25% | 8,86% | 6,33% | |
| 6/4/2005 | 136 | 28 | 0 | 10 | 1 | 175 | 77,71% | 16,00% | 5,71% | 0,57% | |
| 12/4/2005 | 72 | 90 | 0 | 14 | 9 | 185 | 38,92% | 48,65% | 7,57% | 4,86% | |
| 13/4/2005 | 161 | 120 | 0 | 24 | 10 | 315 | 51,11% | 38,10% | 7,62% | 3,17% | |
| 19/4/2005 | 85 | 73 | 0 | 7 | 3 | 168 | 50,60% | 43,45% | 4,17% | 1,79% | |
| 20/4/2005 | 136 | 95 | 0 | 9 | 8 | 248 | 54,84% | 38,31% | 3,63% | 3,23% | |
| 27/4/2005 | 18 | 10 | 0 | 3 | 4 | 35 | 51,43% | 28,57% | 8,57% | 11,43% | |
| 29/4/2005 | 14 | 5 | 0 | 2 | 3 | 24 | 58,33% | 20,83% | 8,33% | 12,50% | |
| 3/5/2005 | 26 | 14 | 0 | 5 | 1 | 46 | 56,52% | 30,43% | 10,87% | 2,17% | |
| 4/5/2005 | 28 | 20 | 0 | 6 | 3 | 57 | 49,12% | 35,09% | 10,53% | 5,26% | |
| 6/5/2005 | 27 | 18 | 0 | 7 | 5 | 57 | 47,37% | 31,58% | 12,28% | 8,77% | |
| 10/5/2005 | 39 | 49 | 0 | 9 | 10 | 107 | 36,45% | 45,79% | 8,41% | 9,35% | |
| 11/5/2005 | 37 | 40 | 0 | 7 | 10 | 94 | 39,36% | 42,55% | 7,45% | 10,64% | |
| 13/5/2005 | 62 | 59 | 0 | 8 | 12 | 141 | 43,97% | 41,84% | 5,67% | 8,51% | |
| 17/5/2005 | 119 | 81 | 0 | 11 | 9 | 220 | 54,09% | 36,82% | 5,00% | 4,09% | |
| 18/5/2005 | 118 | 147 | 0 | 20 | 9 | 294 | 40,14% | 50,00% | 6,80% | 3,06% | |
| 1/6/2005 | 31 | 23 | 0 | 8 | 8 | 70 | 44,29% | 32,86% | 11,43% | 11,43% | |
| 7/6/2005 | 32 | 27 | 0 | 6 | 2 | 67 | 47,76% | 40,30% | 8,96% | 2,99% | |
| 8/11/2005 | 38 | 24 | 0 | 14 | 8 | 84 | 45,24% | 28,57% | 16,67% | 9,52% | |
| 11/11/2005 | 25 | 18 | 0 | 12 | 6 | 61 | 40,98% | 29,51% | 19,67% | 9,84% | |
| 12/11/2005 | 51 | 52 | 0 | 20 | 13 | 136 | 37,50% | 38,24% | 14,71% | 9,56% | |
| 17/11/2005 | 56 | 48 | 0 | 12 | 18 | 134 | 41,79% | 35,82% | 8,96% | 13,43% | |
| 18/11/2005 | 37 | 51 | 0 | 12 | 19 | 119 | 31,09% | 42,86% | 10,08% | 15,97% | |
| 22/11/2005 | 67 | 46 | 0 | 14 | 23 | 150 | 44,67% | 30,67% | 9,33% | 15,33% | |
| 24/11/2005 | 108 | 68 | 0 | 26 | 12 | 214 | 50,47% | 31,78% | 12,15% | 5,61% | |
| 25/11/2005 | 85 | 74 | 0 | 29 | 9 | 197 | 43,15% | 37,56% | 14,72% | 4,57% | |
| 29/11/2005 | 57 | 27 | 0 | 11 | 8 | 103 | 55,34% | 26,21% | 10,68% | 7,77% | Hg_F/Hg |
| 1/12/2005 | 127 | 40 | 27 | 52 | 10 | 229 | 55,46% | 17,47% | 22,71% | 4,37% | 21,26% |
| 2/12/2005 | 114 | 57 | 34 | 52 | 15 | 238 | 47,90% | 23,95% | 21,85% | 6,30% | 29,82% |
| 24/3/2006 | 73 | 25 | 68 | 17 | 5 | 120 | 60,83% | 20,83% | 14,17% | 4,17% | 93,15% |
| 31/3/2006 | 62 | 27 | 16 | 9 | 3 | 101 | 61,39% | 26,73% | 8,91% | 2,97% | 25,81% |
| 5/4/2006 | 73 | 30 | 39 | 22 | 7 | 132 | 55,30% | 22,73% | 16,67% | 5,30% | 53,42% |
| 7/4/2006 | 90 | 17 | 43 | 9 | 9 | 125 | 72,00% | 13,60% | 7,20% | 7,20% | 47,78% |
| 11/4/2006 | 95 | 13 | 28 | 15 | 2 | 125 | 76,00% | 10,40% | 12,00% | 1,60% | 29,47% |
| 12/4/2006 | 86 | 21 | 37 | 24 | 4 | 135 | 63,70% | 15,56% | 17,78% | 2,96% | 43,02% |
| 18/4/2006 | 63 | 36 | 15 | 32 | 6 | 137 | 45,99% | 26,28% | 23,36% | 4,38% | 23,81% |
| 19/4/2006 | 42 | 28 | 14 | 26 | 13 | 109 | 38,53% | 25,69% | 23,85% | 11,93% | 33,33% |
| 20/4/2006 | 67 | 25 | 30 | 11 | 12 | 115 | 58,26% | 21,74% | 9,57% | 10,43% | 44,78% |
| 26/4/2006 | 178 | 42 | 102 | 21 | 12 | 253 | 70,36% | 16,60% | 8,30% | 4,74% | 57,30% |
| 27/4/2006 | 151 | 36 | 35 | 20 | 2 | 209 | 72,25% | 17,22% | 9,57% | 0,96% | 23,18% |
| 28/4/2006 | 100 | 19 | 44 | 13 | 9 | 141 | 70,92% | 13,48% | 9,22% | 6,38% | 44,00% |
| Primeira campanha | | | | | | | | | | | |
| Total | 2.020 | 1.537 | | 376 | 242 | | | | | | |
| Média | 61,21 | 46,58 | | 11,39 | 7,33 | | 48,24% | 35,24% | 9,86% | 6,66% | |
| Desvio | 39,40 | 32,81 | | 6,55 | 5,48 | | 9,06% | 7,82% | 4,16% | 4,39% | |
| Intervalo confiança | 13,65 | 11,37 | | 2,27 | 1,90 | | 3% | 3% | | 2% | - |
| Segunda campanha | | | | | | | | | | | |
| Total 2006 | 1.321,00 | 416,00 | 532,00 | 323,00 | 109,00 | | | | | | |
| Média 2006 | 94,36 | 29,71 | 38,00 | 23,07 | 7,79 | | 60,63% | 19,45% | 14,65% | 5,26% | 40,72% |
| Desvio 2006 | 37,43 | 11,66 | 23,14 | 13,93 | 4,28 | | 11,22% | 5,27% | 6,25% | 3,07% | 19,14% |
| Intervalo confiança | 19,60 | 6,11 | 12,12 | 7,30 | 2,24 | | 6% | 3% | 3% | 2% | 10% |
| Total coletas | | | | | | | | | | | |
| Total geral | 3.341,00 | 1.953,00 | | 699,00 | 351,00 | | | | | | |
| Média geral | 71,09 | 41,55 | | 14,87 | 7,47 | | 51,93% | 30,54% | 11,29% | 6,24% | |
| Desvio geral | 41,36 | 29,12 | | 10,67 | 5,11 | | 11,20% | 10,18% | 5,29% | 4,06% | |
| Intervalo confiança | 11,95 | 8,41 | | 3,08 | 1,48 | | 0,03 | 0,03 | | 0,01 | - |

Valor do Teste t

| | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test | Hg | Na | Hg_F | Na_F | Test |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hg | | 4,32E-07 | | | | | 2,01E-09 | | | |
| Na | | | 1,14E-01 | | | | | 5,06E-03 | | |
| Hg_f | | | | 3,73E-02 | | | | | 5,27E-05 | |
| Na_f | | | | | 5,02E-06 | | | | | 4,85E-06 |

**Teste T**

| Taxon | Hg-Na | Hg-Hg_F | Hg-Na_F | Hg-Test | Na-Hg_F | Na-Na_F | Na-Test | Hg_F-Na_F | Hg_F-Test | Na_F-Test | Dias coletado | Indivíduos |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Diptera | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 47 | 2474 |
| Hymenoptera/outros | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | | 1 | 1 | 47 | 915 |
| Coleoptera | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | | | 45 | 1693 |
| Lepidoptera | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 45 | 327 |
| Hemiptera | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 2 | | 1 | 44 | 634 |
| Araneae | | | | 1 | | | 1 | | | 1 | 41 | 167 |
| Hymenoptera/Formicidae | | | 1 | 1 | | 1 | | | | | 41 | 16859 |
| Psocoptera | | | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 36 | 145 |
| Orthoptera | | | | 1 | | | | | | 1 | 14 | 15 |
| Blattodea | | | | 1 | | | | | | | 10 | 13 |
| Collembola | | | 1 | 1 | | | | | | | 10 | 14 |
| Thysanoptera | 1 | | 1 | | | | | | | | 37 | 383 |
| Strepsiptera | 1 | | 1 | 1 | | | | | | | 4 | 4 |
| Isoptera | | | | | | | | | | | 5 | 799 |
| Dermaptera | | | | | | | | | | | 3 | 4 |
| Neuroptera | | | | | | | | | | | 2 | 3 |
| Trichoptera | | | | | | | | | | | 1 | 1 |

A tabela teste t sintetiza o resultado das estatísticas por grupo taxonômico, indicando com 1 quando existe diferença positiva entre suas séries, e 2 quando existe uma diferencia negativa entre duas séries. Os valores da estatística de cada situação devem ser verificados nas tabelas individuais de cada grupo taxonômico.

# Apêndice II.

# Resenha das principais medidas de projeto para minimizar o impacto da iluminação artificial sobre o ambiente

**Resenha das principais medidas de projeto para minimizar o impacto da iluminação artificial sobre o ambiente.**

Apesar de que será necessário realizar testes específicos em diferentes ecossistemas, é possível, con base nas experiências até agora realizadas pela equipe e por outros pesquisadores, apontar algumas diretrizes básicas para minimizar a atração de insetos. Com a finalidade prática de oferecer aos técnicos do setor de iluminação pública informações pontuais sobre projetos de instalações de impacto mínimo, apresento um resumo das principais medidas que podem ser tomadas, cada uma com uma pequena ilustração específica, ilustrada com desenhos e gráficos extraídos dos resultados da pesquisa e da literatura internacional.

1. ***Controle da direção e da posição do cone luminoso***. Sempre utilizar luminárias com anteparos para dirigir o fluxo luminoso apenas em direção à área que se deseja iluminar. Com esse meio evita-se que o fluxo luminoso se espalhe no ambiente e atraia insetos de longe.

    1.1. Na iluminação pública as normas internacionais já estão prevendo a utilização de luminárias total cutoff, assegurando dessa forma que a iluminação não seja espalhada em direção ao céu, evitando a poluição astronômica e reduzindo os desperdícios de energia elétrica (vide Figura A2.I). Mas, para evitar um impacto excessivo sobre o meio ambiente e até sobre o homem, o controle da direção do fluxo luminoso pode ser ainda mais acentuada. Por exemplo, a regulamentação de iluminação pública inglesa recomenda que o fluxo luminoso não invada propriedades de terceiros. A Figura A.2.II., mostra como o controle do fluxo deve ser realizadoa evitando não apenas iluminar o céu, mas também não invadir superfícies verticais e horizontais de terceiros.

    1.2. Em ambientes sensíveis, como em parques e reservas, o controle do fluxo luminoso deve ser ainda mais rigoroso, procurando direcionar o fluxo apenas para a região de interesse, utilizando postes de altura mínima e anteparos que dirigem o fluxo para o chão. Bons exemplos dessas práticas de projeto são representados pelas recomendações de instalações para proteção de tartarugas marinhas mostradas na Figura A.III. Recomendações

ainda mais restritivas se encontram no projeto Holandês de uma região inteira na qual seria criado um ambiente intrinsecamente escuro. Para atingir esse objetivo a iluminação das ruas secundárias seria realizada não com postes, mas com LED, colocados no nível do solo, representando, portanto, apenas balizas. (Willems; 2005)

1.3. Na iluminação privada é importante que as fontes de iluminação externas sejam dirigidas apenas para as áreas que devem ser iluminadas, e longe das entradas das residências, para evitar que os insetos, atraídos nas proximidades acabem entrando nas residências. Na iluminação privada é importante que as luminárias sejam com feixe dirigido, para minimizar o espalhamento da luz, conforme exemplos na figura A.2.IV.

2. ***Controle da intensidade***. Por causa do processo de acomodação do olho ao escuro, a iluminação artificial não deve registrar contrastos fortes em relação ao entorno e é importante fixar limites bem definidosto aos projetistas em termos de fluxo luminoso admissível, dependendo do ambiente.

2.1. As recomendações iniciais, apesar de efetuada de forma genérica, são aquelas da CIE (*Commission Internacional de Eclarage*), (CIE 2003), a qual fixa genericamente quatro ambientes distintos, com recomendações mais qualitativas do que quantitativas sobre os fluxos recomendados (Tabela A.2.T.I)

2.2. Uma aplicação da recomendação da CIE consta no regulamento da Califórnia, que não foi elaborado com o objetivo de proteger o meio ambiente, mas principalmente com a finalidade de reduzir o consumo de energia. Por essa razão, a norma controla apenas indiretamente o fluxo luminoso, mas fixa a potência instalada. Com esse dispositivo incentiva-se automaticamente o uso de lâmpadas mais eficientes, como as lâmpadas a vapor de sódio, que reduzem o impacto sobre o meio ambiente.

2.3. Aplicação mais rigorosa, orientada efetivamente para uma redução da poluição luminosa é aquela proposta por Demirdes *et al* (2005). A proposta prescreve uma redução drástica da poluição no plano vertical, de mais de 80% sobre os padrões existentes na Holanda (país que já possui uma

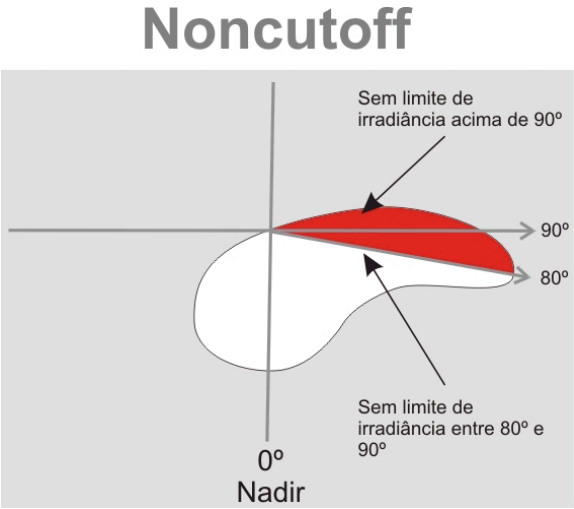
regulamentação rigorosa), e no caso de ambientes naturais não tolera qualquer emissão no plano vertical. (Tabela A.2.3)

3. ***Controle da polarização da luz***. Muitos insetos, especialmente aqueles que têm criadouros na água, são atraídos pela luz polarizada. Evitar, portanto, o uso de anteparos de metal polido e vidros temperados de proteção da lâmpada, que produzem polarização do feixe luminoso.

4. ***Controle da temperatura de cor das lâmpadas***. A curva de sensibilidade visual da maioria dos insetos, mas também das aves, é deslocada em direção a comprimentos de onda mais curtos (UV, luz azul e violeta). Por isso, devem ser preferidas lâmpadas com temperatura de cor de onda longa (vermelha e amarela). Devem, portanto, ser evitadas lâmpadas a vapor de mercúrio e a vapores metálicos. As lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão representam uma boa opção, mas em ambientes mais sensíveis é preferível utilizar lâmpadas a vapor de sódio a baixa pressão, monocromáticas. Vide Figura A.2.4.

5. ***Controle da radiação ultravioleta A e B***. O componente ultravioleta, independente das outras características do espectro das lâmpadas, é um *releaser* que gera o máximo de atratividade. A colocação de um filtro que corta a radiação com comprimento de onda inferior a 400 nm é suficiente para reduzir de forma significativa a atratividade das lâmpadas. O fato importante é que a retirada da radiação ultravioleta não reduz a eficiência da lâmpada porque o homem não é sensível à ela. O custo dos filtros ultravioletas é muito baixo, inferior a 50 centavos de dólar por luminária, e em uma produção seriada esse custo pode diminuir sensivelmente.

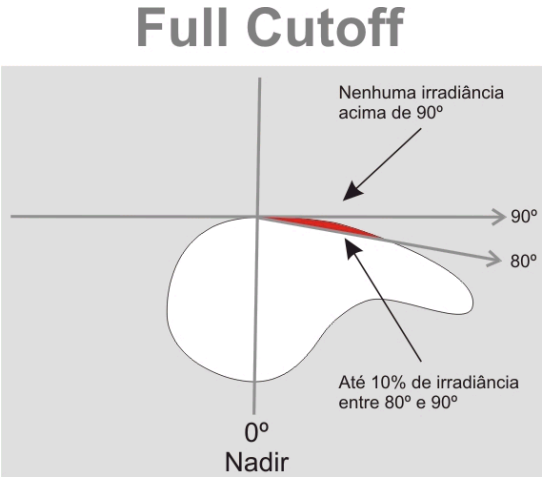
**Luminárias *non cutoff*.**
Não possuem controle da difusão da irradiância no espaço.




**Modelo Comercial de luminária não cutoff.**

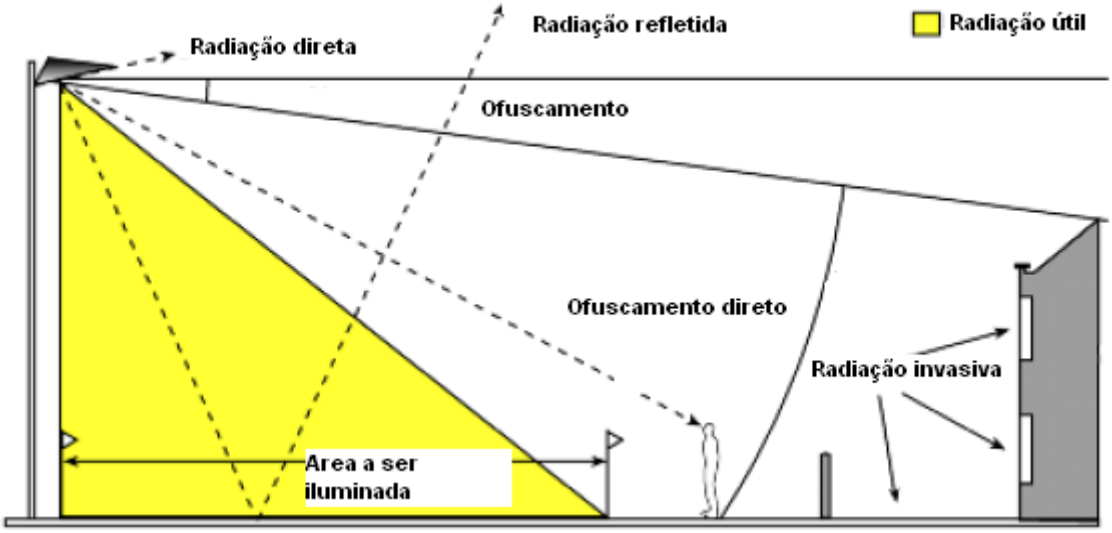
**Luminária cutoff total**

Há controle da distribuição da radiação no espaço.




**Modelo Comercial de luminária cutoff.**

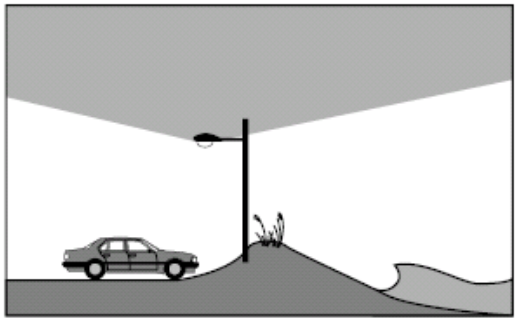
**Figura A.2.I Luminárias cutoff e não cutoff. Representação gráfica da difusão da radiação e modelos de luminárias**



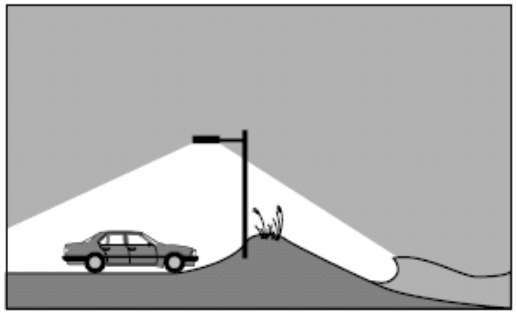

*Fonte: Modificada de Light pollution, NLPIP, Vol 7 Issue 2*

**Figura A.2.2.** *A poluição luminosa é uma conseqüência não desejada da iluminação externa e compreende efeitos como o reflexo na abobada celeste, a radiação invasiva e o ofuscamento. Uma representação dessas três formas de poluição luminosa pode ser observada na figura, a partir da qual é possível entender a função das estratégias para seu controle***.**

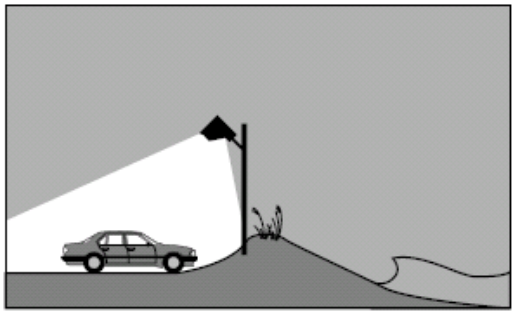
**Luminária inadequada**: o poste alto e a falta de anteparo permitem a difusão da radiação luminosa em área ampla, inclusive desperdiçando energia. No caso de insetos, eles podem ser atraídos de longe



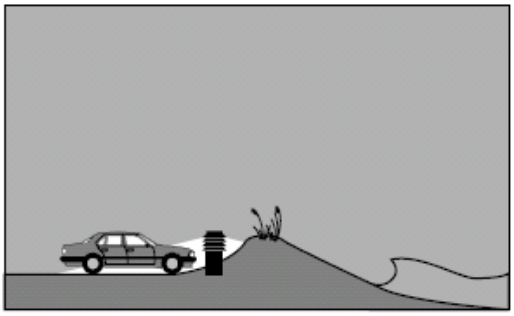
**Luminária melhor**: a colocação de anteparo evita a difusão da radiação no ambiente, limitando dessa forma o impacto da atração, que permanece limitada ao cone no qual registra-se a propagação do fluxo luminoso.



**Luminária muito melhor**: a orientação do fluxo luminoso, cobrindo apenas a região de interesse, reduz ainda mais o efeito sobre o ambiente e proporciona uma maior redução do consumo de energia. Um aspecto importante é que é possível excluir áreas críticas seletivamente da difusão do fluxo luminoso



**Luminária excelente**: reduzindo a altura do poste e direcionando o fluxo luminoso esse tipo de luminária consegue minimizar significativamente o impacto. Em alguns países está sendo estudada a possibilidade de se utilizar localmente leds de alta eficiência e com luz concentrada.



*Fonte Witherington e Martin (1996: 56)*

**Figura A.2.3.** *Controle do fluxo luminoso para proteção das tartarugas marinhas. Dependendo do projeto de iluminação, a luz pode se difundir mais ou menos no ambiente. Esses exemplos, extraídos das práticas recomendadas pela Florida Power Company, para defesa das tartarugas, mostram bem o impacto de diferentes projetos. É claro que, dependendo da finalidade e da espécie a ser protegida, as soluções podem ser diferentes.*

**Tabela A.2. 1 Os ambientes de iluminação (lighting environments) da CIE (2003)**

| Zona | Ambiente | Nível de iluminação | Exemplos |
|---|---|---|---|
| **E1** | Natural | Intrinsecamente escuro | Parques nacionais e sítios protegidos |
| **E2** | Rural | Baixa iluminação local | Áreas industriais ou residenciais |
| **E3** | Suburbano | Média iluminação local | Áreas suburbanas |
| **E4** | Urbano | Alta iluminação local | Centros urbanos e áreas comerciais |

**Tabela A.2.2 Propostas de alteração dos padrões de iluminância no plano vertical**

| Parâmetros técnicos de iluminação | Condições de aplicação | E1 | E2 | E3 | E4 |
|---|---|---|---|---|---|
| Iluminância no plano vertical ($E_V$) | Antes da redução | 2 lux | 5 lux | 10 lux | 25 lux |
| Iluminância no plano vertical ($E_V$) | Depois da redução | 0* lux | 1 lux | 2 lux | 5 lux |

* Se a luminária for para iluminação rodoviária, esse valor pode atingir 1 lux.

Fonte Demirdes *et al* (2005)

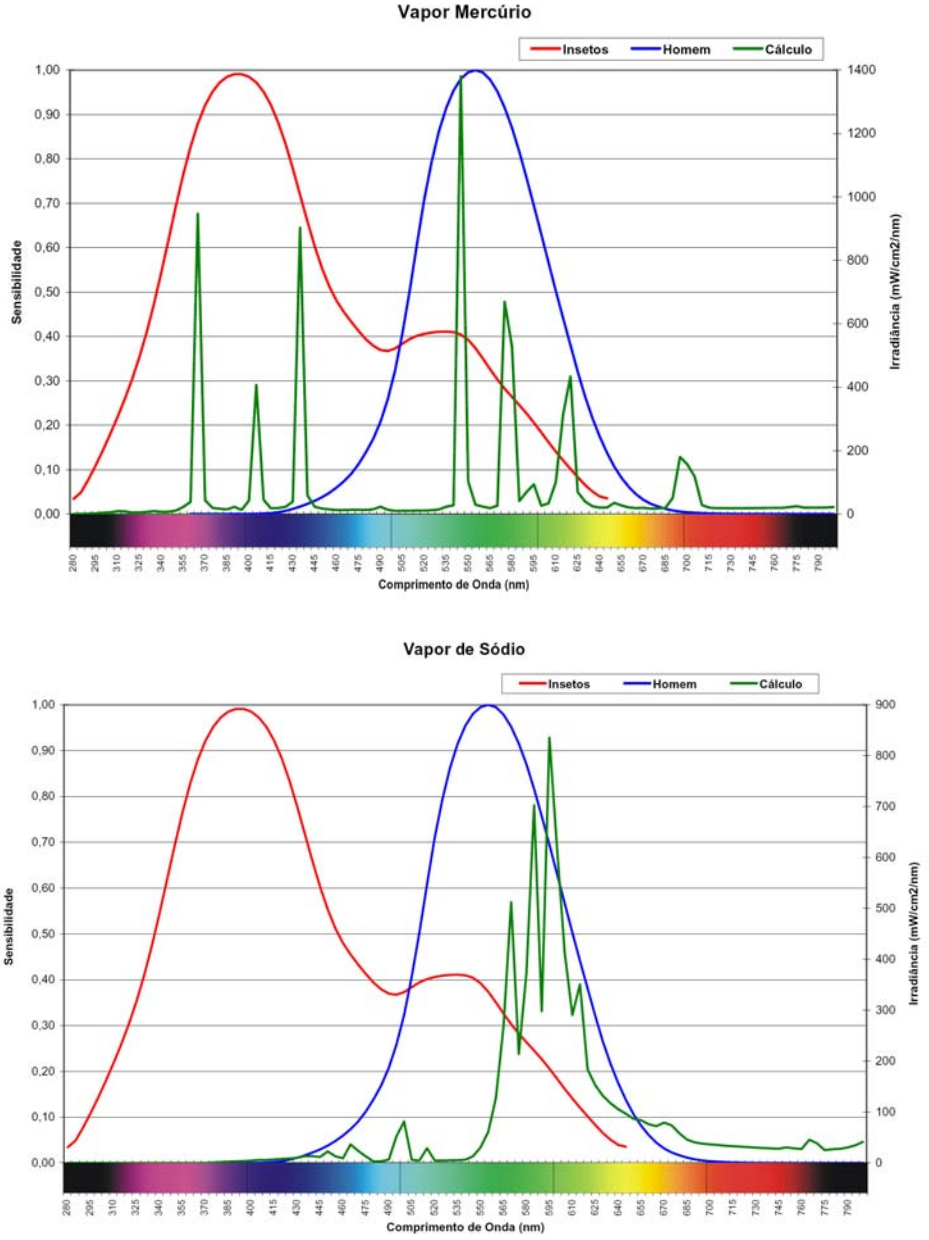



**Figura A.2. 4**. *Gráficos da sensibilidade do homem e dos insetos à energia radiante das lâmpadas estudadas*