CAMILA GOMES VICTORINO

"ESTUDO DO DESENVOLVIMENTO DE ESTRATÉGIAS DECISIONAIS EM ESCOLHAS BINÁRIAS REPETIDAS"

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Humana do Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo, para obtenção do Título de Mestre em Ciências.

São Paulo
2012

CAMILA GOMES VICTORINO

"ESTUDO DO DESENVOLVIMENTO DE ESTRATÉGIAS DECISIONAIS EM ESCOLHAS BINÁRIAS REPETIDAS"

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Humana do Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo, para obtenção do Título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Fisiologia Humana

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinícius Chrysóstomo Baldo

Versão original

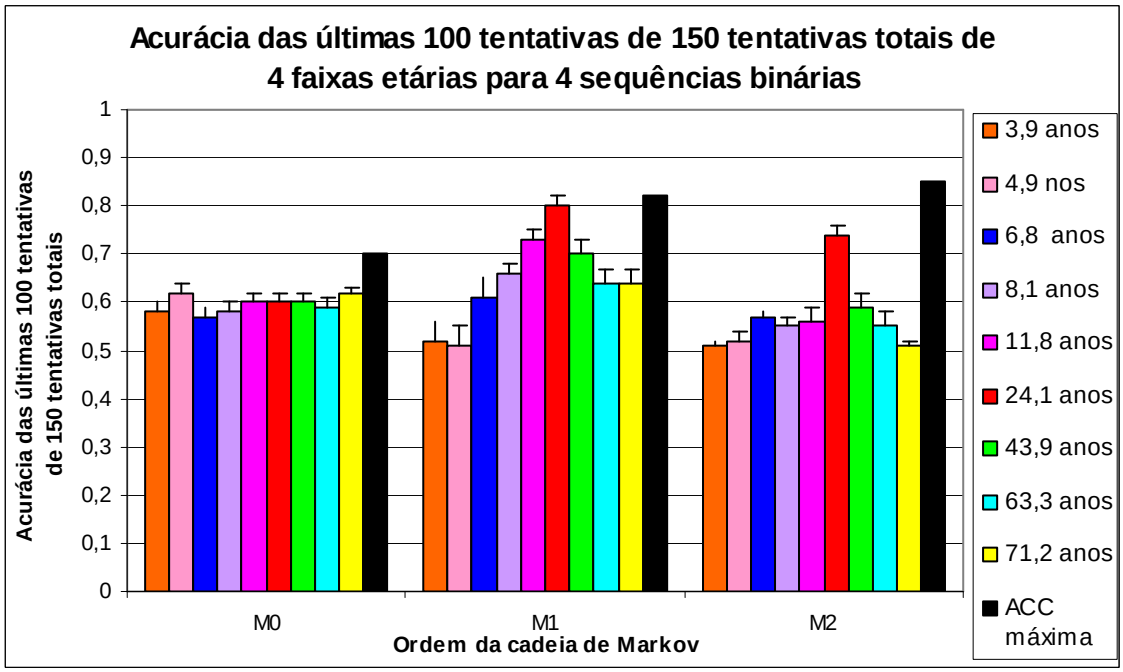
São Paulo
2012

ERRATA

Página 41, Figura 10

A Figura 10 deve ser substituída pelo gráfico de acurácia, abaixo:

Figura 10 – Acurácia média dos voluntários para cada faixa etária e para cada ordem de cadeia de Markov, contendo a acurácia máxima (ACC máxima) possível, pelo emprego da estratégia ótima referente à cadeia de Markov.



Fonte: Victorino (2012).

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOMÉDICAS

Candidato(a): Camila Gomes Victorino

Título da dissertação: Estudo do desenvolvimento de estratégias decisionais em escolhas binárias repetidas

Orientador(a): Prof. Dr. Marcus Vinícius Chrysóstomo Baldo

A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa da **Dissertação de Mestrado**, em sessão pública realizada a ...../...../....., considerou

( ) Aprovado(a) **( ) Reprovado(a)**

Examinador(a): Assinatura: .....
Nome: .....
Instituição: .....

Examinador(a): Assinatura: .....
Nome: .....
Instituição: .....

Presidente: Assinatura: .....
Nome: .....
Instituição: .....

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOMÉDICAS

Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira"
Av. Prof. Lineu Prestes, 2415 - cep. 05508-000 São Paulo, SP - Brasil
Telefone :(55) (11) 3091.7733 telefax : (55) (11) 3091-8405
e-mail: cep@ icb.usp.br

São Paulo, 01 de setembro de 2010.

PARECER 953/CEP

A *Comissão de Ética em Pesquisas com Seres Humanos* do ICB, na sessão de 19.08.2010 **APROVOU** o projeto intitulado: *"Abordagem Psicofísica de Estratégias Decisionais na Predição de Sequências Binárias Aleatórias"* sob responsabilidade de execução dos autores Prof. Dr. MARCUS VINÍCIUS BALDO e a aluna CAMILA GOMES VICTORINO.

Cabe aos pesquisadores executante elaborar e apresentar a este Comitê, relatórios anuais (parciais ou final), de acordo com a resolução 196/06 do Conselho Nacional da Saúde, item IX. 2 letra c.

O primeiro relatório deverá ser encaminhado à Secretaria deste CEP em **19.08.2011**

Atenciosamente,

Prof. Dr. PAOLO M. A. ZANOTTO
Coordenador da Comissão de Ética em
Pesquisas com Seres Humanos - ICB/USP

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador e amigo Marcus Vinícius Baldo por ter se dedicado plenamente ao seu papel como professor e pesquisador, ensinando-me sempre uma nova lição sobre como proceder como pesquisadora, mas também sobre a vida.

Aos meus colegas de laboratório Janaína e Fernando e em especial à doutora Carolina Feher da Silva por terem me dado apoio e auxílio durante o processo de realização do projeto.

Aos colegas André, Hamilton e Milene e aos professores Ranvaud, Caticha e Peter pelas valiosas discussões.

Ao meu noivo Jonas Guedes pelo seu imparcial apoio, por dar sentido a minha vida e por fazê-la muito mais feliz.

À minha mãe e meus dois irmãos por me ajudarem sempre.

A todas as pessoas da Creche Central da USP, da Escola de Aplicação, dos cursos para a Terceira Idade da Faculdade de Educação Física da USP e dos asilos visitados, por abrirem suas portas com hospitalidade e permitirem a realização dos experimentos.

A todos os voluntários, pais e crianças que participaram do projeto.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

RESUMO

VICTORINO, C. G. **Estudo do desenvolvimento de estratégias decisionais em escolhas binárias repetidas**. 2012. 98 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Humana) – Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

A tomada de decisão é um processo indispensável à adaptação de um organismo ao meio ambiente, fazendo parte integral da seleção das ações que compõem um comportamento. Na situação mais simples, um agente deve escolher entre duas alternativas mutuamente exclusivas com diferentes potenciais de recompensa (escolha binária). Uma extensa literatura tem abordado os diferentes tipos de estratégias adotadas por seres humanos e outros animais quando confrontados com escolhas binárias repetidas (quando se exige uma sucessão de tomadas de decisão). Além de resultados conflitantes, uma importante lacuna é a ausência de um estudo pormenorizado do padrão de desenvolvimento de estratégias decisionais, em seres humanos, que se estenda da infância à senescência. No presente estudo, nosso objetivo foi estudar a estratégia adotada por voluntários pertencentes a nove faixas etárias distintas (média de idades de 3,9, 4,9, 6,8, 8,1, 11,8, 24,1, 43,9, 63,3 e 71,2 anos) quando confrontados com uma sucessão de escolhas binárias cuja sequência possuía diferentes graus de previsibilidade (manipulada por meio de sequências de Markov de ordem 0 a 2). Nossos resultados mostraram que, ao contrário do descrito na literatura, em todas as faixas etárias observou-se um padrão de respostas compatível com “pareamento de probabilidades”, no qual, em sequências de baixa previsibilidade, o agente escolhe cada uma das duas alternativas com uma frequência similar à da respectiva probabilidade de recompensa. Para sequências com maior previsibilidade, constatamos que o desempenho cresce com a idade, atingindo um pico aos 24,1 anos e declinando a partir daí. Uma análise da estrutura temporal das sequências decisionais revelou que, ao longo do desenvolvimento, os indivíduos migram de uma estratégia caracterizada pela “prospecção” (alta probabilidade de, a cada escolha, decidir-se por uma alternativa diferente da anterior), típica das faixas etárias entre 3,9 e 6,8 anos, para uma estratégia de “exploração” (alta probabilidade de se perseverar em uma mesma alternativa), a qual caracterizou as faixas etárias entre 63,3 e 72,1 anos. O melhor desempenho das faixas etárias intermediárias (24,1 a 43,9) deveu-se à adoção de uma estratégia decisional mais otimizada quanto ao balanceamento da dicotomia prospecção-exploração.

Palavras-chave: Tomada de decisão. Escolha binária. Pareamento de probabilidades. Desenvolvimento. Cognição.

ABSTRACT

VICTORINO, C. G. **Decisional strategies in binary choice tasks from childhood to senescence** 2012. 98 p. Masters thesis (Human Physiology) – Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

Decision making is one of the most important components underlying the action-perception cycle. The simplest decisional condition is offered by a two-alternative forced choice, in which the alternatives are mutually exclusive and convey potentially different rewards. The aim of the present study was to evaluate the decisional strategy adopted by human volunteers belonging to different age groups (from childhood to senescence) dealing with a sequence of repeated binary choices. Volunteers in nine different age groups (mean ages ranging from 3.9 to 72.1 years) were asked to make decisions during the presentation of sequences of binary choices. The predictability of the potential reward of both alternatives was previously defined, in each sequence, by means of Markov sequences (from zeroth to second order). When dealing with unpredictable sequences (zeroth order Markov sequences), all age group expressed a decisional behavior called "probability matching" – in which the frequency a given alternative is chosen matches the same alternative's probability of reward. Also, when dealing with more predictable sequences, the decisional performance shows a marked increase with age, reaching its peak at 24.1 years old. More important, the temporal analysis of choice sequences revealed a clear transition in decisional strategies from childhood to senescence. Whereas younger children (3.9 to 6.8 years old) exhibited a decisional pattern characterized by "exploration" (a higher probability of shifting between alternatives from trial to trial), elderly volunteers (63.3 to 72.1 years old) adopted an "exploitation" strategy (a higher probability of perseverating in a given alternative from trial to trial). The better performance achieved by volunteers belonging to intermediate age groups (24.1 to 43.9 years old) is most likely due to the adoption of a decisional strategy more evenly balanced in regard to the exploration-exploitation dichotomy.

Keywords: Decision making. Binary choice. Probability matching. Development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Acurácia obtida por pareamento de probabilidade e por maximização.....15
Figura 2 – Representação esquemática da tarefa do experimento.....26
Figura 3 – Matriz de transição genérica de uma cadeia de Markov de ordem *n*.....27
Figura 4 – Matrizes empregadas para gerar as matrizes dos experimentos.....29
Figura 5 – Matriz de transição de uma cadeia de ordem 2.....34
Figura 6 – Proporção de aparecimento dos alvos por alternativa para cada faixa etária.....40
Figura 7 – Autocorrelação das sequências geradas pelo computador de ordem 0.....41
Figura 8 – Autocorrelação das sequências geradas pelo computador de ordem 1.....41
Figura 9 – Autocorrelação da sequência gerada pelo computador de ordem, 2.....42
Figura 10 – Acurácia para nove faixas etárias 42
Figura 11 – Valores de taxa de entropia para cada experimento.....43
Figura 12 – Taxa de entropia para nove faixas etárias.....44
Figura 13 – Correlação cruzada de ordem 0.....45
Figura 14 – Correlação cruzada de ordem 1.....46
Figura 15 – Correlação cruzada de ordem 2.....46
Figura 16 - Autocorrelação das sequências geradas pelo voluntário de ordem 0.....46
Figura 17 - Autocorrelação das sequências geradas pelo voluntário de ordem 1.....47
Figuras 18 - Autocorrelação das sequências geradas pelo voluntário de ordem 2.....47
Figura 19 – Probabilidade de ficar dado que ganhou ou errou e mudar, dado que ganhou ou errou para 3,9-6,8 anos.....48
Figura 20 - Probabilidade de ficar dado que ganhou ou errou e mudar, dado que ganhou ou errou para 8,1-11,3 anos.....49
Figura 21 - Probabilidade de ficar dado que ganhou ou errou e mudar, dado que ganhou ou errou para 24,1-43,9 anos.....49
Figura 22 - Probabilidade de ficar dado que ganhou ou errou e mudar, dado que ganhou ou errou para 63,3-72,1 anos e para todas as faixas etárias.....50
Figura 23 - Probabilidade de ficar dado que ganhou ou errou e mudar, dado que ganhou ou errou para todas as faixas etárias.....50
Figura 24 – Resumo dos resultados.....51
Figura 25 – Grupos etários com tomada de decisão similar.....51
Figura 26 – Possíveis relações entre exploração e prospecção.....53
Figura 27 – Relação entre exploração/prospecção durante a ontogênese.....55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....11

1.1 Luta pela sobrevivência.....12

1.2 Tomada de decisão.....12

1.3 Pareamento de probabilidades.....14

1.4 Desenvolvimento do processo de tomada de decisão e pareamento de probabilidades.....18

2 JUSTIFICATIVA..... 22

3 OBJETIVOS.....23

3.1 Objetivos gerais.....23

3.2 Objetivos específicos.....23

4 MATERIAL E MÉTODO.....24

4.1 Voluntários.....24

4.2 Critérios de exclusão.....24

4.3 Procedimento experimental.....24

4.4 Procedimentos analíticos.....30

4.4.1 Acurácia.....31

4.4.2 Taxa de entropia.....33

4.4.3 Correlação das sequências geradas pelos computador e pelo voluntário.....35

4.4.3.1 Correlação cruzada.....37

4.4.3.2 Autocorrelação da sequência gerada pelo voluntário e da sequência gerada pelo computador.....38

4.4.4 Probabilidade de mudança de alternativa em função do resultado da alternativa anterior.....38

4.4.5 Análise estatística.....38

5 RESULTADOS.....39

5.1 Voluntários.....39

5.2 Resultados das análises.....40

5.2.1 Características das sequências do experimento.....40

5.2.2 Acurácia.....42

5.2.3 Taxa de entropia.....43

5.2.4 Análise de correlação cruzada e autocorrelação das sequências geradas pelo voluntário.....44
5.2.4.1 Correlação cruzada.....44
5.2.4.2 Autocorrelação das respostas dos voluntários.....46
5.2.5 Probabilidade de mudança de alternativa em função da alternativa anterior.....48
5.2.6 Resumo dos resultados obtidos.....51
6 **DISCUSSÃO**.....52
7 CONCLUSÃO.....64
REFERÊNCIAS.....**64**
ANEXOS.....**70**
ANEXO A - Termo de consentimeno livre e esclarecido menores de 18 anos.....71
ANEXO B - Termo de consentimento livre e esclarecido maiores de 18 anos 73
ANEXO C - Questionário socio-demográfico.....75
ANEXO D - Questionário de percepção visual.....76
ANEXO E - Questionário socio-demográfico para crianças.....77
ANEXO F - Questionário de percepção visual para crianças.....78
ANEXO G - Explicação padronizada do experimento passada a todos os voluntários do estudo.....79
APÊNDICES.....80
APÊNDICE A - Análise de autocorrelação das sequências geradas pelos voluntários e correlação cruzada por faixa etária.....81
APÊNDICE B - Estatística.....90

1 INTRODUÇÃO

1.1 Luta pela sobrevivência

Em seu livro “A origem das espécies”, Charles Darwin afirma que é a luta pela existência a responsável pela criação de novas espécies. Devido a essa luta, as variações, por mais fracas que sejam, tendem a preservar os indivíduos de uma espécie e transmitem-se ordinariamente à descendência, desde que sejam adaptativas a esses indivíduos (DARWIN, 2003). Cada ser organizado se esforça sempre por multiplicar-se (DARWIN, 2003), porém, segundo o autor, o que determina a multiplicação de um indivíduo não é somente a abundância de alimentos, mas a facilidade com que este se torna presa de outros animais.

Em um ambiente com recursos limitados, as espécies, e consequentemente os indivíduos que as compõem, devem possuir adaptações que permitam a sua sobrevivência neste meio. Uma importante adaptação são os mecanismos que envolvem a valoração dos recursos disponíveis e a escolha dos comportamentos utilizados para lutar por eles (ver ARNOTT; ELWOOD, 2008). Como a vida é sempre cheia de escolhas, tanto pequenas quanto grandes, escolher a melhor alternativa envolve determinar o valor das possibilidades que o ambiente apresenta e agir para obter aquelas com maior valor (FELLOWS, 2011). Assim, um mecanismo efetivo de tomada de decisão irá conferir uma vantagem adaptativa e é, portanto, provável que o encéfalo seja organizado de modo a assegurar decisões ótimas (FELLOWS, 2011).

1.2 Tomada de decisão

Os animais devem decidir sobre quando se alimentar, quando se reproduzir, dormir e assim por diante, de modo a maximizar o quanto possível as suas chances de sobrevivência e reprodução (MCFARLAND, 1977). Segundo o autor, estas decisões estão centradas em duas ou mais alternativas e também no fato dos animais serem capazes de avaliar consistentemente estas alternativas e de maximizar os seus ganhos. Sendo assim, Gold et al. (2007) afirmam que o principal objetivo de um indivíduo prestes a tomar uma decisão é obter resultados desejados e evitar aqueles que sejam indesejáveis. Um resultado desejado ou preferencial é aquele que possibilita a maximização da porcentagem de respostas corretas em uma tarefa que

apresente respostas corretas e erradas (GREEN; SWETS, 1966). Já resultados indesejáveis se referem a respostas erradas e desperdício de tempo, esforço ou recursos (GOLD et al., 2007).

Foi assim que os economistas do passado tendiam a ver as pessoas como eficientes maximizadoras de valores de seus interesses e que cometiam erros somente quando eram mal-informadas sobre as consequências de suas ações; todavia, baseada em experimentos, a psicologia já tendia a ver o indivíduo como imperfeito e algumas vezes auto-destrutivo em suas decisões (LOEWENSTEIN; RICK; COHEN., 2008). De fato, a psicologia experimental demonstrou nas últimas décadas que a perspectiva de decisões que sempre levam à maximização dos ganhos é errônea, tanto no caso de humanos quanto de animais não-humanos (ver LOEWENSTEIN; RICK; COHEN, 2008).

Segundo Sutton e Barto (1998), um sujeito confrontado a escolhas repetidas envolvendo *n* opções recebe recompensas dadas por probabilidades relativas a cada opção. Seu objetivo seria maximizar o ganho de recompensas a partir de um certo tempo de jogo. Esta tarefa é conhecida como "problema do bandido de n braços (*n-armed bandit problem*)[1] e espera-se que o agente maximize seus ganhos optando pela opção que mais lhe renderá recompensas (SUTTON; BARTO, 1998). Caso o agente conheça o valor de cada opção, seria trivial resolver o problema, devendo, simplesmente, selecionar a opção com maior valor. Segundo os autores, assume-se que, neste tipo de problema, o agente não conheça o valor de cada opção, porém seja capaz de alcançar uma estimativa, conforme o aumento de experiência no jogo. Ao se manter em uma mesma opção que lhe rende boa recompensa, diz-se que ele está em um regime de "exploração" ("*exploitation*") daquela dada opção; caso ele tenda a selecionar outras opções disponíveis, cujo valor não renderá, necessariamente, recompensas maiores, assume-se que ele esteja adotando uma estratégia de prospecção ("*exploration*"), pois isso permite ao agente aumentar a sua estimativa sobre os valores das possíveis opções (SUTTON; BARTO, 1998). Segundo os autores, a exploração seria o melhor a fazer quando se pretende maximizar a recompensa, enquanto a prospecção, embora localmente menos eficiente, pode produzir um aumento da recompensa a longo prazo.

A relação entre prospecção e exploração evidencia a ideia de que a maximização dos ganhos nem sempre é visada pelo voluntário. Um exemplo interessante envolvendo este assunto é o caso do pareamento de probabilidades, fenômeno característico do "*n-armed*

---

[1] Alusão à máquina caça-níqueis, frequentemente chamada de "bandido maneta" (*one-armed bandit*).

bandit problem", observado de maneira mais evidente quando se realiza um processo de decisão envolvendo apenas duas opções.

1.3 Pareamento de probabilidades

O tipo de decisão mais simples encontrado na natureza é aquele que envolve apenas duas alternativas. Esse tipo de decisão, por este motivo, é chamado de decisão binária e, envolvendo decisões seguidas, o processo de tomada de decisão pode ser referido como processo de tomada de decisão de escolha repetida em sequências binárias.

Durante os anos 1950 e 1960 grande número de dados relativos ao comportamento de humanos, ratos e pombos foi coletado em experimentos envolvendo escolha repetida (VULKAN, 2000). Segundo o autor, em um experimento típico, cada indivíduo ou animal tinha que prever, a cada tentativa, se, por exemplo, uma luz apareceria à sua esquerda ou direita, ou se uma carta seria amarela ou azul. Em que lado a luz apareceria ou qual a cor da carta que seria visualizada dependeria de um mecanismo aleatório operando com probabilidades fixas, as quais seriam independentes do local ou natureza do aparecimento do alvo anterior. O experimento constituía-se de várias tentativas consecutivas e podia ou envolver recompensas pela previsão correta ou, em raros casos, punições por escolhas incorretas (VULKAN, 2000). Nesses experimentos era frequente a obtenção de um padrão de resposta classificado como "pareamento de probabilidades" (*probability matching*), no qual as escolhas dos agentes se distribuem, para cada opção, com proporções semelhantes às frequências de apresentação de cada opção (OSKARSSON et al., 2009). Por exemplo, a frequência com que o agente escolhe um lado (direito ou esquerdo) como provável local de apresentação da luz tende, ao longo da sequência de apresentações, à frequência com que a luz é apresentada daquele lado.

Alternativamente, após um período inicial de prospecção, a escolha da opção mais frequente é aquela que levaria à maximização do retorno (KOEHLER; JAMES, 2009). Para entendermos melhor o quanto cada estratégia renderia ao voluntário, suponha uma sequência binária onde a probabilidade de aparecimento do alvo (recompensa) à esquerda seja de 70% e à direita de 30% (sendo estas probabilidades constantes e independentes do local de aparecimento do alvo imediatamente anterior); a escolha do lado cuja probabilidade de aparecimento é maior (perseveração) seria a estratégia ótima, já que, ao sempre escolher o lado em que o alvo aparece com a maior probabilidade (70%) o ganho final seria, obviamente,

de 70%. Entretanto, se a probabilidade dele escolher o lado com a maior probabilidade for, também, próxima de 70% (pareamento de probabilidades), o agente acertará em apenas 58% das vezes (ver Figura 1).

Figura 1 – Comparação da porcentagem de acerto de duas possíveis estratégias de decisão, dada uma sequência binária sem memória.

EXPERIMENTO COM PROBABILIDADES 0,7/0,3

PERSEVERAÇÃO:

70% x 100% + 30% x 0% = 70% DE ACERTOS

PARAMENTO DE PROBABILIDADES:

70% x 70% + 30% x 30% = 49% + 9% = 58% DE ACERTOS

Em vermelho: Probabilidade de aparecimento do alvo
Em preto: Probabilidade de escolha do voluntário

Fonte: Victorino (2012).

De acordo com James e Koehler (2011), esta tendência a parear as decisões do voluntário com a probabilidade de aparecimento dos eventos tornou-se um grande quebra-cabeça na área de tomada de decisão envolvendo probabilidades porque a escolha pelo evento de maior frequência numa série de tentativas renderia uma porcentagem de acerto, ou acurácia, maior e, consequentemente, maior recompensa. O problema que este fenômeno gera é que se o processo de tomada de decisão fosse o mais racional do ponto de vista evolutivo, a estratégia a ser escolhida por agentes humanos, neste caso específico, deveria ser a perseveração e não o pareamento de probabilidades.

Apesar de ser uma situação experimental que é, essencialmente, de natureza econômica, no sentido em que se procura alcançar o máximo de recompensa esperada (ARROW, 1958), o indivíduo não alcança - mesmo quando no limite - um comportamento de natureza ótima. Muitos autores tentaram explicar o fato de humanos adultos tenderem a escolher uma estratégia de decisão sub-ótima (ver VULKAN, 2000).

O trabalho de Shanks et al. (2002) modificou o peso das recompensas e a fase de treinamento das tarefas dadas aos voluntários durante o experimento. Eles observaram que o treino intensivo e o aumento das recompensas aumentaram o número de indivíduos perseveradores da amostra (mantinham a mesma estratégia e, portanto, perseveravam num

dado comportamento). Já West e Stanovich (2003) notaram uma correlação entre um melhor desempenho no SAT (teste de admissão em universidades dos Estados Unidos) e o uso de estratégias de perseveração. Nota-se, entretanto, que, apesar desses achados poderem ajudar na solução do problema, eles ainda não conseguem explicar o fato de que humanos adultos continuem a adotar a estratégia sub-ótima.

Ao estudarem pacientes com cérebro dividido (indivíduos epilépticos que tiveram o corpo caloso seccionado) e aplicando testes de escolha binária repetida para cada hemisfério, Wolford, Miller e Gazzaniga (2000) observaram que o hemisfério direito empregava perseveração, enquanto o hemisfério esquerdo realizava pareamento de probabilidades. Isso poderia gerar a impressão de que talvez o hemisfério esquerdo, em indivíduos saudáveis, passasse a controlar o processo de tomada de decisão em alguma parte do desenvolvimento. Porém, ainda não é claro o motivo que levaria ao emprego de estratégias sub-ótimas, pois mesmo que o hemisfério direito dê lugar ao esquerdo, ainda não se pôde responder as eventuais razões adaptativas de uma estratégia ótima dar lugar a uma sub-ótima.

Uma explicação comumente relatada na literatura é que isso supostamente ocorra devido à procura, por indivíduos maduros, de um padrão na sequência (ver VULKAN, 2000), o que teria significado adaptativo do ponto de vista evolutivo, já que o ambiente em que vivemos é repleto de relações encadeadas por padrões.

Essa necessidade faria com que o indivíduo, ao buscar um padrão, acabe chegando ao pareamento das probabilidades dos eventos, pois a busca por um padrão levaria o indivíduo a optar pela prospecção da sequência, em detrimento da exploração, visto que a descoberta de um padrão renderia um maior retorno em comparação à simples exploração do lado mais frequente.

Embasando a ideia da busca por padrões, Unturbe e Corominas (2007) notaram que, quanto mais desenvolvido o sistema nervoso de um mamífero, maior a chance deste realizar pareamento de probabilidades. Pombos e ratos tendem à perseveração (ver BITTERMAN, 1975 e, para controvérsias sobre seu trabalho, ver BANNA; DE VRIES; NEWLAND, 2011), enquanto chimpanzés apresentam um curto período em que delineiam o pareamento de probabilidades, seguido de perseveração (ver DOUGLAS; PRIGRAM, 1965). Já humanos persistem por longo tempo na estratégia de pareamento de probabilidades (ver BRACKBILL; BRAVOS, 1962; FIORINA, 1971; VULKAN, 2000), o que se dá possivelmente porque o seu sistema nervoso os levaria a fazer melhores previsões quando a sequência de eventos apresentasse algum tipo de memória (i.e.; existisse a dependência do aparecimento do alvo em

uma alternativa em relação ao aparecimento passado do alvo em outra alternativa); ou seja, o pareamento de probabilidades consistiria na consequência natural de uma estratégia ótima de previsão, a qual emergiria como uma vantagem evolutiva num ambiente em que a detecção de padrões regulares (por organismos que possuam a capacidade cognitiva adequada para tanto) seria uma habilidade selecionada positivamente (FEHER-DA-SILVA; BALDO, 2012).

Em contraposição a esta ideia, Unturbe e Corominas (2007) notam que o teste de hipóteses não é a única forma de explicar o pareamento de probabilidades e que a busca por padrões não seria, necessariamente, a única razão da adoção desta estratégia. Segundo os autores, um outro modo de explicar este fenômeno é admitir que humanos adotariam uma estratégia de acerta/fica, erra/muda ("*win-stay/lose-shift*"), a qual consiste em manter a escolha na alternativa em que se ganhou anteriormente ou a mudar de alternativa quando se perdeu, fazendo com que o indivíduo copie a sequência gerada com uma tentativa de atraso, reproduzindo assim as probabilidades de aparecimento do alvo e, consequentemente, pareando as probabilidades.

Fato é que Unturbe e Corominas (2007) não obtiveram evidências que sustentem inteiramente a afirmação acima e demonstraram que a adoção de uma estratégia de pareamento tem relação estatisticamente significativa com a complexidade das regras elaboradas por voluntários e imaginadas após a realização de um teste contendo uma sequência binária sem memória. Seus resultados mostraram que quanto maior a complexidade dos padrões ou regras imaginadas pelo voluntário para uma sequência de resultados, maior a sua tendência em realizar pareamento de probabilidades, sendo o contrário também válido: quanto menos inventivo o voluntário, maior a sua tendência à perseveração.

Já Feher-da-Silva e Baldo (2012) e Feher-da-Silva (2011) investigaram o comportamento de redes neurais artificiais capazes de realizar escolhas numa longa sequência binária e de se reproduzirem sob a pressão evolutiva derivada do valor adaptativo de sua escolha. Em uma série de experimentos, sequências que expressavam padrões com diferentes graus de dificuldade foram oferecidas - em um cenário de vida artificial - a populações de redes neurais com diferentes capacidades de processamento (número de neurônios da rede). Seus resultados mostraram que os animais que evoluíram sob a pressão de sequências, contendo padrões menos previsíveis, sempre tendiam à perseveração quando confrontados com uma sequência-teste aleatória sem memória (cadeia de Markov de ordem zero). Mais interessante é que aqueles animais que evoluíram sob a pressão de sequências contendo um padrão de regularidade mais simples tinham um melhor desempenho nestas condições, mas,

quando expostos à sequência-teste aleatória, tendiam à estratégia de pareamento de probabilidades. Assim, seus resultados sugeririam que humanos, ao evoluírem em um ambiente repleto de padrões com regularidades simples, e tendo um sistema nervoso capaz de aprender tais padrões, tenderiam a realizar pareamento de probabilidades quando confrontados com uma sequência binária contendo um padrão muito complexo ou sem qualquer regularidade.

Evidentemente que se poderia pensar que a simples informação de que a sequência não contém nenhum tipo de regularidade poderia influenciar a tomada de decisão do indivíduo e levá-lo a suprimir a busca de padrões por saber que eles, aí, não são possíveis; Fantino e Esfandiari (2002) notaram que mesmo deixando claro aos voluntários que a sequência era sem memória, indivíduos melhoraram o seu desempenho em relação à estratégia ótima, mas sem atingir o nível ótimo associado à perseveração. Assim, apesar das evidências de que o pareamento de probabilidades seria fruto da busca de padrões, ainda existem muitos fatos não explicados.

O estudo da vida artificial possibilita a observação do aprendizado da espécie, a partir da evolução de sua rede neural em contextos moduláveis, o que não é possível no caso de um estudo em humanos. Entretanto, ao se constatar a existência de diferenças no sistema nervoso de uma mesma espécie durante as suas etapas de desenvolvimento (ver KAGAN, 2010) pode-se observar se existem diferenças nas estratégias de tomada de decisão em sequências binárias de escolha repetida para cada etapa e averiguar se o surgimento da busca por regularidades numa etapa infantil estaria relacionado ao aparecimento da estratégia de pareamento de probabilidades. Desta maneira, o estudo da tomada de decisão em sequências binárias com e sem previsibilidade durante o desenvolvimento poderia trazer evidências se a explicação de busca de padrões está ou não embasada nos fatos.

1.4 Desenvolvimento do processo de tomada de decisão e pareamento de probabilidades

De acordo com Weber e Johnson (2009) como processos psicológicos possuem trajetórias de desenvolvimento, a pesquisa envolvendo tomada de decisão e julgamentos sempre mostrou grande interesse em comparar os processos e as competências da tomada de decisão em crianças, adolescentes, jovens e idosos. Gaechter, Johnson e Herman (2007) mostraram que a aversão a perdas em experimentos envolvendo risco e incerteza aumenta com a idade. Idosos também mostraram uma maior aversão a risco num estudo de Jianakopolos e Bernasek (2006). A idade também foi fator importante na natureza da

informação que é codificada e utilizada (WEBER; JOHNSON, 2009). Carstersen e Mikels (2005) mostraram a grande influência do mau-humor nas decisões de jovens adultos e grandes efeitos do bom-humor nas decisões de idosos, modificando por isso as suas estratégias de decisão. Estudos envolvendo tomada de decisão em sequências binárias também mostraram o efeito da idade no processo de tomada de decisão.

Canfield e Haith, 1991 demonstraram que bebês com idade de dois meses já fazem movimentos antecipatórios dos olhos depois de poucos minutos de exposição a estímulos visuais que se alternam. Mais interessante é que ao redor de três meses - diferentemente dos recém-nascidos de dois meses - recém-nascidos podem elaborar rapidamente uma expectativa para sequências assimétricas (i.e.; eventos com probabilidades de aparecimento distintas), o que demonstra que diferenças de idade levam a um rápido desenvolvimento da habilidade de se fazer previsões (CANFIELD; HAITH, 1991). Deste modo, a previsão de estímulos futuros de uma sequência pode variar conforme o desenvolvimento.

Já Derks e Paclinasu (1967) demonstraram que as estratégias de tomada de decisão em sequências binárias podem mudar, dependendo da faixa etária em que se encontra o indivíduo. Esses autores verificaram as estratégias decisionais de voluntários de três a vinte e cinco anos de idade e constataram que, conforme o desenvolvimento havia uma tendência para a adoção da estratégia de pareamento de probabilidades. Em crianças de três anos e três meses a quatro anos e onze meses notou-se que a estratégia predominante incluía a opção pelo lado contendo a maior probabilidade de aparecimento do alvo; já ao redor dos cinco anos, as crianças já apresentavam uma queda no desempenho, realizando uma busca que não condizia com o lado mais frequente (DERKS; PACLINASU, 1967). Sendo assim, crianças de quatro anos tendiam a perseverar no lado mais provável, enquanto crianças mais velhas realizavam uma estratégia que se mantinha abaixo do desempenho referente à estratégia de pareamento de probabilidades, a qual é denominada de “subpareamento” (“*undermatching*”). A partir dos cinco anos, Derks e Paclinasu (1967) demonstraram que, conforme se dava o amadurecimento infantil, a estratégia passava de “subpareamento” para um pareamento de probabilidades que se manteria até a idade adulta.

Deve-se notar que apesar deste trabalho informar sobre as diferentes estratégias empregadas por faixas etárias até os vinte e cinco anos, ele não inclui uma análise de estratégias empregadas por indivíduos mais velhos, incluindo idosos. Além disso, não se sabe se o desenvolvimento das estratégias de tomada de decisão se dá aos saltos ou gradualmente, sendo que há ainda que se saber se o desenvolvimento dessas capacidades se cristaliza na

infância ou adolescência, mantendo estratégias de previsão similares durante toda a idade adulta, ou se ela vai se aprimorando ou decaindo com o avanço da idade.

O trabalho de Weller, Levin e Denburg (2011) estudou a tomada de decisão, envolvendo risco, de voluntários de 5 a 85 anos. No caso de seu estudo, tarefas envolvendo tomada de decisão com risco são aquelas em que o resultado da decisão não é sabido, mas a probabilidade associada a cada possível resultado o é (WELLER; LEVIN; DENBURG, 2011). Apesar de não ser um trabalho que envolve sequências binárias e pareamento de probabilidades, ele nos dá uma ideia da influência que a idade traz no processo de tomada de decisão. Os autores mostraram uma relação decrescente, com relação à idade, em termos de tomada de decisão arriscada, isto é, crianças tomavam mais decisões arriscadas quando comparadas com idosos. Ainda, crianças de 5 anos tendiam a arriscar mais, quando estavam ganhando, do que crianças mais velhas, ou seja, tendiam a mudar mais de alternativa, mesmo quando ganhavam. Outra diferença encontrada é que idosos de 65 a 85 anos e adultos de meia idade não apresentaram diferença em seu comportamento de risco em tomada de decisão, porém adultos de 18 a 44 anos apresentaram comportamento mais arriscado e por fim, adultos de 18 a 25 anos apresentaram comportamento menos arriscado que crianças. Caufmann et al. (2010) observaram resultados similares quando analisaram o comportamento de risco de crianças, adolescentes e adultos. Seus resultados mostraram que crianças tendem a arriscar mais do que adultos quando tomam decisões que envolvem probabilidades. Além disso, Levin et al. (2007) mostraram que crianças de 5 a 7 anos arriscam-se mais quando estão ganhando do que crianças de 8 a 11 anos.

Assim, os trabalhos acima mostram que a mudança de faixa etária parece trazer importantes modificações no processo de tomada de decisão. Sabe-se que os adultos não maximizam seus ganhos por meio da estratégia de perseveração como fazem as crianças, pois Derks e Paclinasu (1967) mostraram que somente crianças pequenas até os cinco anos optam pela estratégia ótima, o que se modifica com o avanço da idade. A pergunta que se coloca, então, é o porquê da opção por uma estratégia ótima ser observada apenas no início do desenvolvimento, dando lugar a uma estratégia sub-ótima com a progressiva maturação do sistema nervoso e se esta modificação tem alguma relação com o desenvolvimento de busca de padrões nos indivíduos.

O desenvolvimento durante a infância, a sua maturidade na fase adulta e o seu fenecimento na velhice possibilita não só investigar como um sistema nervoso mais amadurecido e menos amadurecido lida com um sistema irregular, como também o modo

como ele lida com sistemas regulares dos mais simples aos mais complexos. A modificação da habilidade de se fazer previsões conforme o desenvolvimento parece óbvia na medida em que o desenvolvimento do encéfalo levaria ao aperfeiçoamento de estratégias cognitivas. Todavia, não se sabe em quais faixas etárias ocorreriam as diferenciações, se são poucas ou muitas as modificações de estratégias durante o desenvolvimento, que tipos de estratégia de aprendizado cada faixa etária emprega e se essas modificações têm relação com o desenvolvimento da busca de padrões e a adoção do estratégias sub-ótimas.

2 JUSTIFICATIVA

Espera-se que o estudo da tomada de decisão binária, em diferentes faixas etárias, não só aumente o conhecimento sobre as estratégias de tomada de decisão binária durante o desenvolvimento, como possa trazer explicações sobre a adoção de estratégias sub-ótimas em adultos, quando expostos a problemas de decisão binária.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar as estratégias de tomada de decisão em voluntários humanos de diferentes faixas etárias, comparando-as entre si e permitindo avaliar a ontogenia do processo de decisão em sequêcias binárias de escolha repetida.

3.2 Objetivos específicos

Estudar a sequência de decisões tomadas por voluntários humanos ao longo de uma sucessão de escolhas binárias (duas alternativas mutuamente exclusivas) sob os seguintes cenários experimentais:

a) emprego de voluntários de diferentes idades representativas de nove faixas etárias estendendo-se da infância à senescência;

b) manipulação do grau de aleatoriedade (e consequente previsibilidade) com que cada uma das duas alternativas na sequência de escolhas estará associada à recompensa obtida pelo voluntário;

c) utilização de diferentes técnicas matemáticas na análise das sequências de respostas de decisão binária e na extração das respectivas estratégias decisionais em cada uma das condições experimentais (definidas pela conjunção dos fatores *faixa etária* X *aleatoriedade (previsibilidade) da sequência*).

4 MATERIAL E MÉTODO

4.1 Voluntários

Nove faixas etárias fizeram parte do grupo experimental: 3-4 anos, 4-5 anos, 6-7 anos, 8-9 anos, 10-12 anos, 20-25 anos, 40-45 anos, 60-65 anos e 70-75 anos, contendo, cada faixa etária, respectivamente, um total de nove, nove, doze, dez, onze, doze, doze, onze e onze voluntários. Todos os voluntários foram informados sobre a natureza do experimento e não tinham experiência prévia nas tarefas a serem realizadas. Antes do início dos experimentos, os voluntários ou responsáveis foram convidados a assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (ANEXO A para menores de 18 anos e ANEXO B para maiores de 18 anos), e a preencher os questionários específicos para cada grupo (ver ANEXOS C, D, E e F).

4.2 Critérios de Exclusão

Resultados de voluntários foram excluídos da pesquisa em função das respostas aos questionários apresentados nos Anexos C e D (adultos) e E e F (crianças) (ver Resultados). Foram utilizados como critério de exclusão o uso de medicamentos ou drogas psicotrópicas, histórico de convulsão (pessoal ou familiar), problemas neurológicos, tempo de estudo inferior a quatro anos para voluntários maiores de 10 anos e o conhecimento prévio da tarefa. Voluntários que não terminaram um dos experimentos envolvidos foram igualmente excluídos.

4.3 Procedimento experimental

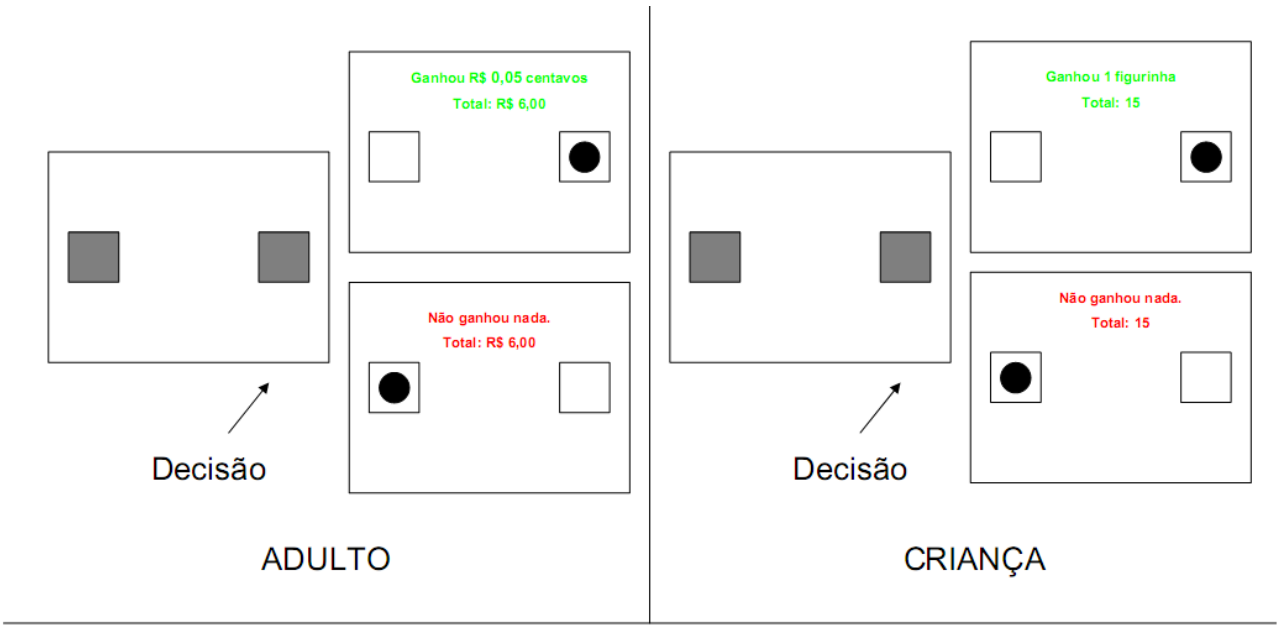
Os voluntários foram submetidos a três tarefas decisionais contendo sequências binárias de escolha repetida, nas quais deveria ser escolhida uma das alternativas, de modo a serem previstos os elementos que continham a recompensa. A escolha pelo voluntário, de um dentre dois possíveis locais de apresentação de um estímulo visual, foi confrontada com o local verídico de apresentação desse estímulo, a qual foi definida por uma rotina computacional. Tal rotina foi implementada através do programa “E-prime 2” e realizada em diferentes ambientes, todos com luminosidade e acústica confortáveis ao voluntário.

Os voluntários sentavam-se numa cadeira confortável posicionada em frente a uma tela de um computador portátil. O voluntário deveria pressionar a tecla “a” para o lado

esquerdo ou a tecla “l” para o lado direito assim que o processo decisional fosse finalizado (sem pressão de tempo). No caso das faixas etárias infantis, as teclas envolvidas foram demarcadas com uma etiqueta rosa para facilitar a localização das teclas envolvidas do teclado. Voluntários idosos ou crianças tiveram auxílio quando não conseguiam apertar os botões do teclado. Somente nos casos das faixas etárias de 3-4 anos e 4-5 anos a pesquisadora se mantinha na sala de experimentos com o voluntário, sentando-se ao seu lado e auxiliando-o durante todo o experimento.

Inicialmente, aparecia na tela do computador dois quadrados cinzas idênticos, sendo um à esquerda e um à direita. Ao optar por um dos quadrados, o voluntário poderia ou não escolher o quadrado correto - o qual continha o sinal (um círculo preto) - ganhando assim uma recompensa caso a decisão coincidisse com a sua localização correta. Após cada resposta, o voluntário recebia informações de seu desempenho, expressas na tela do computador (Figura 2). As recompensas foram diferentes, dependendo da faixa etária do indivíduo: crianças até doze anos recebiam uma figurinha de álbum de colar para cada acerto realizado, sendo que no caso das crianças com idade de até seis anos, o experimentador depositava a figurinha adquirida, a cada acerto, num pote transparente, localizado ao lado do computador e à vista da criança, de modo que ela pudesse visualizar seus ganhos, sem precisar abstrair o processo de acúmulo de recompensas. Esta metodologia foi escolhida, baseada no procedimento experimental de Garon e Moore (2004), os quais, ao trabalharem com crianças destas faixas etárias, notaram a dificuldade destas para abstrair as informações de recompensa geradas pelo computador. Já adultos recebiam a quantia de R$ 0,05 por acerto. A diferença da natureza das recompensas se deve ao fato de que uma mesma recompensa não parece ter força de incentivo de maneira homogênea para todas as faixas etárias.

Figura 2 – Representação esquemática do experimento envolvendo um processo decisional numa sequência binária.



A) Experimento aplicado em adultos com recompensa em dinheiro. B) Experimento aplicado em crianças com recompensa em figurinhas de álbum de colar.
Fonte: Victorino (2012)

Quanto às sequências binárias geradas por "E-prime2", elas foram manipuladas de modo que a probabilidade de aparecimento do alvo à esquerda ou à direita diferisse. Cada voluntário adulto deveria realizar quatro sessões de experimentos, as quais foram compostas por 303 tentativas cada. Inicialmente, o voluntário fazia três tentativas de treino, sem valor de recompensa e com a presença do experimentador, podendo, com isso, tirar suas dúvidas sobre a tarefa; crianças abaixo de doze anos realizaram testes contendo apenas 153 tentativas, sendo três tentativas de treino. O cansaço e a falta de concentração notados nos testes-piloto iniciais com 303 tentativas aplicados às crianças foram o motivo para diminuir pela metade o número de tentativas aplicadas aos adultos.

Por fim, as informações passadas aos voluntários, antes do início do experimento foram padronizadas e podem ser visualizadas no Anexo G.

Adultos realizaram duas sessões de experimento no mesmo dia e a mais uma em um dia diferente, evitando, assim, o cansaço dos voluntários. Além disso, o número de sessões por dia para as crianças foi modificado, realizando apenas uma sessão em cada dia, devido ao cansaço das crianças observado em experimentos-piloto iniciais.

As probabilidades foram manipuladas por apenas um modelo probabilístico: cadeias de Markov.

No caso de cadeias de Markov, a probabilidade de aparecimento do alvo em uma das apresentações da sequência é dependente do aparecimento do alvo em uma apresentação passada. Quando a dependência se relaciona apenas à apresentação anterior, diz-se que a cadeia de Markov apresenta ordem 1; caso o aparecimento do alvo tenha relação com duas apresentações anteriores, a cadeia de Markov é classificada como de ordem 2 e, tendo uma dependência de *n* apresentações anteriores, diz-se cadeia de Markov de ordem *n*. Quando não há dependência entre as alternativas, a cadeia de Markov é de ordem 0.

No caso de uma cadeia de ordem 1, como existem duas possibilidades de aparecimento do alvo, sendo elas direita (D) e esquerda (E), existem quatro possíveis relações de dependência entre o alvo presente e o anterior, sendo elas D depois de E, D depois de D, E depois de D e E depois de E. Para ordens maiores as possíveis probabilidades de dependência aumentam. Essas probabilidades de dependência são definidas por meio de uma matriz denominada matriz de transição de uma cadeia de Markov (ver figura 3 para uma matriz hipotética).

Figura 3 – Matriz de transição para uma cadeia de Markov de ordem 1.

		Apresentação N-1	
		Esquerda	**Direita**
Apresentação N	**Esquerda**	prob(E|E)	prob(E|D)
	Direita	prob(D|E)	prob(D|D)

"Apresentação N" se refere à N-ésima apresentação da sequência, e "Apresentação N-1" se refere à apresentação imediatamente anterior. Os elementos da matriz expressam a probabilidade (prob) de que o alvo seja apresentando à direita (D) ou à esquerda (E), na Apresentação N, dado que (indicado pelo símbolo "|") tenha sido apresentado à direita ou esquerda na Apresentação N-1.
Fonte: Victorino (2012)

O conceito clássico de cadeia de Markov afirma que a ocorrência do evento presente depende apenas da ocorrência do evento anterior (ver Markov, 1971), porém é possível extrapolar o conceito definindo-se as probabilidades de dependência de um evento aparecer numa dada apresentação, relativo ao aparecimento do alvo em duas ou mais apresentação anteriores, formando cadeias de ordens *n* (para mais detalhes a respeito de cadeias de Markov, ver Meyn; Tweedie, 2008).

A primeira sessão do teste foi composta por um experimento cujas probabilidades de apresentação do alvo à esquerda ou à direita eram independentes da apresentação anterior, definindo, portanto, uma cadeia de Markov de ordem 0, e gerando-se uma sequência sem memória. Essas probabilidades de aparecimento do alvo, à esquerda e à direita, foram fixadas,

respectivamente, em 0,7 e 0,3 (lado 1), sendo que, para metade dos voluntários de cada faixa etária, as probabilidades de aparecimento foram invertidas (lado 2).

As probabilidades de aparecimento do alvo de cada lado para a ordem 0, bem como as matrizes de transição para as outras duas ordens, podem ser visualizadas na Figura 4.

Figura 4 – Matrizes de transição empregadas para gerar as sequências dos experimentos M0, M1 e M2, tanto na configuração para o Lado 1 quanto para a do Lado 2, na qual os lados direito e esquerdo são invertidos. Lado 1 e lado 2 respectivamente.

LADO 1

Ordem 0 (M0)		Apresentação N-1	
		E	D
Apresentação N		0,7	0,3

Ordem 1 (M1)		Apresentação N-1	
		E	D
Apresentação N	E	0,3	1
	D	0,7	0

Ordem 2 (M2)		Apresentação N-1			
		EE	ED	DE	DD
Apresentação N	E	0,7	0	0,3	1
	D	0,3	1	0,7	0

LADO 2

Ordem 0 (M0)		Apresentação N-1	
		E	D
Apresentação N		0,3	0,7

Ordem 1 (M1)		Apresentação N-1	
		E	D
Apresentação N	E	0	0,7
	D	1	0,3

Ordem 2 (M2)		Apresentação N-1			
		EE	ED	DE	DD
Apresentação N	E	0	0,7	1	0,3
	D	1	0,3	0	0,7

Fonte: Victorino (2012)

Um exemplo de sequência gerada pela matriz de ordem 1 é “EDEDEDDEDE”, lembrando que o aparecimento deste padrão não é constante, já que a matriz de transição desta cadeia de Markov apresenta alguns de seus valores entre 0 e 1, ou seja, por mais que seja provável que, depois do aparecimento do alvo à direita, o alvo apareça à esquerda (probabilidade de 70%), isso, obviamente, nem sempre acontecerá (figura 4). No caso da sequência de ordem 2, a matriz gera outro tipo de padrão, sendo um exemplo de sequência gerada “DEEDEEDEEDEEEEDEE”, entendendo-se que este padrão não se repete sempre, pois a probabilidade de aparecer “DE” seguidos de “E” não é 1, mas 0,7 (figura 4).

Por fim, todas as sequências geradas apresentam probabilidades estacionárias (*u*), o que faz com que os valores gerados pela sequência sejam sempre os mesmos, independente do deslocamento no tempo. Para a ordem 0, a probabilidade estacionária é a própria probabilidade de aparecimento da recompensa em um lado ou outro, ou seja, 0,7 e 0,3. Para a ordem 1, as *u*E e *u*D são respectivamente 0,6 e 0,4. Para a ordem 2, *uEE, uED, uDE e uDD* são de 0,25 (para detalhes sobre procedimentos de cálculo das probabilidades estacionárias das ordens 1 e 2 ver COVER; THOMAS, 2006).

Como a cadeia de Markov se baseia em uma relação com eventos anteriores, os primeiros resultados (no caso o primeiro para a ordem1 e o primeiro e o segundo para a ordem 2) não apresentam probabilidade de aparecimento na sequência, sendo assim, o cálculo das probabilidades estacionárias foi importante, pois permitiu indicar um valor de probabilidade de aparecimento desses primeiros resultados na sequência e que valesse para toda a sequência no decorrer do tempo. Além disso, as probabilidades estacionárias são importantes para o cálculo da acurácia máxima possível (ver adiante).

4.4 Procedimentos analíticos

Os procedimentos analíticos foram realizados através do cálculo da acurácia média, ou seja, da proporção entre o número de acertos e o total de respostas analisadas. Além disso, foi realizado o cálculo das taxas de entropia médias (ver adiante) e análise de autocorrelação das sequências geradas pelo computador e das sequências geradas pelo voluntário, bem como a análise da correlação cruzada entre as sequências geradas pelo computador e pelo voluntário (ver adiante).

Como os adultos realizaram um número diferente de escolhas em comparação às crianças, na maioria das análises foram consideradas somente as 100 respostas finais dentre as

primeiras 150 escolhas dos adultos (excluindo-se da análise, portanto, o último bloco de 150 respostas). Porém, no caso das análises de autocorrelação e correlação cruzada, foram computadas integralmente todas as respostas da sequência (300 respostas, no caso dos adultos, e 150 respostas, no caso das crianças).

4.4.1 Acurácia

A acurácia média de cada faixa etária, para cada ordem de cadeia de Markov, foi obtida a partir do cálculo individual da acurácia em cada sequência de respostas, por meio da razão entre respostas certas e total de escolhas na sequência. Além da acurácia para cada faixa etária foi calculada a acurácia máxima total possível (ACC máxima) para cada tipo de sequência - no caso da adoção da estratégia ótima. Relacionado à sequência de ordem 0, a máxima acurácia total seria obtida através da perseveração na alternativa com maior probabilidade de gerar a recompensa. Como o agente só poderia acertar 70% das escolhas caso ele optasse pela perseveração (100% das vezes) no lado mais frequente, a acurácia máxima total seria dada pelo máximo de vezes que ele poderia acertar nesta opção (ACC_{max} parcial) multiplicada pelo total de vezes que ele escolheria aquela opção.

$$ACC_{max}D\ (1) + ACC_{max}E\ (\ 0) = 0{,}7(1) = 0{,}7$$

No caso das outras ordens deve-se calcular a acurácia máxima total também baseada na acurácia máxima parcial que um dado agente pode obter quando opta por investir em uma dada relação de dependência entre os lados (i.e., depois do aparecimento de E, ele opta sempre por D ou opta por D depois de E ou EE ou DD). Esta acurácia máxima parcial é dada pela probabilidade do evento presente aparecer, em relação ao aparecimento de um evento passado. No caso da ordem 1, optando pela perseveração no padrão gerado por esta sequência, a qual constitui-se como sua estratégia ótima, o agente poderá acertar no máximo 70% das vezes quando optar por D depois de E e acertar 100% das vezes quando optar por E depois de D. Neste caso, a ACC_{max} parcial de D depois de E seria de 0,7 e a ACC_{max} parcial de E depois de D seria 1 (ver figura 4). Assim, sabendo a ACC_{Max} parcial para cada relação de dependência, calcula-se o quanto o agente poderá acertar, apostando 100% das vezes naquela relação, dado o limite de acerto (ACC_{max} parcial). Nota-se, porém que além da probabilidade de existir uma dependência, existe ainda a probabilidade do evento aparecer na sequencia, a

qual é dada pela probabilidade estacionária do evento (*u*E ou *u*D). No caso da ordem 0, a probabilidade estacionária já indica a ACC_{max} parcial, porém para as sequências com memória, a ACC_{max} parcial é indicada pela probabilidade de dependência, sendo diferente da probabilidade estacionária.

Neste caso, para calcular a ACC_{max} total não basta apenas prever o máximo que o agente poderá acertar para aquela relação de dependência, mas o quanto ele poderá acertar desta relação de dependência dado a probabilidade do evento aparecer (*u*) e dado a probabilidade dele optar por esta relação. Como a última será sempre 1, visto que imagina-se ser o agente um perseverador do padrão, a acurácia máxima total para um perseverador da estratégia ótima da ordem 1 será dada por:

LADO 1

$$uE(ACC_{max}ED)+uD(ACC_{max}DE)$$

$$0,6(0,7)+0,4(1)=0,82$$

LADO 2

$$uE(ACC_{max}ED)+uD(ACC_{max}DE)$$

$$0,4(1)+0,6(0,7)=0,82$$

No caso da ordem 2, o raciocínio é o mesmo, mas a acurácia máxima para o perseverador do padrão depende agora dos valores de probabilidade dados em suas matrizes de transição de ordem 2, sendo elas: 0,7, para E depois de EE; 1, para D depois de ED; 0,7, para D depois DE e 1, para E depois de DD (ver figura 4). As probabilidades estacionárias (*u*) do aparecimento de EE, ED, DE e DD são de 0,25 para todas elas. Assim, a acurácia máxima para um perseverador da ordem 2 será dada por:

LADO 1

$$uEE(ACC_{max}EEE)+uED(ACC_{max}EDD)+uDE(ACC_{max}DED)+uDD(ACC_{max}DDE)$$

$$0,25(0,7)+0,25(1)+0,25(0,7)+0,25(1)=0,85$$

LADO 2

$$uEE(ACC_{max}EED)+uED(ACC_{max}EDE)+uDE(ACC_{max}DEE)+uDD(ACC_{max}DDD)$$
$$0,25(1)+0,25(0,7)+0,25(1)+0,25(0,7)=0,85$$

4.4.2 Taxa de entropia

Para entendermos o que é taxa de entropia, inicialmente deve-se compreender o conceito de informação, proposto por Shanon (1948), segundo o qual a informação de um evento é definida por:

$$I(p) = -log(p),$$

onde "p" é a probabilidade do evento acontecer e log é o logaritmo na base 2. A informação, nesse caso, é medida em bits.

Imagine uma dada moeda que possa apresentar somente cara ou coroa quando arremessada e cuja probabilidade de ocorrência de cada uma dessas duas alternativas seja sempre 0,5 (moeda "honesta"). Sendo assim, a informação só pode ou ser "cara" ou ser "coroa" e, portanto, tem-se aí que a quantidade de informação é sempre 1. Pela definição acima também se chega ao mesmo resultado, pois dada que a probabilidade de se encontrar "cara" ou "coroa" é ½, calculando-se o –log de ½ chegamos ao resultado de I(p) = 1 bit.

Agora, dada uma variável (X) que pode assumir dois valores com probabilidades diferentes de aparecimento (*p* e *1-p*), a quantidade de informação contida neste evento é dada pela média ponderada da quantidade de informação do evento com probabilidade igual a *p* e do outro com probabilidade igual a *1-p*. Esta média ponderada denomina-se entropia (H) e segundo MacKay (2003) é dada por:

$$H(X) = -plog(p) - (1-p)log(1-p)$$

Pode-se facilmente calcular que a entropia *H(X)* é máxima quando *p* é igual a 0,5 e mínima quando *p* = 0 ou *p* = 1, o que faz com que *H(X)* meça o grau de incerteza associada a determinada sequência, pois se *p* é igual a 1 ou a 0, é totalmente certo que o evento sempre ou nunca acontecerá, respectivamente, obtendo-se grau de incerteza igual a 0; no outro caso, se o evento acontecer com probabilidade 0,5, a incerteza é máxima e *H(X)*=1, pois não há

preferência alguma de uma alternativa em relação a outra, podendo ocorrer qualquer uma delas com igual probabilidade.

O conceito de entropia também pode ser utilizado quando o aparecimento de um evento está relacionado a outro evento em uma dada sequência. Este é o caso das cadeias de Markov, onde se pretende calcular a quantidade de informação presente no aparecimento de um dado evento que está relacionado a outro evento anterior. Para se obter a quantidade de informação para uma cadeia de Markov, calcula-se a taxa de entropia (Shanon, 1948). A taxa de entropia é dada pela média ponderada das entropias *H(Xn)*, dadas, cada uma pelas probabilidades *p* e *1-p* de uma variável X. Como as cadeias de Markov apresentam mais de uma variável X, pois são dadas várias probabilidades de dependência, dependendo da ordem, calcula-se a entropia de cada variável e em seguida faz-se a média ponderada destas. Assim, por exemplo, a taxa de entropia da matriz de transição de ordem 2 abaixo seria dada pela figura 5:

Figura 5 – Matriz de transição de uma cadeia de Markov de ordem 2.

ORDEM 2				
EE ant.	ED ant.	DE ant.	DD ant.	
0	0,7	1	0,3	E pres.
1	0,3	0	0,7	D pres.

"Ant." (Resultado anterior), "Pres." (Resultado atual ou presente).
Fonte: Victorino (2012).

$$H\ (evento) = p(EE)H(EE) + p(ED)H(ED) + p(DE)H(DE) + p(DD)H(DD)$$

Onde *p(EE)*, *p(ED)*, *p(DE)* e *p(DD)* são as probabilidades destas sub-sequências aparecerem na sequência (probabilidade estacionária), tanto quando são seguidas por D, quanto quando são seguidas por E. No caso de uma cadeia de Markov de ordem 0 em que não há associações entre os eventos, a taxa de entropia é dada apenas pela entropia *H(X)*. Resumindo, quando tratamos de eventos com probabilidades iguais utilizamos apenas o conceito de informação, porém em processos de Bernoulli, onde *p* e *1-p* não são iguais, deve-se fazer a média ponderada do conceito de informação para cada probabilidade existente e quando existem mais de duas probabilidades, como no caso de cadeias de Markov, calcula-se a média ponderada das entropias obtidas para cada probabilidade.

Um detalhe importante é que a taxa de entropia, é calculada a partir de probabilidades de dependência (dadas por uma matriz de transição), que gerarão uma única sequência. Quando geramos a matriz de transição dos voluntários, porém, não obtemos as probabilidades

de resposta dos voluntários, baseada em suas respostas anteriores, mas as probabilidades de sua resposta, baseada nos resultados anteriores gerados pela sequência do experimento; ou seja, a taxa de entropia calculada aqui utiliza probabilidades de dependência, que relacionam duas sequências e não uma só como no caso clássico. Nota-se que este não é o procedimento padrão para o cálculo da taxa de entropia, pois a natureza das probabilidades utilizadas não é a mesma, porém neste trabalho assumiu-se que este procedimento também está relacionado com a taxa de entropia.

A medição das taxas de entropia das matrizes geradas pelos voluntários possibilitou medir a previsibilidade do comportamento de decisão binária destes indivíduos. Espera-se que quanto maior a taxa de entropia das respostas do voluntário, mais imprevisível será o comportamento dessas respostas, ou seja, dada uma alta taxa de entropia do voluntário imagina-se que seu comportamento de tomada de decisão para estas sequências não seja previsível, pois não se pode prever com clareza o que ele escolherá na próxima tentativa. Assim, este procedimento de cálculo de taxa de entropia pode ser utilizado para avaliar se existe alguma relação entre a previsibilidade do comportamento de tomada de decisão nestes experimentos com a faixa etária dos indivíduos. Obtidas as taxas de entropia de cada voluntário foi calculada a média por faixa etária e por ordem de cadeia de Markov e o erro padrão.

4.4.3 Correlação das sequências geradas pelo computador e pelo voluntário

Como já citado anteriormente o fenômeno de pareamento de probabilidades pode se dar não só porque o voluntário busca um padrão na sequência, mas porque ele realiza a estratégia de "*win-stay/lose-shift*" (ver Unturbe; Corominas, 2007). Ao manter a escolha na alternativa em que se ganhou anteriormente ou mudar de alternativa quando se perdeu - fazendo com que o indivíduo copie a sequência gerada com uma tentativa de atraso - reproduzem-se as probabilidades de aparecimento do alvo, pareando, consequentemente as probabilidades. Outra forma de gerar pareamento de probabilidades é simplesmente copiar o resultado da tentativa anterior, copiando também a sequência.

Uma maneira de descobrir se o voluntário está relacionando sua resposta com o resultado da tentativa anterior é correlacionar a resposta do voluntário com o resultado da tentativa anterior da sequência. Além disso, é também possível saber se o agente está correlacionando suas respostas com qualquer resultado de tentativa de *n*-passos anteriores. A

correlação da sequência de respostas do voluntário com a sequência de resultados é chamada de correlação cruzada, pois envolve duas sequências. Segundo Ramsay e Silverman (2005), em geral se existem dois pares de variáveis observáveis (x_i e y_i), o modo como uma depende da outra pode ser definido pela função de co-variância cruzada, também conhecida, segundo Gooch (2010) de correlação cruzada. Assim, para duas séries temporais discretas, X e Y, define-se a *correlação cruzada* entre elas (R_{xy}), no intervalo de 1 a N e como função do passo τ, pela seguinte expressão (ver DeGroot; Schervish, 2012):

$$R_{xy}(\tau) = \frac{\frac{1}{N}\Sigma_{i=1}^{N}[(x_i - \bar{x})(y_{i+\tau} - \bar{y})]}{\sigma_x \sigma_y}$$

Esta fórmula foi adaptada, no presente trabalho, para[2]:

$$Cxy(\tau) = \frac{1}{N-\tau}\sum_{i=1}^{N-\tau} xiyi + \tau$$

Quando uma mesma série temporal, X, é utilizada na expressão acima, o resultado é chamado de *autocorrelação*:

$$R_{xx}(\tau) = \frac{\frac{1}{N}\Sigma_{i=1}^{N}[(x_i - \bar{x})(x_{i+\tau} - \bar{x})]}{\sigma_x^2}$$

Assim, a correlação das respostas do voluntário com respostas anteriores do mesmo seria autocorrelação. Pode-se, igualmente, analisar a própria sequência e computar se o resultado de uma tentativa presente está correlacionado com um resultado de tentativa anterior. O primeiro caso é denominado de autocorrelação da sequência gerada pelo voluntário e o segundo caso de autocorrelação da sequência gerada pelo computador.

Em todos os tipos de correlação pode-se correlacionar a resposta do voluntário com qualquer tentativa anterior, podendo-se, desta maneira, saber se o voluntário está

---

[2] No cálculo das autocorrelações e correlações cruzadas apresentadas neste trabalho, com o intuito de simplificar a computação, a normalização (divisão pela variância) foi ignorada, sem qualquer prejuízo da informação relevante contida no resultado final.

correlacionando sua resposta com o resultado da tentativa anteanterior ou do resultado ante-anteanterior e assim por diante. Isto é importante porque permite saber se o agente, no caso de correlação cruzada, está percebendo dependências entre resultados anteriores e deste modo se ele consegue adequar suas respostas ao padrão presente na sequência gerada pelo computador. No caso da autocorrelação, pode-se saber se o voluntário estaria respondendo baseado em respostas anteriores, em detrimento dos resultados da sequência.

4.4.3.1 Correlação cruzada

A correlação entre uma dada resposta com um resultado anterior foi realizada para onze passos. Cada valor encontrado para cada passo *n* era chamado de coeficiente de correlação (CC*n*). Esperou-se encontrar uma correlação entre cada resposta do voluntário com o resultado 1º anterior até o seu 10º anterior. No passo zero correlacionou-se a resposta do voluntário com o resultado referente a esta resposta, ou seja, o passo zero não se referiu a uma anterioridade. Inicialmente, cada resposta do voluntário foi correlacionada com o passo zero e com o 1º até 10º resultado anterior da sequência gerada pelo computador. Em seguida, foi feita uma média das correlações positivas de cada tentativa para o passo zero e o 1º até o 10º passo, de modo que fosse possível saber o quanto o voluntário estaria correlacionando sua resposta com um dado resultado de *n* passo anterior. Correlações negativas também foram analisadas, referindo-se ao fato do voluntário correlacionar sua resposta com um resultado anterior de natureza oposta. Como o valor de correlações positivas ou negativas era dividido pelo número de tentativas analisadas, a correlação era máxima quando o valor encontrado era 1 e a anti-correlação era máxima quando o valor encontrado era -1. Correlações inexistentes eram dadas por zero. Ou seja, quanto mais próxima de 1 ou -1 a correlação, positiva ou negativa, era, mais correlações para aquele passo o voluntário teria realizado e quanto mais próximo de 0, menos correlações. Nota-se que para o passo zero, correlações positivas indicam o quanto o voluntário acertou e negativas o quanto ele errou, portanto o valor encontrado para o passo zero indica a acurácia e quanto mais próximo de 1 ele estiver, melhor o desempenho do voluntário para a sessão experimental.

Foi feita a média das correlações de cada voluntário por faixa etária e por ordem do experimento para cada passo, obtendo-se a correlação cruzada média para cada faixa etária e ordem.

4.4.3.2 Autocorrelação da sequência gerada pelo voluntário e da sequêcia gerada pelo computador

Na autocorrelação foi averiguada a correlação entre uma dada resposta do voluntário e sua resposta 1ª anterior até a 10ª anterior. Também foi averiguado o passo zero. Aqui, analisou-se se o voluntário estaria relacionando uma resposta sua com outra resposta sua passada, podendo evidenciar o quanto a resposta do voluntário está focada no experimento ou não. No caso da autocorrelação da sequência, o mesmo procedimento foi realizado, porém analisando a sequência gerada pelo computador. Um detalhe desta análise é que como a resposta de passo zero está sempre correlacionada com ela mesma, tanto a autocorrelação do voluntário, quanto da sequência será sempre 1 para o passo zero, diferentemente da correlação cruzada.

4.4.4 Probabilidade de mudança de alternativa em função do resultado da alternativa anterior

Foi realizado o cálculo da probabilidade de um dado agente optar por uma alternativa dado que a mesma alternativa passada gerou acerto. Ao mesmo tempo foi realizado o cálculo da probabilidade de um dado agente mudar de alternativa, dado que esta mesma alternativa anterior gerou erro. Ambas foram calculadas de modo a averiguar o quanto o agente se aproximava da estratégia de *"win-stay/lose-shift"*.

4.4.5 Análise estatística

Foram utilizados métodos paramétricos, no caso a análise de variância (ANOVA) com múltiplos fatores e pós-teste de Newman-Keuls, quando aplicável. Na maioria das análises, as variáveis independentes (fatores) foram a ordem da matriz de Markov (com até 3 níveis: de ordem 0 a 2) e a faixa etária (com 9 níveis: de 3,9 a 72,1 anos). A variável dependente, em cada caso, dependeu da análise realizada, podendo ser, por exemplo, a acurácia, os coeficientes de autocorrelação ou de correlação cruzada. Outra análise considerou o gênero e o tipo de sessão (lado 1 e lado 2) que o voluntário realizou (ver figura 4) como variáveis independentes.

5 RESULTADOS

5.1 Voluntários

Os experimentos foram realizados com 9 voluntarios de idade média 3,9 anos ± 0,1 (equivalente a 3 anos e 11 meses) 9 voluntários de 4,9 anos ± 0,1 (equivalente a 4 anos e 11 meses), 12 voluntários de 6,8 anos ± 0 (equivalente a 6 anos e 9 meses), 10 voluntários de 8,1 anos ± 0 (equivalente a 8 anos e 1 mês), 11 voluntários de 11,8 anos ± 0,1 (equivalente a 11 anos e 8 meses), 12 voluntários de 24,1 anos ± 0,3, 12 voluntários de 43,9 anos ± 0,8 (equivalente a 43 anos e 11 meses), 11 voluntários de 63,3 anos ± 0,8 (equivalente a 63 anos e 3 meses) e 11 voluntários de 71,2 anos ± 0,3 (equivalente a 71 anos e 2 meses).

Todas as crianças de 3 a 5 anos eram alunas da Creche Central da Universidade de São Paulo; todas as crianças de 6 a 12 anos eram alunas da Escola de Aplicação da USP; todos os participantes de 20-25 anos eram alunos de graduação da USP; os voluntários de 40-45 anos foram recrutados no campus da USP, possuindo vínculos diversos com esta Universidade (i.e., estudantes, funcionários, comunidade do entorno etc). Um dos participantes desta faixa etária foi excluído por apresentar síndrome bipolar, sendo reposto por outra pessoa. Os voluntários de 60-65 e 70-75 anos foram recrutados no curso de condicionamento físico para a terceira idade da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo (8 e 9 pessoas, respectivamente), sendo os restantes recrutados no espaço “BazarCris” de atividades artísticas para a Terceira Idade em Osasco (3 e 2 pessoas, respectivamente) e uma convocada por cartaz de recrutamento.

A escolaridade dos adultos variou bastante dependendo do local do recrutamento e da faixa etária: todos os voluntários de 20-25 anos apresentaram o Ensino Médio completo e Superior Incompleto; na faixa etária dos 40-45 anos, 1 apresentou apenas o 1º grau completo, 4 o Ensino Médio completo, 4 Superior completo e 3 pós-graduação; voluntários de 60-65 e 70-75 anos recrutados na universidade apresentaram o Ensino Superior completo, salvo dois voluntários que apresentaram somente o Ensino Médio completo (1 voluntário da faixa de 60-65 anos). Do total daqueles que apresentavam Ensino Superior completo, 9 apresentaram pós-graduação (3 voluntários da faixa de 60-65 anos). Nenhum dos voluntários recrutados no curso de artesanato apresentou Ensino Médio completo: 2 possuíam Ensino Fundamental completo (2 da faixa de 60-65 anos) e 3 Ensino Fundamental incompleto (1 da faixa de 60-65 anos).

Por fim, a proporção por gênero dependeu bastante da faixa etária em que se encontrava o indivíduo: 3-4 anos (4 meninas, 5 meninos), 4-5 anos (5 meninas, 4 meninos), 6-7 anos (7 meninas, 5 meninos), 8-9 anos (4 meninas, 6 meninos), 10-12 anos (4 meninas, 7 meninos), 20-25 anos (8 mulheres, 4 homens), 40-45 (6 mulheres e 6 homens), 60-65 (8 mulheres e 3 homens), 70-75 anos (3 mulheres e 8 homens).

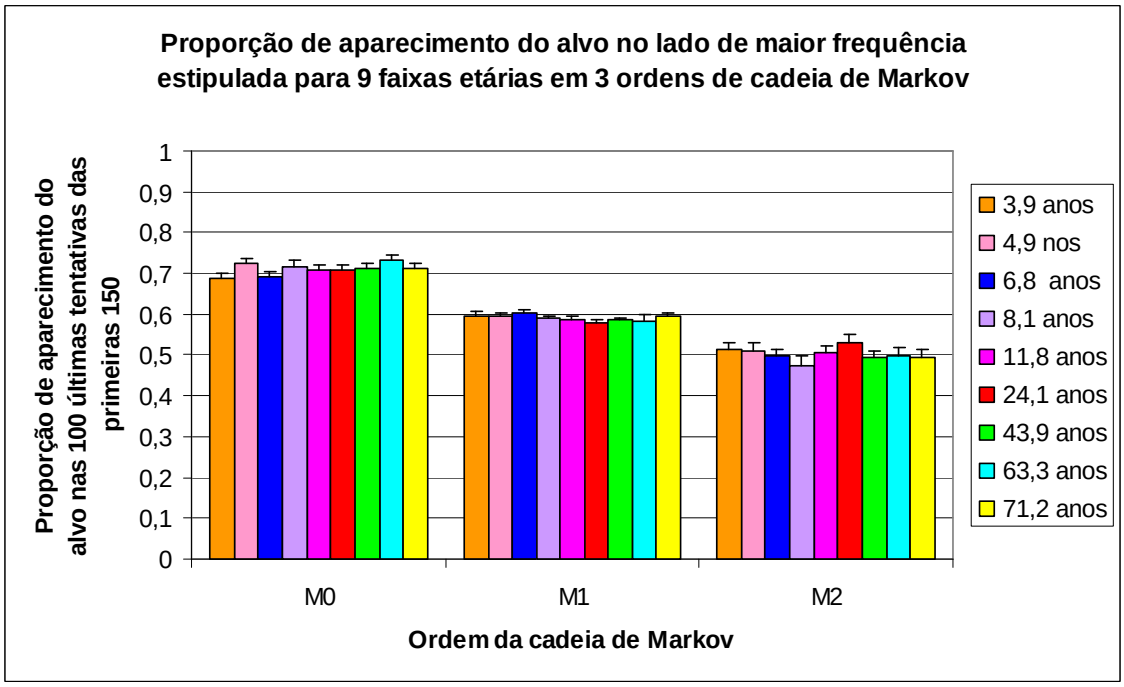
A seguir serão apresentados os resultados para cada tipo de análise (ver Material e Método).

5.2 Resultados das análises

5.2.1 Características das sequências do experimento

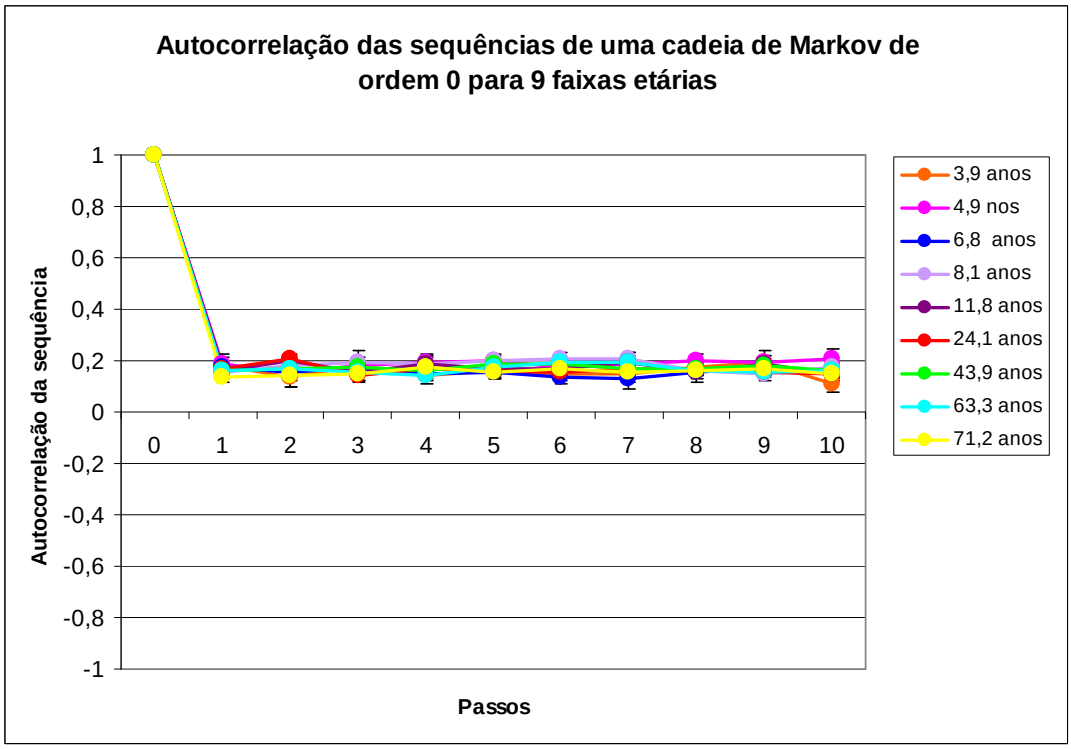
A proporção de aparecimento do alvo, relativa às duas alternativas possíveis, bem como a autocorrelação das sequências médias para cada faixa etárias podem ser visualizadas nas figuras 6, para proporção entre os lados, e nas figuras 7 até 9, para autocorrelação. Nota-se que a proporção entre os lados para as ordens 0, 1 e 2, foram respectivamente: 0,71/0,29 ± 0,004 ; 0,59/0,39 ± 0,002; 0,5/0,5 ± 0,005.

Figura 6 – Proporção média do lado mais freqüente de aparecimento do alvo, encontrada para as sequências realizadas pelos voluntários.



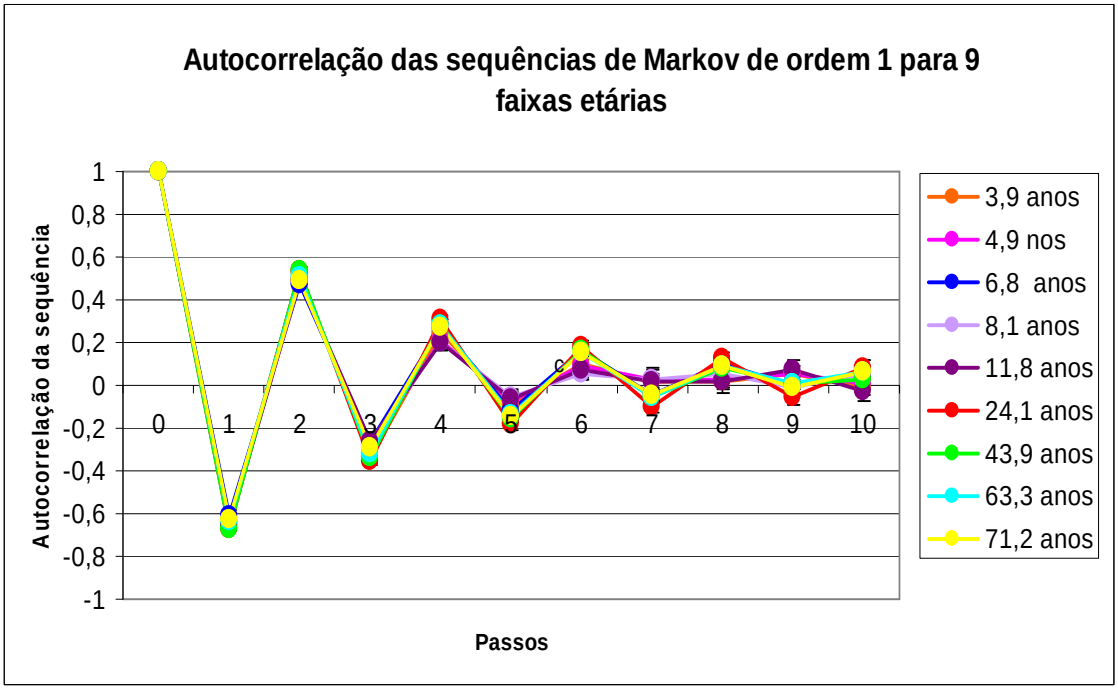
Fonte: Victorino (2012).

Figura 7 – Auto-correlação das sequências geradas pelo computador para as 9 faixas etárias estudadas numa cadeia de Markov de ordem 0.



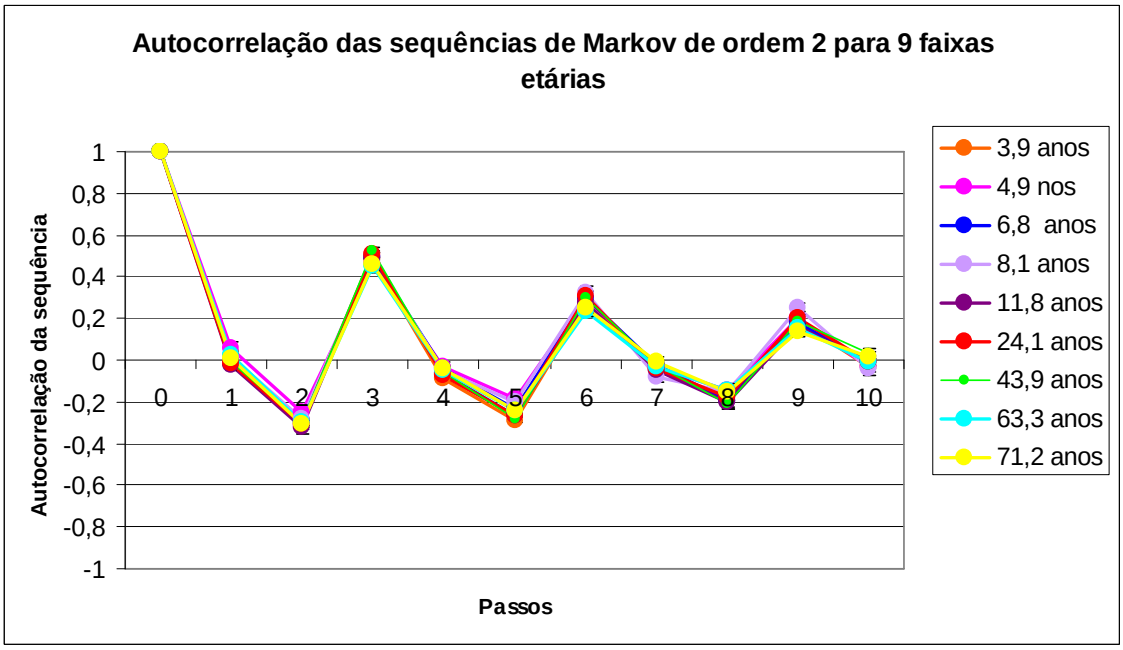
Fonte: Victorino (2012).

Figura 8 – Auto-correlação das sequências geradas pelo computador para as 9 faixas etárias estudadas numa cadeia de Markov de ordem 1.



Fonte: Victorino (2012).

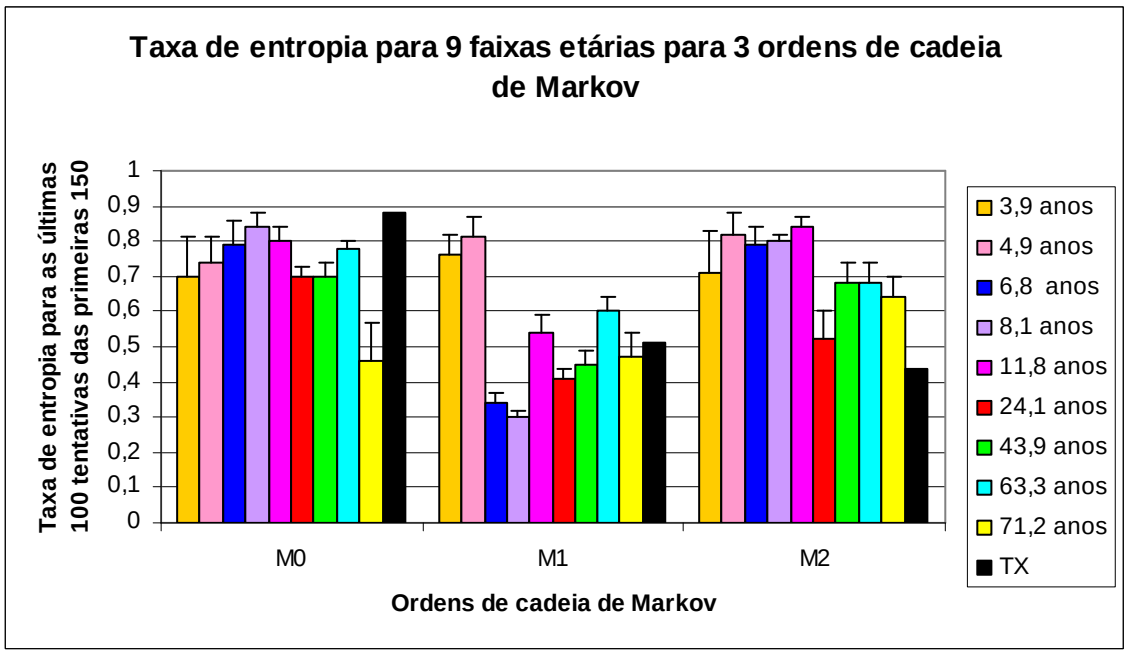
Figura 9 – Auto-correlação das sequências geradas pelo computador para as 9 faixas etárias estudadas numa cadeia de Markov de ordem 2.



Fonte Victorino (2012).

5.2.2 Acurácia

Figura 10 – Acurácia média dos voluntários para cada faixa etária e para cada ordem de cadeia de Markov, contendo a acurácia máxima (ACC máxima) possível, pelo emprego da estratégia ótima referente à cadeia de Markov.



Fonte: Victorino (2012).

Obteve-se significância estatística para os efeitos tanto do fator *faixa etária* (F[8,88] = 8,50; p = 0,00001) quanto do fator *ordem* (F[2,176] = 19,20; p = 0,00001). A interação dos fatores *ordem* e *faixa etária* também foi significativa (F[16,176] = 3,65; p = 0,00001).

O pós-teste indicou que não houve diferença entre os níveis 3,9 e 4,9 anos, 6,8 e 8,1 anos e 63,3 e 72,1 anos; todas as demais faixas etárias diferiram entre si (figura 20 do Apêndice). Além disso, o pós-teste indicou que a acurácia de cada ordem diferiu entre si (figura 22 do Apêndice). Não se obteve significância estatística para o fator *lado do experimento* (F(1,95) =0,40, p=0,52). Igualmente, não houve efeito de interação entre os fatores *lado do experimento* e *ordem* (F(2, 190)=0,08, p=0,92). Não houve efeito do fator *gênero* (F(1,95)=0,08, p=0,76), bem como efeito de interação entre os fatores *gênero* e *ordem* (F(2, 190)=0,42, p=0,66). As figuras mostrando esses efeitos, bem como as tabelas de pós-teste podem ser visualizadas no APÊNDICE (figuras 24 a 27).

5.2.3 Taxa de entropia

Foi medida a taxa de entropia das matrizes de transição das sequências geradas pelo computador (figura 14).

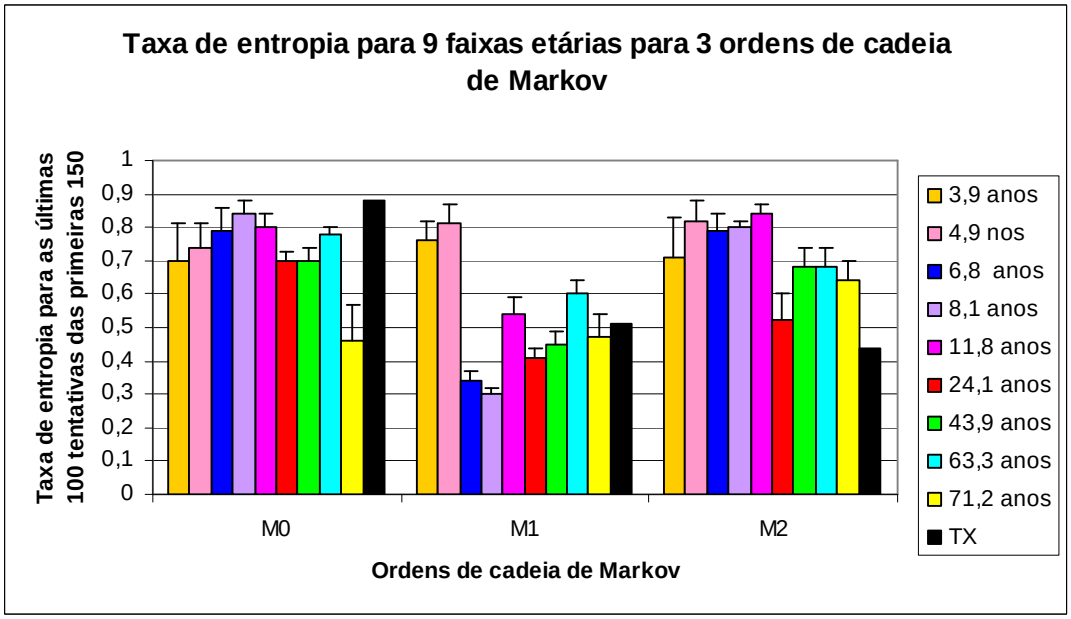
Figura 11 – Valores das taxas de entropia das quatro matrizes utilizadas para gerar as sequências dos experimentos de ordem 0, 1 e 2.

TX M0	TX M1	TX M2
0,88	0,51	0,44

Fonte: Victorino (2012).

Esses valores foram comparados com as taxas de entropia médias de cada faixa etária e podem ser visualizados na figura 12.

Figura 12 – Taxa de entropia média de cada faixa etária estudada para três ordens de cadeia de Markov.



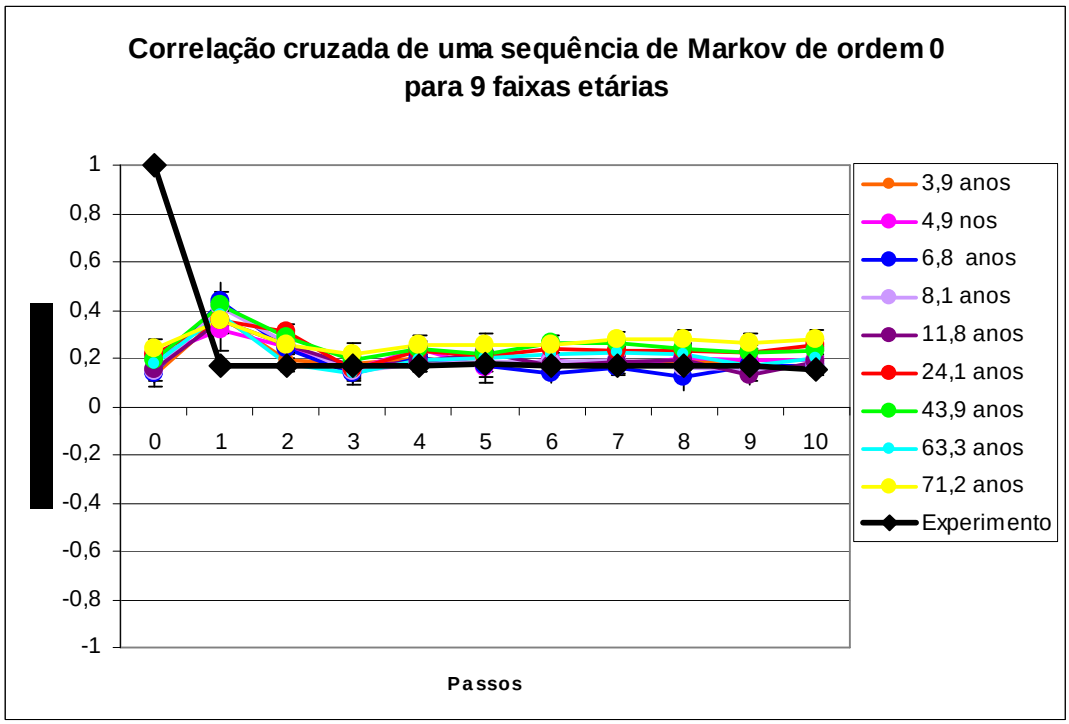
TX indica os valores de taxa de entropia das três matrizes de transição.
Fonte: Victorino (2012).

Houve significância estatística com efeito para os fatores de *faixa etária* (F(8, 88)=2,50, p=0,01) e *ordem* (F(2, 176)=27, 89, p=0,00001); houve efeito de interação entre os fatores *ordem* e *faixa etária* (F(16, 176)=5, 04, p=0,00001). Não houve efeito do fator *gênero* (F(1, 95)=0,06, p=0,80), efeito de interação entre os fatores *gênero* e *ordem* (F(2, 190)=0,29, p=0,74), efeito do fator *lado do experimento* (F(1, 95)=2,68, p=0,10) e efeito de interação entre os fatores *ordem* e *grupo experimental* (F(2, 190)=0,37, p=0,68). Para tabelas de pós-teste e figuras da análise estatística ver Apêndice (figuras 28 a 36).

5.2.4 Análise de correlação cruzada e autocorrelação das sequências geradas pelo voluntário

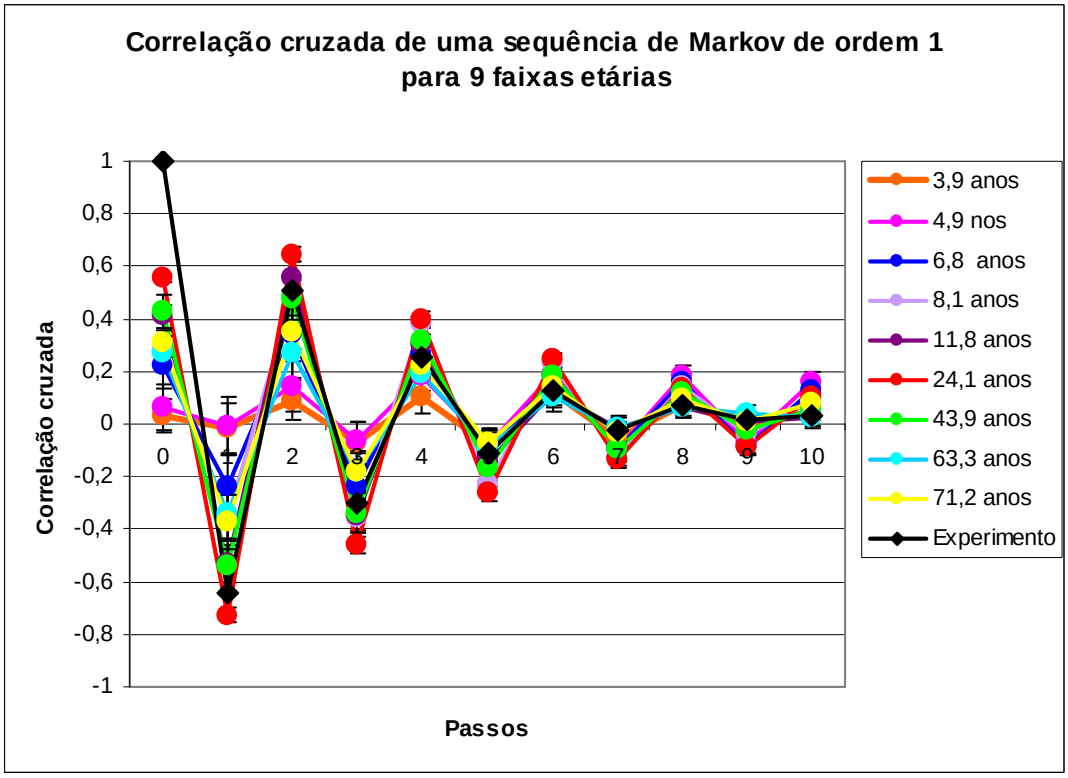
5.2.4.1 Correlação cruzada

Figura 13 – Correlação cruzada de 9 faixas etárias e para uma cadeia de Markov de ordem 0.



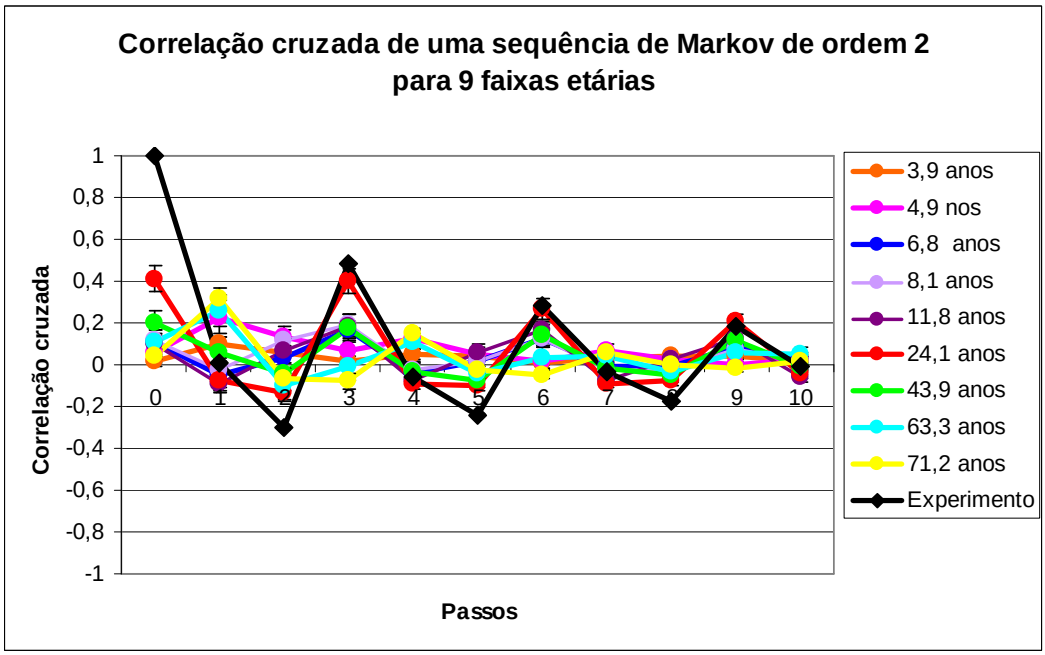
"Experimento"se refere à autocorrelação da sequência gerada pelo computador para a ordem 0.
Fonte: Victorino (2012).

Figura 14 – Correlação cruzada de 9 faixas etárias e para uma cadeia de Markov de ordem 1.



"Experimento"se refere à autocorrelação da sequência gerada pelo computador para a ordem 1.
Fonte: Victorino (2012).

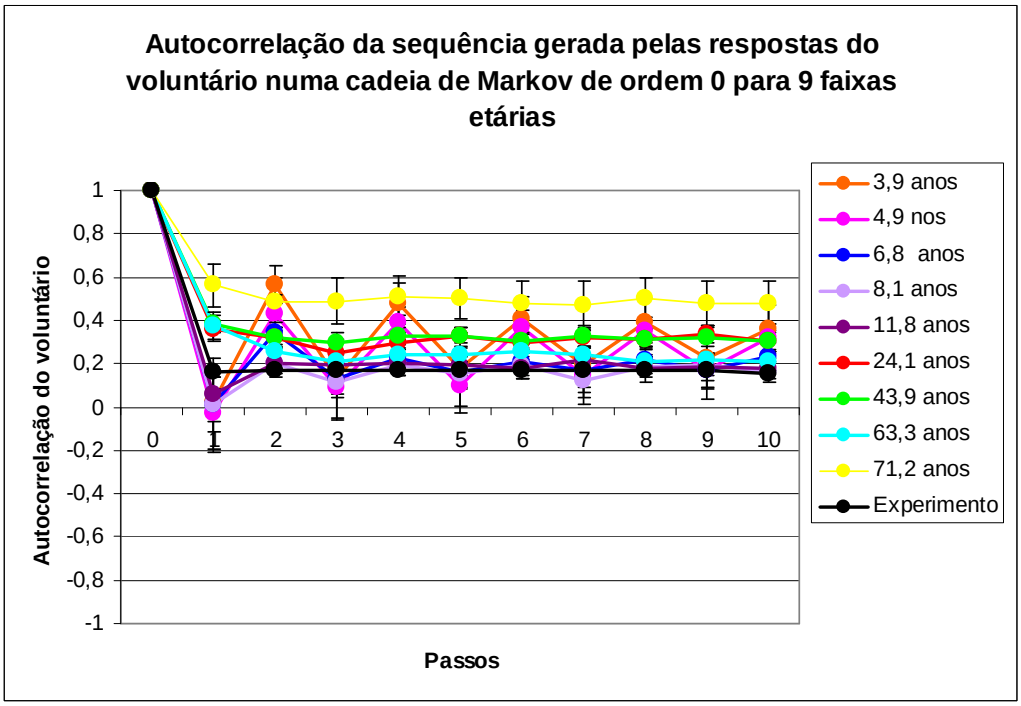
Figura 15 – Correlação cruzada de 9 faixas etárias e para uma cadeia de Markov de ordem 2.



"Experimento"se refere à autocorrelação da sequência gerada pelo computador para a ordem 2.
Fonte: Victorino (2012).

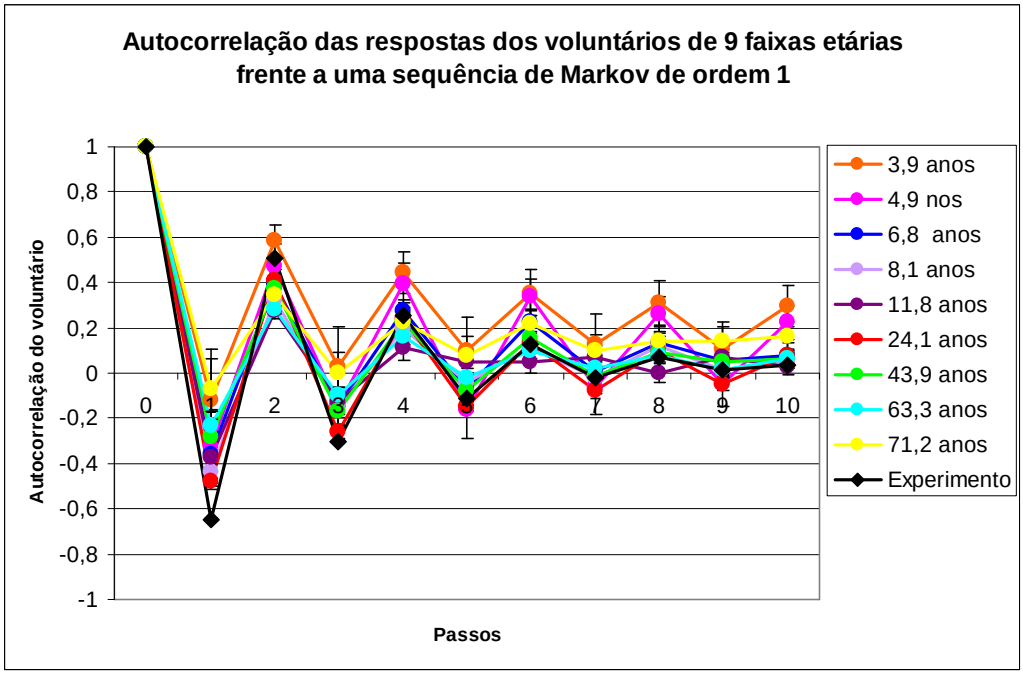
5.2.4.2 Autocorrelação das respostas dos voluntários

Figura 16 – Autocorrelação da sequência gerada pelas respostas do voluntário de 9 faixas etárias para uma cadeia de Markov de ordem 0.



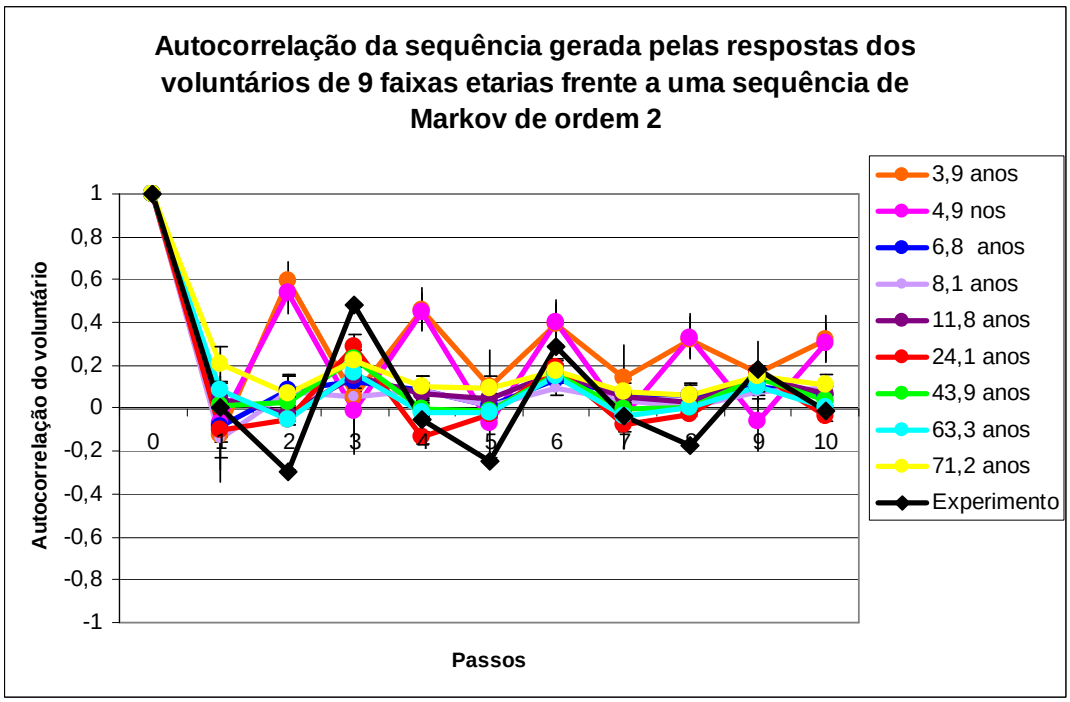
"Experimento"se refere à autocorrelação da sequência gerada pelo computador para a ordem 0.
Fonte: Victorino (2012.

Figura 17 – Autocorrelação da sequência gerada pelas respostas do voluntário de 9 faixas etárias para uma cadeia de Markov de ordem 1.



"Experimento"se refere à autocorrelação da sequência gerada pelo computador para a ordem 1.
Fonte: Victorino (2012).

Figura 18 – Autocorrelação da sequência gerada pelas respostas do voluntário de 9 faixas etárias para uma cadeia de Markov de ordem 2.



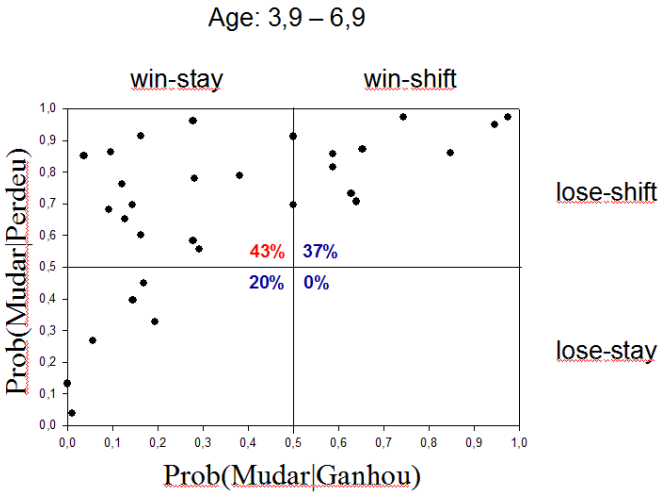
"Experimento"se refere à autocorrelação da sequência gerada pelo computador para a ordem 2.
Fonte: Victorino (2012).

Tanto os gráficos de correlação cruzada como os de autocorrelação foram realizados por ordem de cadeia de Markov; outra disposição das correlações pode ser vista por faixa etária no APÊNDICE (ver figuras 1-9 para auto-correlação das sequências geradas pelos voluntários e figuras 10-18 para correlação cruzada no Apêndice). O teste estatístico para o coeficiente de correlação foi realizado apenas para o coeficiente de correlação no passo 1 da correlação cruzada para ordem 0. Os valores de correlação com o resultado da tentativa anterior foram significativamente diferentes de zero ($p<0,03$), entretanto não houve diferença deste valor para o fator *faixa etária* ($p>0,40$).

5.2.5 Probabilidade de mudança de alternativa em função do resultado da alternativa anterior

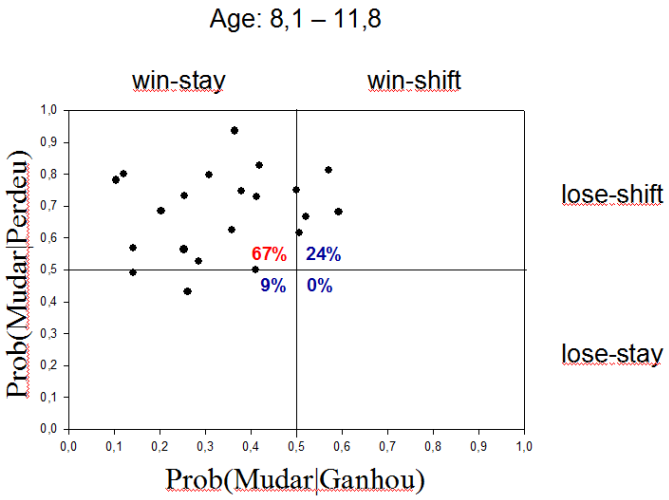
As probabilidades de mudança de alternativa, dado o ganho anterior de recompensa ou sua perda foram calculadas para cada voluntário e divididas por faixa etária, podendo ser visualizadas nas figuras 19 a 23.

Figura 19 – Correlação entre a probabilidade de mudar quando ganhou e a probabilidade de mudar quando perdeu, para cada voluntário da faixa etária de 3,9 a 6,9 anos.



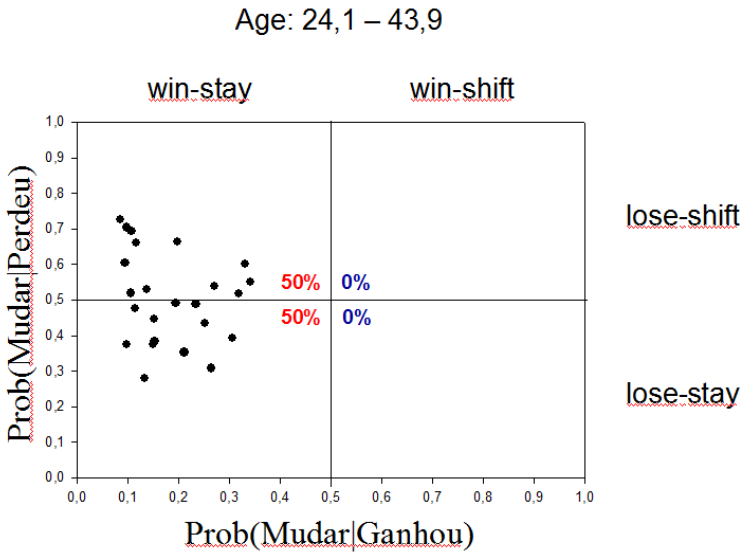
Em vermelho: proporção de voluntários para a estratégia de “ganha-fica/perde-muda”. Em azul: outras proporções.
Fonte: Victorino (2012).

Figura 20 – Correlação entre a probabilidade de mudar quando ganhou e a probabilidade de mudar quando perdeu para cada voluntário da faixa etária de 8,1-11,8 anos.



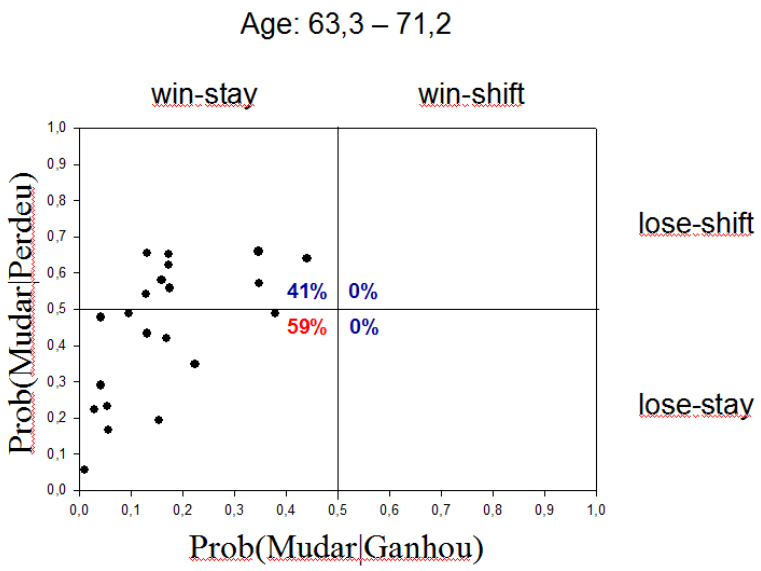
Em vermelho: proporção de voluntários para a estratégia de "ganha-fica/perde-muda". Em azul: outras proporções.
Fonte: Victorino (2012).

Figura 21 – Correlação entre a probabilidade de mudar quando ganhou e a probabilidade de mudar quando perdeu para cada voluntário da faixa etária de 24,1-43,9 anos.



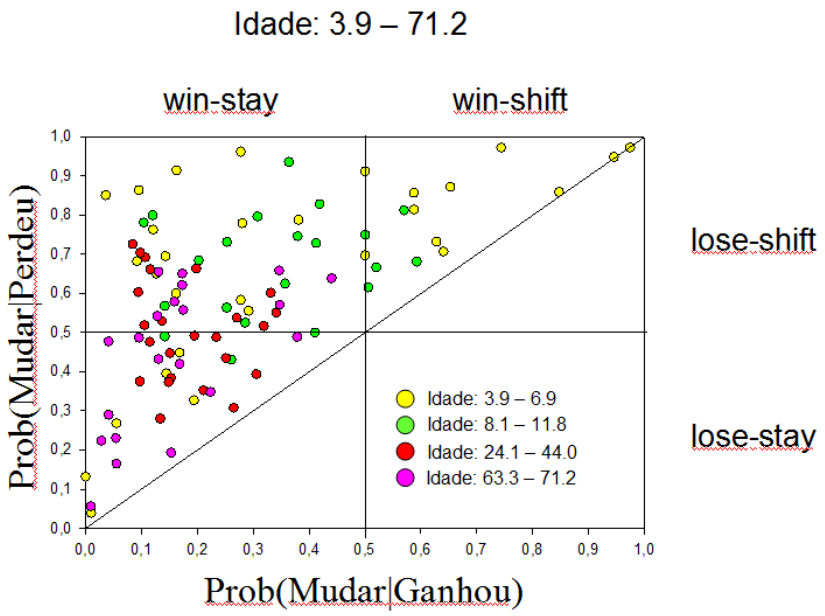
Em vermelho: proporções de voluntários para as estratégias de "ganha-fica/perde-muda" e ganha-fica/perde-fica. Em azul: outras proporções.
Fonte: Victorino (2012).

Figura 22 – Correlação entre a probabilidade de mudar quando ganhou e a probabilidade de mudar quando perdeu para cada voluntário da faixa etária de 63,3-71,2 anos.



Em vermelho: proporção de voluntários para a estratégia de ganha-fica/perde-fica" e "ganha-fica/perde-muda". Em azul: outras proporções.
Fonte: Victorino (2012).

Figura 23 – Correlação entre a probabilidade de mudar quando ganhou e a probabilidade de mudar quando perdeu para cada voluntário de todas as faixas etárias.



Fonte: Victorino (2012).

5.2.6 Resumo dos resultados obtidos

Figura 24 – Significância estatística dos resultados obtidos para cada análise, envolvendo os fatores *faixa etária* e *ordem* e suas interações.

ANÁLISE	Faixa etária	Ordem	INTERAÇÃO
	p<0,05	p<0,05	p<0,05
Acurácia (ACC)	0,00001	0,00001	0,00001
Taxa de entropia	0,01	0,00001	0,00001

Fonte: Victorino (2012).

Não foi encontrado nenhum tipo de efeito relacionado ao fator *lado do experimento* e com relação ao fator *gênero*. Houve diferença entre o coeficiente de correlação cruzada para o passo um em M0 e não houve efeito de faixa etária para este passo.

A análise estatística indicou que há diferenças quanto à acurácia das diferentes idades (figura 20 do Apêndice), apresentando as idades de 3,9 e 4,9 anos comportamento similar, pois suas acurácias diferiram igualmente das acurácias das faixas etárias de 11,8, 24,1 e 43,9 anos. As idades de 6,8 e 8,1 anos também parecem ser similares, pois ambas diferem apenas de 24,1 anos; por fim 11,8 anos parece ser um grupo a parte que difere tanto de 24,1 anos, como de 3,9 e 5,9 anos. No caso das idades pós 24,1 anos, o grupo dos 43,9 anos parece ser diferente do grupo de 63,3 e 71,2 anos, pois tanto difere de 24,1 anos, como de 3,9 anos, enquanto que 63,3 anos difere somente de 24,1 anos. Os grupos etários encontrados para a acurácia podem ser visualizados na figura 31.

Figura 25 – Grupos etários encontrados com acurácias similares.

	Acurácia
	3,9 e 4,9 anos
	6,8 e 8,1 anos
Grupos Etários	11,8 anos
	24,1 anos
	43,9 anos
	63,3 e 72,1 anos

Fonte: Victorino (2012).

6 DISCUSSÃO

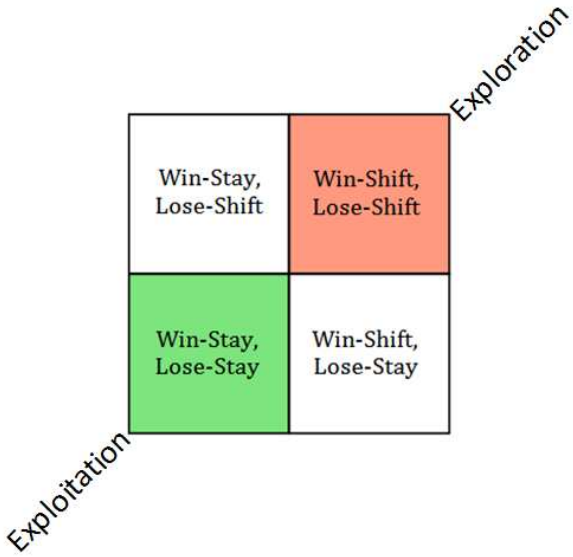
Pôde-se averiguar que dependendo da previsibilidade da sequência de eventos a que se expõe o agente, diferentes faixas etárias podem se comportar similarmente ou diferentemente (figura 10 para acurácia; figura 13 a 15 para correlação cruzada). No caso da sequência sem previsibilidade, todas as faixas etárias chegaram ao pareamento de probabilidades, enquanto que nas sequências com previsibilidade o desempenho variou bastante, conforme a faixa etária (figura 10 para acurácia; figura 13 a 15 para correlação cruzada).

Todas as faixas etárias parecem adotar pareamento de probabilidades na sequência sem memória e isso demonstraria que nenhuma das faixas etárias - em detrimento de modificações fisiológicas relacionadas à idade - adotariam a estratégia de perseveração. Ao contrário desses resultados, Derks e Paclinasu (1967) notaram diferenças entre as faixas etárias para este tipo de sequência, mostrando que crianças de 3-5 anos optam pela perseveração e que crianças de 5-6 anos não fazem pareamento de probabilidades, mas adotam uma estratégia de sub-pareamento. Estas estratégias seriam mais condizentes com a hipótese de que o pareamento de probabilidades só ocorre quando se procura por padrões na sequência, já que crianças de 3,9 e 4,9 anos parecem não assimilar as regularidades presentes nas sequências com memória (figuras 10, 14 e 15). Os resultados aqui presentes, no entanto, apontam para a visão de que o pareamento de probabilidades reflita mais a adoção de "*win-stay/lose-shift*" do que a busca por um padrão na sequência, pois se notou que todas as faixas etárias estudadas parecem optar pela manutenção da resposta na mesma resposta da tentativa anterior que rendeu a recompensa ou mudar de resposta, quando a resposta da tentativa anterior não rendeu a recompensa, o que poderia ser demonstrado pela correlação significativamente diferente de zero para o passo 1 na cadeia de ordem 0, a qual indicaria a adoção desta estratégia ou cópia dos resultados anteriores (figura 13).

Apesar dessa aparente semelhança de comportamento, tanto a análise de probabilidade de mudança de alternativa em função do resultado da alternativa anterior (figuras 19-23), como as análises de taxa de entropia (figura 12), correlação cruzada e autocorrelação (figuras 13 e 16) mostraram que dentro deste equilíbrio entre ganhar-ficar/perder-mudar existem diferenças de adoção de estratégias que beiram mais a ganhar e permanecer (perseveração/exploração) ou mais a ganhar-mudar (prospecção), dependendo da faixa etária analisada.

É possível que a estratégia de "*win/stay-lose/shift*" faça parte de um grupo de estratégias que reflita um dos possíveis balanços entre a prospecção/exploração do meio-ambiente, pois além de "*win-stay/lose-shift*" existem ainda três possibilidades de equilíbrio entre ganhar e perder, sendo elas "*win-stay/lose-stay*" (perseveração com máxima exploração), "*win-shift/lose-shift*" (máxima prospecção) e "*win-shift/lose-stay*" (perseveração no lado menos frequente). Imagina-se que em uma sequência de natureza imprevisível, a estratégia de "*win-stay/lose-stay*" possibilite o maior acúmulo de recompensa (exploração) - quando existe a possibilidade de perseveração - e a estratégia de "*win-shift/lose-shift*" configure-se numa estratégia de máxima prospecção do meio, em que se procura aprender ao máximo sobre o valor das opções (figura 26).

Figura 26 – Quatro possíveis estratégias envolvendo o equilíbrio entre maximização dos ganhos e exploração do ambiente.



Fonte: Victorino (2012).

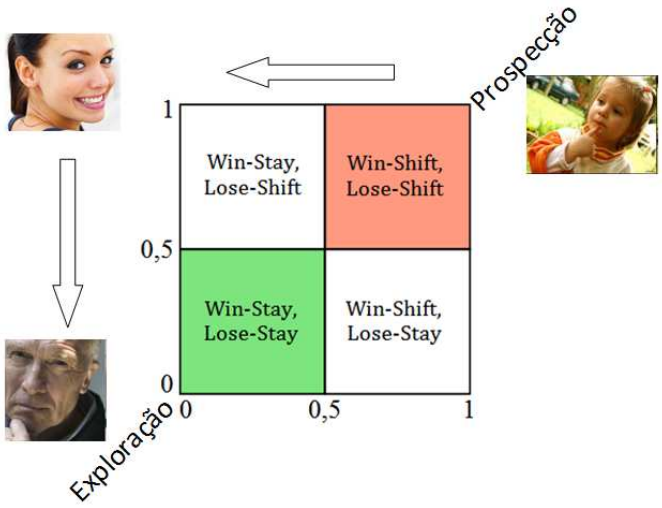
Optar pela prospecção do meio seria mais vantajoso num ambiente contendo regularidade, pois permitiria um melhor aprendizado da natureza da sequência; entretanto, não aprendida a regularidade, ela resultaria num menor acúmulo de recompensa, se utilizada num ambiente em que existisse a possibilidade de perseveração, ou mesmo num ambiente sem ambas as possibilidades. Em um ambiente desconhecido, ao invés de optar apenas pela prospecção do meio ou pela sua exploração imediata, a estratégia intermediária de "*win-stay/lose-shift*" permitiria tanto a prospecção da sequência – caso ela contivesse uma regularidade - quanto a maior opção pelo lado de aparecimento mais frequente do alvo – caso

existisse a possibilidade de perseverar. Sendo assim esta estratégia apresentaria o melhor custo/benefício num ambiente desconhecido, pois permitiria ganhar – mesmo que não o máximo – de ambos os lados.

Como estas estratégias ou tendem mais para a exploração ou para a prospecção, adotar uma estratégia ou outra dependeria então do estímulo que direcionaria para um lado ou para o outro do sistema, no caso: exploração ou prospecção. De acordo com Sutton e Barto (1998), a manutenção na opção que rende mais recompensa caracterizaria o ápice da exploração, enquanto que a frequente mudança de escolha pela opção que mais rende caracterizaria o ápice da prospecção do valor das opções. Os dados deste trabalho indicam que o ápice da prospecção se daria dos 3,9 a 4,9 anos, em que haveria uma tendência da criança de prospectar – através da tendência à alternância, relacionada com suas respostas anteriores – o valor das opções (figuras 16-18 para autocorrelação e 19, 23). Já o ápice da exploração se daria aos 72,1 anos, quando os voluntários tenderiam a se manter na opção que mais lhes renderia recompensas (maximização/perseveração), o que pode ser visualizado pela maior autocorrelação desta faixa etária para a ordem 0 (figura 16), menor taxa de entropia (figura 12) e pela análise de probabilidade de mudança de alternativa em função do resultado da alternativa anterior (figura 22 e 23).

Possivelmente deve existir uma tendência de prospecção, rumo à exploração, da infância ao envelhecimento, passando pela estratégia de melhor custo/benefício no ápice do desenvolvimento (mais uso de "*win/stay-lose/shift*") em adultos jovens, num ambiente desconhecido (ver figura 27 e figuras 19-23).

Figura 27 – Tendência de adoção de estratégias de decisão, visando a exploração/acúmulo de recompensas, do amadurecimento ao envelhecimento.



Fonte: Victorino (2012).

Se esta relação estimula a exploração em detrimento da prospecção, em 72,1 anos, e a prospecção em detrimento da exploração, em 3,9 e 4,9 anos, quando da impossibilidade de assimilar regularidades e na possibilidade de perseverar, 72,1 anos pouco prospectaria a sequência e logo passaria a perseverar no lado mais frequente. Já 3,9 e 4,9 anos continuariam a prospectar a sequência, mesmo se pudessem perseverar, já que possivelmente ainda não se desenvolveu uma sobreposição do acúmulo de recompensas, em detrimento da prospecção do meio.

De fato, nas sequências com previsibilidade, a baixa acurácia infantil, relacionada com a tendência à alternância em todas as sessões e a alta taxa de entropia, mostram que crianças, aparentemente, e apesar da existência de previsibilidade, continuam a prospectar a sequência, enquanto que idosos de 72,1 anos tendem a explorar a sequência sem previsibilidade (ordem 0) e com previsibilidade mais fácil (ordem 1) e a adotar "*win-stay/lose-shift*" ou cópia dos resultados anteriores (ver adiante) quando não conseguem determinar a regularidade da sequência (ordem 2). Assim, nota-se, nesse caso, que a existência de previsibilidade na sequência e, portanto, a ordem da cadeia de Markov parece influenciar o comportamento em idosos, mas não o infantil.

Em crianças, a maior prospecção possivelmente tenha relação com o fato delas ainda não possuírem um sistema de recompensa maduro o suficiente que leve ao acúmulo ótimo de recompensa. Como a tarefa desta pesquisa envolveu também componentes afetivos, pois abrange o acúmulo de recompensas pelos voluntários, diferenças de desempenho entre faixas etárias, encontradas em outros estudos que envolvem igualmente acúmulo de recompensa,

poderiam contribuir para a discussão dos resultados. Muitos trabalhos envolvendo componentes afetivos, igualmente identificaram diferenças relacionadas à idade em outros tipos de tarefas (ver DENBURG; TRANEL; BECHARA, 2005; HARRISON; LAU; WILLIAMS, 2002); o principal elo entre mudanças relacionadas à idade e às mudanças cognitivas, evidenciadas por tarefas decisionais envolvendo recompensas, se relaciona aos estudos de aprendizado de reforço (MOHR; LI; HEEKEREN, 2010). A possibilidade de que mudanças na sensibilidade das faixas etárias para penalidades e recompensas de tarefas decisionais sigam trajetórias de desenvolvimento diferentes é consistente com extensivo corpo de trabalho, mostrando que estes processos são facilitados por circuitos neurais próximos, mas distintos - com o striatum ventral dos núcleos da base (e especialmente o núcleo accumbens) tendo um papel mais importante no processamento de recompensa, a amígdala no processamento da punição (ERNST; SPEAR, 2009), e o córtex orbitofrontal - cujo tempo de desenvolvimento é bastante prolongado (SOWELL ET AL., 2003) - servindo para modular as respostas dessas regiões subcorticais e organizar os estímulos emocionais que determinam a resposta comportamental (BECHARA; DAMÁSIO; DAMÁSIO, 2000).

Damásio (1994) e Bechara et al. (1997), por exemplo, propuseram que os indivíduos, ao tomar decisões, codificam as consequências que cada alternativa dispõe afetivamente, nas regiões frontais, e que esses “marcadores somáticos” servem como importante estímulo no processo de tomada de decisão. O trabalho de McClure et al. (2007) corrobora esta hipótese, pois descobriu-se que as áreas relacionadas à emoção trabalham quando recompensas imediatas são avaliadas, enquanto que as áreas frontais atuam na avaliação de recompensas à longo prazo. Essas regiões parecem sofrer o seu processo de maturação até os 30 anos (CAUFMANN et al., 2010) e atividade alterada ou reduzida em idosos (ver GRADY, 2008).

Evidências indicam que os neurônios dopaminérgicos e componentes dos núcleos da base mostram a sua maior atividade na infância, que decresce, exponencialmente, ao longo das três primeiras décadas de vida (SEGAWA, 2000). A imaturidade do sistema de recompensa poderia levar a uma tomada de decisão não ótima, caracterizada pela constante prospecção do meio em detrimento do acúmulo de recompensas e que daria lugar a decisões ótimas, com o amadurecimento da relação entre prospecção/exploração.

Com o envelhecimento a tendência à exploração torna-se cada vez mais evidente (figura 12 para taxa de entropia, figura 16 para autocorrelação e figura 23). A análise de taxa de entropia evidencia o caráter perseverador de 72,1 anos, apesar de não ser significativa com relação a outras faixas etárias. Aos 72,1 anos parece estar ocorrendo algo excepcional, pois

enquanto a taxa de entropia só tende a aumentar com o envelhecimento, ela volta a cair aos 71,2 anos, apresentando um valor mais baixo que o da faixa etária de 24,1 anos em M0, a qual obteve o melhor desempenho nas duas sessões com memória (ver figura 13). Nota-se que a acurácia desta faixa etária é sutilmente maior que a de todas as faixas etárias mais jovens para M0 (figura 10) e nota-se, igualmente, que para a cadeia de Markov de ordem 1 e ordem 2, a taxa de entropia desta faixa etária é mais baixa do que a da faixa etária anterior, o que não era esperado, visto que parece haver uma tendência de aumento da taxa de entropia com o envelhecimento.

Esta tendência possivelmente foi evidenciada pelo fato de que o número de indivíduos perseveradores, encontrado na faixa etária de 71,2 anos, foi maior do que para as outras faixas etárias (4 em 12), o que levaria a um aumento das respostas totalmente previsíveis (escolhem sempre o mesmo lado) destes voluntários, diminuindo a taxa de entropia e igualmente refletindo uma maior acurácia para a ordem 0. Como a diferença entre a acurácia de um perseverador e de um pareador é muito menor que a diferença encontrada para as taxas de entropia, envolvendo estas duas estratégias, a desigualdade se torna mais evidente para a segunda. Além disso, como a diferença entre um perseverador e um não perseverador torna-se mais evidente para a análise de taxa de entropia, o erro padrão encontrado para 71,2 anos torna-se grande, podendo explicar a inexistência de diferença estatística. Talvez o aumento da amostra pudesse evidenciar estatisticamente esta desigualdade de comportamento entre esta faixa etária e as demais.

Kraystsberg et al. (2006) realizaram um estudo em que demonstraram que danos neuronais nas células dopaminérgicas em indivíduos com doença de Parkinson são também encontrados em indivíduos saudáveis com mais de 70 anos de idade. Além disso, segundo Frank e Kong (2008), tanto pacientes com Parkinson como adultos idosos parecem apresentar déficits no aprendizado baseado em recompensas. De acordo com os autores, se esta hipótese, relacionada à dopamina, for válida, esperar-se-ia que adultos idosos com um nível mais baixo de dopamina mostrassem um padrão de respostas - em testes de decisão probabilísticos envolvendo recompensas - similares aos pacientes com Parkinson. Ainda, segundo eles, esse decréscimo do neurotransmissor estaria associado a uma propensão dos idosos, de evitar resultados de decisões passadas que se mostraram negativas.

Frank, Seeberger e O´Reilly (2004), igualmente, mostraram a existência de uma relação entre a dopamina e o aprendizado de reforço através de tarefas envolvendo probabilidades. Eles encontraram que pacientes com Parkinson com baixos níveis de

dopamina mostravam uma grande tendência a evitar decisões que levassem a consequências negativas. Ao tomar medicamentos, entretanto, este padrão se revertia. Já segundo Frank e Kong (2008) há vários estudos que sugerem que a dopamina modularia o aprendizado de probabilidades, o aprendizado condicional e a tomada de decisões arriscadas, pois sua atividade levaria a uma tendência a evitar ou não decisões passadas que resultaram como negativas.

Pode-se supor que a queda nos níveis de dopamina demonstrados por Kraystsberg et al. (2006) poderia influenciar a resposta destes voluntários de maneira que eles buscassem evitar ao máximo alternativas que tivessem levado ao erro. Assim, esperar-se-ia que, em um teste cuja sequência não apresente previsibilidade e cuja probabilidade fosse maior de um lado do que do outro (caso da ordem 0), adultos desta faixa etária se manteriam no lado em que a probabilidade de acerto fosse maior, evitando a todo custo o lado com maior probabilidade de gerar erros; isso levaria mais indivíduos desta faixa etária à perseveração do que as outras idades estudadas.

Além disso, a modificação da sensibilidade ao acúmulo de recompensa, através da dopamina, explicaria igualmente os resultados encontrados para M1, os quais evidenciam uma acurácia maior de 72,1 em relação a 63,3 anos e taxa de entropia menor da primeira em relação à segunda. No caso, a geração de um padrão que alterna, e, portanto, aparentemente simples, levaria idosos desta faixa etária e mais propensos à perseveração, a permanecer na alternância de resposta, caso visualizada por estes. Se assim fosse, esperar-se-ia que o comportamento perseverador numa alternância repetitiva para M1 e repetição perseveradora do padrão de M2 levaria a um aumento da acurácia de 72,1 anos em relação a 63,3 anos, o que não ocorre. Isso demonstra que a queda da taxa de entropia de M1 e M2 de 72, 1 anos, em relação a 63,3 anos, não se relaciona diretamente à perseveração da estratégia ótima em M1 e M2, mas a outro tipo de explicação. Poderia ocorrer que outro tipo de resposta perseveradora não-ótima estaria sendo empregada.

De fato, os resultados da análise de autocorrelação e correlação cruzada apontam para uma tendência à repetição de um padrão de resposta não ótimo em M2, corroborando as ideias acima. Como a autocorrelação indica a relação de uma resposta com respostas passadas, se uma dada faixa etária inferiu a estratégia ótima de uma dada sequência, o padrão de resposta desta faixa etária se repetirá conforme a repetição do padrão gerado pela sequência, fazendo com que a sequência de respostas do voluntário apresente a mesma configuração da sequência gerada pelo computador. No caso de M0, a adoção de perseveração fará com que a sequência

de respostas do voluntário se relacione a apenas um lado, aumentando a autocorrelação entre as respostas (ver figura 16 para maior índice de autocorrelação em 72,1 anos), porém no caso das sequências com previsibilidade, quanto mais vezes o agente repetir o padrão gerado pela sequência, mais parecida à sequência gerada pelo computador a autocorrelação será.

Nota-se que dos 6,8 anos aos 72,1 anos há um aumento progressivo da relação de similaridade entre a sequência do voluntário com a sequência gerada pelo computador, apresentando seu ápice aos 24,1 anos (figura 17 e 18). A partir desta faixa etária, ocorre um decréscimo da similaridade da sequência do voluntário até os 72,1 anos. Isso poderia indicar que as faixas etárias dos 6,8 aos 11,8 anos estão progressivamente assimilando a estratégia ótima em suas respostas, conforme o amadurecimento, atingindo seu ápice aos 24,1 anos. Ao mesmo tempo, a assimilação tenderia a decair com o envelhecimento. Ocorre, porém, que, dado o envelhecimento, esperar-se-ia que a correlação cruzada para cada uma destas faixas etárias condissesse também com a sequência gerada pelo computador. Isso ocorre para a ordem 2, dos 6,8 aos 43,9 anos, mas a partir dos 63,3 anos, a correlação entre as respostas do voluntário e a sequência gerada pelo computador parece estar atrasada em um passo (figura 15).

A adoção de uma estratégia de cópia da sequência ou de "*win/stay-lose/shift*" poderia explicar os resultados destas duas faixas etárias, pois a cópia dos resultados anteriores geraria uma sequência similar à gerada pelo computador, porém com uma tentativa de atraso (evidenciada pela correlação cruzada). Essa estratégia igualmente explicaria o pico do coeficiente de correlação para o passo 1, destas faixas etárias, para a ordem 2 (similar ao ocorrido para a ordem 0), pois a cópia, se relacionando à tentativa anterior, aumentaria a correlação cruzada para este passo. A adoção deste tipo de estratégia numa sequência com previsibilidade acarretaria na queda da taxa de entropia sem aumento da acurácia, o que de fato ocorre. Como estas faixas etárias copiam uma sequência com memória, suas respostas imitarão o comportamento repetitivo da sequência gerada pelo computador, gerando a falsa idéia de perseveração para estes voluntários, afinal a perseveração encontrada é apenas fruto da cópia de uma sequência que apresenta regularidade e que, portanto se repete algumas vezes. Esta repetição, se copiada, levaria à falsa ideia de perseveração nestas sequências.

Possivelmente, por não conseguirem assimilar a estratégia ótima da ordem 2, essas faixas etárias adotariam a estratégia de "*win-stay/lose-shift*" para aumentar seus ganhos. Mais uma vez, imagina-se que este tipo de estratégia seja a mais eficiente em um ambiente desconhecido e só dê lugar à perseveração em idosos, quando esta é possível, o que não

ocorre para a sequência de ordem 2. Sem a possibilidade de perseveração, esses voluntários não tiveram escolha senão adotar esta estratégia. Salienta-se que apenas existe uma tendência à adoção de *"win-stay/lose-shift"* ou cópia dos resultados anteriores, já que a autocorrelação destas faixas etárias ainda é menor do que das faixas etárias adultas mais jovens e não é totalmente similar à sequência gerada pelo computador. Esta tendência explica os resultados de M2 para a taxa de entropia, pois, possivelmente, 72,1 anos tenha maior tendência à cópia dos resultados anteriores ou à *"win-stay/lose-shift"*, do que 63,3 anos. Quanto à ordem 1, nota-se que a faixa etária de 72,1 anos apresenta correlação mais similar à sequência de origem, do que 63,3, indicando, neste caso uma verdadeira perseveração na estratégia ótima da primeira faixa etária. Aqui, M1 é diferente de M2 possivelmente porque no primeiro caso a estratégia ótima é mais facilmente visualizável, fazendo com que possivelmente idosos ainda a assimilem; o que muda é a tendência maior à exploração da idade de 72,1 anos, diminuindo sua taxa de entropia.

A visualização de uma possível cópia dos resultados anteriores da sequência experimental pelas faixas etárias idosas, mais os resultados visualizados pela análise da taxa de entropia e acurácia, são indícios de que a baixa acurácia em idosos se deva a fatores diferentes daqueles estipulados para a baixa acurácia infantil. No caso de crianças, a imaturidade do sistema nervoso, relacionada tanto ao aprendizado de reforço, quanto à percepção de regularidades no ambiente poderia explicar a baixa acurácia, levando, inclusive à constante prospecção do meio, em detrimento da natureza da sequência gerada. No caso de idosos, porém se a causa da baixa acurácia se devesse apenas a mecanismos incompletos (no caso, por envelhecimento), comportamentos semelhantes seriam encontrados para estas faixas etárias, todavia isso não ocorreu. É possível que a tomada de decisão, sendo influenciada por uma série de fatores, como memória, atenção, emoção e outros, possa ser mal acionada ou pela imaturidade dos sistemas como um todo (o que possivelmente ocorre em crianças) ou pela modificação de um dos fatores responsáveis. Em idosos, no caso, a modificação da sensibilidade às recompensas, dada possivelmente pela queda na produção de dopamina, modifique o interesse desses voluntários pela busca de regularidades no sistema, fazendo-os optar por escolhas mais seguras, envolvendo a perseveração numa estrutura mais facilmente reconhecível, ou na adoção de "*win-stay/lose-shift*", quando não possível a perseveração, nem a adequação das respostas à regularidade gerada pela sequência com memória.

Em M0, onde não há estrutura, mas apenas a possibilidade de perseverar no lado mais freqüente de aparecimento do alvo, é possível que a adoção desta estratégia seja uma opção

mais segura do que a de buscar regularidades na sequência, como possivelmente fariam as outras faixas etárias adultas. É possível que se existisse a possibilidade de perseveração em M1 e M2, com as mesmas probabilidades que em M0, idosos optariam mais pela perseveração do que por "*win-stay/lose-shift*" nestas sequências, como fazem os adultos jovens em M0. Como os experimentos não permitiram essa possibilidade, a não-opção de perseveração criou para o idoso um desafio que possivelmente o impeliu a copiar os resultados anteriores ou a adotar "*win-stay/lose-shift*" em M2, na falta de perder mais tempo (e, portanto recompensas) na busca por regularidades mais difíceis de visualizar.

Essas observações de amadurecimento e fenecimento apontam na direção do amadurecimento e modificação com o envelhecimento de processos ligados ao aprendizado de reforço. Embora ainda não testado, estas modificações poderiam estar relacionadas à produção de dopamina, que aumentaria ou diminuiria conforme a idade. Sua relação com processos de aprendizado de reforço seria pertinente na adoção de estratégias de menor ou maior exploração das recompensas ou maior ou menor prospecção do meio. É fato que apenas as modificações de aprendizado de reforço não explicam as maiores ou menores dificuldades das diferentes idades para com a assimilação das regularidades nas sequências com memória. É, portanto importante a elaboração de experimentos futuros em que possam ser estudadas apenas as relações das diferentes ordens de cadeia de Markov com a idade, sem a interferência da imprevisibilidade existente em todas as sequências.

Além disso, os resultados desta pesquisa direcionaram à ideia de que todas essas diferentes estratégias seriam fruto da relação entre exploração/prospecção da sequência, a qual nada mais seria do que consequência da busca pelo acúmulo de recursos. O acúmulo de recompensas, através da tentativa de diminuir o risco da tomada de decisão, parece estar no cerne do problema relacionado ao pareamento de probabilidades. Como a descoberta de regularidade, num sistema, permite a maximização de recompensas, pois se diminui a probabilidade de erros ao seguir o padrão, a procura por regularidade num sistema permitirá a acumulação máxima de recompensa - caso exista e se encontre a regularidade - porém, apesar da verificação de uma regularidade diminuir o risco de erros, *o próprio tempo perdido na averiguação da existência de uma regularidade* constitui-se como um risco, que pode, também, levar à perda de recompensas; ou seja, o tempo gasto na averiguação (prospecção) deve ser equilibrado com a opção de explorar o máximo do ambiente (exploração).

Assim, a explicação de que a busca por padrões levaria ao pareamento de probabilidades não estaria de todo incorreta, mas somente incompleta, pois, de fato existiria a

busca por regularidades; porém, antes desta busca, deveria existir um balanço que modularia o quanto o indivíduo deveria gastar de tempo na averiguação de uma regularidade no sistema, em detrimento da exploração imediata do meio. Não se trata apenas de buscar regularidades, mas de buscá-las na medida certa.

Possivelmente é o equilíbrio entre prospecção e exploração que mudará com a faixa etária, levando à adoção de diferentes estratégias e atingindo o seu ótimo na idade adulta (adultos jovens). A adoção de "*win-stay/lose-shift*" seria apenas uma forma de prospecção da sequência, a qual traria o melhor custo/benefício num ambiente desconhecido. A adoção de uma das outras três estratégias seriam formas de explorar e prospectar a sequência, visando mais a exploração do que a prospecção ou o contrário. O estímulo a equilibrar este jogo dependeria da faixa etária (3,9, 4,9 anos prospectariam mais a sequência e 72,1 anos exploraríam mais) e talvez até possivelmente da quantidade de dopamina produzida e da sua relação com os sistemas de aprendizado de reforço, e seria somente este balanço que permitiria, ou não, perder mais ou menos tempo na averiguação de uma possível regularidade. Possivelmente a adoção dessas estratégias sejam formas de averiguar ou explorar, enquanto a regularidade não é descoberta. Esse seria o motivo de todas as faixas etárias terem realizado pareamento, apesar de tão diferentes: elas estariam prospectando a sequência – tendendo menos ou mais à exploração – objetivando a averiguação de uma regularidade e ao mesmo tempo em que evitando erros. Este balanço entre exploração e prospecção, ao copiar a sequência com uma tentativa de atraso, levaria ao pareamento das probabilidades e mais do que isso, permitiria ao indivíduo aproveitar o máximo de recompensa que conseguisse obter de um dado ambiente desconhecido, evitando apostar na direta existência de regularidades, ou na simples não existência de uma. Já no caso das sequências contendo previsibilidade, o mesmo balanço se processaria; todavia, outros fatores como a existência da possibilidade de perseveração em uma das alternativas do experimento ou a imaturidade ou fenecimento de processos que envolvam averiguação de regularidades atuariam no emprego de estratégias de maior ou menor prospecção ou exploração da sequência, visando a sua estratégia ótima.

Cabe lembrar, por fim, que a possível adoção de *"win-stay/lose-shift"* por idosos, possivelmente perseveradores, para a ordem 2 seja ainda um indício de que a modulação do balanço entre prospecção/exploração, que ocorre durante o desenvolvimento não seja um processo rígido, que passa a ocorrer numa determinada idade, em detrimento da natureza da sequência. Assim, imagina-se que a maior tendência à perseveração em idosos de 72,1 anos se deva tanto à faixa etária, possivelmente ligada à queda na produção de dopamina, mas,

igualmente, a outros fatores que poderiam modificar o balanço entre prospecção/exploração. A probabilidade de um evento aparecer em uma alternativa ou outra, em uma sequência binária, poderia ser um desses fatores. A presença de perseveração em M0, com probabilidades 70/30 e a adoção de *"win-stay/lose-shift"* em M2, com probabilidades 50/50 apontam para o papel destes valores na adoção de uma estratégia ou outra. No caso de M2, não era possível a perseveração, mas não se sabe até que ponto a tendência perseveradora de idosos em M0 se manterá, mesmo quando probabilidades diferentes são adicionadas, tornando a perseveração possível. Aliás, isso não se referiria apenas a idosos, mas a qualquer faixa etária. A probabilidade do aparecimento do alvo em um lado ou outro, mesmo quando da existência de regularidade na sequência, aumentaria ou diminuiria o risco da adoção de prospecção do meio, o que faria com que outras relações entre ganhar-ficar/perder-mudar fossem observadas para estas mesmas faixas etárias. Novos experimentos com diferentes probabilidades tanto para sequências sem memória, como com memória, devem ser realizados para verificar o papel da probabilidade no balanço prospecção/exploração conforme o desenvolvimento.

7 CONCLUSÃO

O pareamento de probabilidades parece ser fruto do equilíbrio entre a prospecção da sequência e a exploração desta, constituindo-se, portanto, como uma conseqüência do equilíbrio entre estas duas estratégias, quando envolvendo acúmulo de recompensas em um ambiente desconhecido. Apesar de parecer não adaptativa, a passagem pelos extremos de prospecção, na infância, à exploração, na senescência e o equilíbrio destas na idade adulta, aponta para uma configuração ótima do balanço entre prospecção e exploração nesta fase do desenvolvimento, a qual permite o acúmulo máximo de recompensa em um ambiente desconhecido em que não se sabe a ausência ou presença de previsibilidade, pois não invalida nem a possibilidade da existência de previsibilidade no meio, nem a possibilidade de sua inexistência. Sendo assim, este balanço, que gera o pareamento, constituir-se-ia como a estratégia de melhor custo/benefício possível em um ambiente desconhecido, modificando a concepção de pareamento de probabilidades como conseqüência de um comportamento não-adaptativo de tomada de decisão.

REFERÊNCIAS[3]

ARNOTT, G.; ELWOOD, R. W. Information gathering and decision making about resource value in animal contests. **Animal Behaviour**, v. 76, p. 529-542, 2008.

ARROW, K. Utillities, attitudes, choices: a review note. **Econometrica**, v. 26, p. 1-23, 1958.

BANNA, K. M.; DeVRIES, D.; NEWLAND, M. C. Choice in the bluegill. **Behavioral Processes**, v. 88, p. 33-43, 2011.

BECHARA, A.; DAMASIO, H.; TRANEL, D.; DAMASIO, A. R. Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy. **Science**, v. 275, p. 1293-1295, 1997.

BECHARA, A.; DAMASIO, H.; DAMASIO, A. R. Emotion, decision-making, and the orbitofrontal cortex. **Cerebral Cortex**, v. 10, p. 295–307, 2000.

BITTERMAN, M. E. The comparative analysis of learning. **Science**, v. 188, p. 699–709, 1975.

BRACKBILL, N.; BRAVOS, A. Supplementary report: the utility of correctly predicting infrequent events. **Journal of Experimental Psychology**, v. 64, p. 648–649, 1962.

CANFIELD, R. L.; HAITH, M. M. Young infants' visual expectations for symmetric and asymmetric stimulus sequences. **Developmental Psychology**, v. 27, p. 198–208, 1991.

CARSTENSEN, L. L.; MIKELS, J. A. At the intersection of emotion and cognition – aging and the positivity effect. **Current Directions in Psychological Sciences**, v. 14, p. 117-121, 2005.

CAUFMAN, E.; SCHULMANN, E. P.; CLAUS, E.; BANICH, M. P.; STEINBERG, L.; GRAHAM, S.; WOOLARD, J. Age differences in affective decision making as indexed n the Iowa gambling task. **Developmental Psychology**, v. 46, n. 1, p. 193-207, 2010.

DAMASIO A. R. **Descarte´s error**: emotion, reason, and the human brain. New York: Putnam, 1994.

DARWIN, C. **A origem das espécies**. Porto: Lello & Irmão Editores, 2003.

DEGROOT, M. H.; SCHEVIRSH, M. J. Expectation, In: DEGROOT, M. H.; SCHERVIRSH, M. J. **Probability and statistics.** Boston: Pearson Education, Inc., 2012. p. 179-239.

DENBURG, N. L.; TRANEL, D.; BECHARA, A., The ability to decide advantageously declines prematurely in some normal older persons. **Neuropsychologia** v. 43, p. 1099–1106, 2005.

---

[3] De acordo com: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

DERKS, P. L.; PACLINASU, M. I. Simple strategies in binary prediction by children and adults. **Journal of Experimental Psychology**, v. 73, n. 2, p. 278-285, 1967.

DOUGLAS, R. J.; PRIBRAM, K. H. Learning and limbic lesions. **Neuropsychologia**, v. 4, p. 197–220, 1966.

ERNST, M.; SPEAR, L. Reward systems. In: DE HAAN, M.; GUNNAR, M. R. **Handbook of developmental social neuroscience**. New York: Guilford Press, 2009. p. 324-341.

FANTINO E.; ESFANDIARI A. Probability matching: encouraging optimal responding in humans. **Canadian Journal of Experimental Psychology**, v. 56, n. 1, p. 58-63, 2002.

FEHER-DA-SILVA, C.; BALDO, M. V. C. A simple artificial life model explains irrational behavior in human decision-making. **PLoSOne**, v. 7, n. 5, p. e.34371, 2012.

FEHER-DA-SILVA, C. **Abordagem computacional e psicofísica da alocação atencional e tomada de decisão**. 2011. 123 f. Tese (Doutorado em Fisiologia Humana) - Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FELLOWS, L. Orbitofrontal contributions to value-based decision making: evidence from humans with frontal lobe damage. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1239, p. 51-58, 2011.

FIORINA, P. M. Critique and comments: A note on probability matching and rational choice. **Behavioral Science**, v. 16, p. 158–166, 1971.

FRANK, M. J.; SEEBERGER, L. C.; O'REILLY, R. C. By carrot or by stick: Cognitive reinforcement learning in parkinsonism. **Science**, v. 306, p. 1940–1943, 2004.

FRANK, M. J.; KONG, L. Learning to avoid in older age. **Psychology and Aging**, v. 23, n. 2, p. 392-398, 2008.

GAECHTER, S.; JOHNSON, E. J.; HERMAN, A. Individual-level loss aversion in riskless and risk choice. **IZA Discussion Paper**, n. 2961, 2007.

GARON, N.; MOORE, C. Complex decision-making in early childhood. **Brain and Cognition**, v. 55, p. 158-170, 2004.

GOLD, J. I.; SHADLEN, M. N. The neural basis of decision making, **Annual Reviews of Neuroscience**, v. 30, p. 535-574, 2007.

GOOCH, J. W. Cross-Correlation. In: GOOCH, J. W. **Encyclopedic dictionary of polymers**. Berlin: Springer, 2010. p. 967-1002.

GRADY, C. F. Cognitive neuroscience of aging. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1124, p. 127-144, 2008.

GREEN, D. M.; SWETS, J. A. **Signal detection theory and psychophysics**. New York: Wiley, 1966.

HARRISON, G. W.; LAU, M. I.; WILLIAMS, M. B., Estimating individual discount rates in Denmark: a field experiment. **American Economic Review**, v. 92, p. 1606–1617, 2002.

JAMES, G.; KOEHLER, D. J. Banking on a bad bet: probability matching in risk choice is linked to expectation generation. **Psychological Science**, v. 22, n. 6, p. 707-711, 2011.

JIAKANOPOULOS, N. A.; BERNASEK, A. Financial risk taking by age. **Southern Economy Journal**, v. 72, p. 981-1001, 2006.

KAGAN, J. O desenvolvimento humano e seus desvios. In: FONSECA, A. C. **Crianças e adolescentes:** uma abordagem multidisciplinar. Coimbra: Almedina, 2010. p. 11-25.

KOEHLER, D.; JAMES, G. Probability Matching under uncertainty: intuition versus deliberation. **Cognition**, v. 113, p. 123-127, 2009.

KRAYTSBERG, Y.; KUDRYAVTSEVA, E.; MCKEE, A. C.; GEULA, C.; KOWALL, N. W.; KHRAPKO, K. Mitochondrial DNA deletions are abundant and cause functional impairment in aged human substantia nigra neurons. **Nature Genetics**, v. 38, n. 5, p. 518–520, 2006.

LEVIN, I. P.; WELLER, J. A.; PEDERSON, A.; HARSHMAN, L. A. Age-related differences in adaptive decision making: sensitivity to expected value in risky choice. **Judgement and Decision Making**, v. 2, p. 225-233, 2007.

LOEWENSTEIN, G.; RICK, S.; COHEN, J. D. Neuroeconomics, **Annual Reviews of Psychology**, v. 59, p. 647-672, 2008.

MACKAY, D. J. C. **Information theory, inference, and learning algorithms**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

MARKOV, A. A. Extension of the limit theorems of probability theory to a sum of variables connected in a chain. In: HOWARD, R. **Dynamic probabilistic systems:** markov models. Apendix B. New York: John Wiley and Sons, 2007. v. 1, p. 551.

MCCLURE, S. M.; LAIBSON, D. I.; LOEWENSTEIN, G.; COHEN, J. D. Separate neural systems value immediate and delayed monetary rewards. **Science**, v. 306, p. 503–507, 2004.

MCFARLAND, D. J. Decision making in animals. **Nature**, v. 269, p. 15-21, 1977.

MEYN, S. P.; TWEEDIE, R. L. **Marchov chains and stochastic stability.** Cambridge: Cambridge University Press, 2008.

MOHR, P. N. C.; LI, S.; HEEKEREN, H. R. Neuroeconomics and aging: neuromodulation of economic decision making in old age. **Neuroscience and Behavioral Reviews**, v. 34, p. 678-688, 2010.

OSKARSSON, A. T.; BOVEN, L. V.; McCLELLAND, G. H.; HASTIE, R. What´s next? Judging sequences of binary events. **Psychological Bulletin**, v.135, n. 2, p. 262-285, 2009.

RANSAY, J. O.; SILVERMAN, B. W. Tools for exploring functional data. In: RANSAY, J. O.; SILVERMAN, B. W. **Functional data analysis**. New York: Springer, 2005. p. 19-34.

SEGAWA, M. Development of nigrostriatal dopamine neuron and the pathway in the basal ganglia. **Brain and Development**, v. 22, p. S1-4, 2000.

SHANKS, D. R.; TUNNEY, R. J.; MCCARTHY, J. D. A Re-examination of probability matching and rational choice. **Journal of Behavioral Decision Making**, v. 15, p. 233–250, 2002.

SHANON, C. A. A Mathematical Theory of Communication. **Mobile, computing and communications**, v. 5, n. 1, p. 3–55, 2001.

SOWELL, E. R. et al. Mapping cortical change across the human life span. **Nature Neuroscience**, v. 6, p. 309–315, 2003.

SUTTON, R. S.; BARTO, A. G. Evaluate feedback. In: SUTTON, R. S.; BARTO, A. G. **Reinforcement learning**: an introduction. Cambridge: MIT Press, 1998. p. 151-194.

UNTURBE, J.; COROMINAS, J. Probability matching involves rule-generation ability: a neuropsychological mechanism dealing with probabilities. **Neuropsychology**, v. 21, n. 5, p. 621-630, 2007.

VULKAN, N. An economist's perspective on probability matching. **Journal of Economic Surveys**, v. 14, n. 1, p. 101, 2000.

WEBER, E. U.; JOHNSON, E. J. Mindful judgement and decision making. **Annual Reviews of Psychology**, v. 60, p. 53-85, 2009.

WELLER, J. A.; LEVIN, I. P.; DENBURG, N. L. Trajectory of risky decision making for potential gains and losses from ages 5 to 85. **Journal of Behavioral Decision Making**, v. 24, p. 331-344, 2011.

WEST, R. F.; STANOVICH, K. E. Is probability matching smart? Associations between probabilistic choices and cognitive ability. **Memory & Cognition**, v. 31, p. 243-251, 2003.

WOLFORD, G.; MILLER, M. B.; GAZZANIGA, M. The left hemisphere´s role in hypothesis formation. **The Journal of neuroscience**, v. 20, n. RC64, p. 1-4, 2000.

ANEXOS

ANEXO A – Termo de consentimento livre e esclarecido menores de 18 anos

Universidade de São Paulo

Instituto de Ciências Biomédicas

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(menores de 18 anos)

ESTUDO: "Abordagem Psicofísica de Estratégias Decisionais na Predição de Sequências Binárias Aleatórias"

Seu filho está sendo convidado a participar do presente estudo. O documento abaixo contém todas as informações necessárias sobre a pesquisa que estamos (ou estaremos) fazendo. Leia atentamente. Caso tenha dúvidas, teremos prazer em esclarecê-las. Se concordar, o documento será assinado e só então daremos início ao estudo. Sua colaboração será muito importante para nós. Mas, se quiser desistir a qualquer momento, isto não causará nenhum prejuízo, nem a você, nem ao(à) seu (sua) filho(a).

Eu ..... , RG ..... , abaixo assinado(a), concordo de livre e espontânea vontade que meu(minha) filho(a) ..... nascido(a) em _____ / _____ /_____ , seja voluntário do estudo "Abordagem Psicofísica de Estratégias Decisionais na Predição de Sequências Binárias Aleatórias". Declaro que obtive todas as informações necessárias e que todas as minhas dúvidas foram esclarecidas.

Estou ciente de que:

I) O estudo é necessário para que se possa descobrir as possíveis estratégias que crianças, jovens e idosos utilizam, quando escolhem uma opção dentre duas alternativas, repetindo-se o processo de escolha por diversas vezes;

II) Será feita a coleta das respostas do(a) meu(minha) filho(a) quando ele(ela) estiver em contato com um jogo de computador em que se deve decidir pelo lado esquerdo ou direito. Essa decisão deverá ser tomada por diversas vezes até o fim do jogo;

III) Estas coletas serão feitas apenas para este estudo e em nada influenciarão a saúde de meu (minha) filho(a); não há risco algum, a não ser que se tenha prescrição médica que proíba a visualização de um monitor de computador ligado, o uso de videogames ou a permanência num local durante mais de 20 minutos;

IV) A participação neste estudo não tem fins terapêuticos e será sem custo algum para mim;

V) Tenho a liberdade de desistir ou interromper a colaboração neste estudo no momento em que

desejar, sem necessidade de dar qualquer explicação;

VI) A desistência não causará nenhum prejuízo a mim, nem (a) meu (minha) filho(a), nem interferirá no atendimento ou tratamento médicos a que ele(ela) estiver sendo submetido;

VII) Os resultados obtidos durante este estudo serão mantidos em sigilo, mas concordo em que sejam divulgados em publicações científicas, desde que nem o meu nome, nem o de meu (minha) filho (a) sejam mencionados;

VIII) Caso eu deseje, poderei tomar conhecimento dos resultados ao final deste estudo;

IX) Poderei contatar a Secretaria da Comissão de Ética em Pesquisa com Seres Humanos – ICB/USP -, no Fone 3091.7733 para recursos ou reclamações em relação ao presente estudo.

OBS: Assinalar abaixo com (x):

( ) Desejo conhecer os resultados desta pesquisa.

( ) Não desejo conhecer os resultados desta pesquisa.

São Paulo, de de 20....

( )Voluntário / ( ) Responsável .....

Testemunha 1 : _____

Nome / RG / Telefone

Testemunha 2 : _____

Nome / RG / Telefone

Responsável pelo Projeto: _____

Professor Dr. **MARCUS VINÍCIUS BALDO**

Telefone para contato: (11) 3091-7214

ANEXO B – Termo de consentimento livre e esclarecido maiores de 18 anos

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Modelo padrão

ESTUDO: **"Abordagem Psicofísica de Estratégias Decisionais na Predição de Sequências Binárias Aleatórias"**

Você está sendo convidado(a) a participar do projeto de pesquisa acima citado. O documento abaixo contém todas as informações necessárias sobre a pesquisa que estamos fazendo. Sua colaboração neste estudo será de muita importância para nós, mas se desistir a qualquer momento, isso não causará nenhum prejuízo a você.

Eu, (inserir o nome, profissão, residente e domiciliado na ...., portador da Cédula de identidade, RG ..... , e inscrito no CPF/MF..... nascido(a) em _____ / _____ /_____ , abaixo assinado(a), concordo de livre e espontânea vontade em participar como voluntário(a) do estudo "Abordagem Psicofísica de Estratégias Decisionais na Predição de Sequências Binárias Aleatórias". Declaro que obtive todas as informações necessárias, bem como todos os eventuais esclarecimentos quanto às dúvidas por mim apresentadas.

Estou ciente que:

I) O estudo é necessário para que se possa descobrir as possíveis estratégias que crianças, jovens e idosos utilizam, quando escolhem uma opção dentre duas alternativas, repetindo-se o processo de escolha por diversas vezes;

II) Essa (s) coleta(s) serão feitas apenas para este estudo e em nada influenciará (influenciarão) a sua saúde;

III) A participação neste projeto não tem objetivo de me submeter a um tratamento, bem como não me acarretará qualquer despesa pecuniário com relação aos procedimentos efetuados com o estudo;

IV) Tenho a liberdade de desistir ou de interromper a colaboração neste estudo no momento em que desejar, sem necessidade de qualquer explicação;

V) A desistência não causará nenhum prejuízo à minha saúde ou bem estar físico;

VI) Os resultados obtidos durante este ensaio serão mantidos em sigilo, mas concordo que sejam divulgados em publicações científicas, desde que meus dados pessoais não sejam mencionados;

VII) Caso eu desejar, poderei pessoalmente tomar conhecimento dos resultados, ao final desta pesquisa

( ) Desejo conhecer os resultados desta pesquisa.

( ) Não desejo conhecer os resultados desta pesquisa.

VIII) Concordo que os dados coletados poderão ser utilizado em outros projetos desde que autorizado pela Comissão de Ética deste Instituto e pelo responsável por esta pesquisa.

IX) Poderei contatar a Secretaria da Comissão de Ética em Pesquisa com Seres Humanos – ICB/USP -, no Fone 3091.7733 para recursos ou reclamações em relação ao presente estudo.

( ) Sim ou ( ) Não

São Paulo, de de 200

( ) Paciente / ( ) Responsável .....

Testemunha 1 : _____

Nome / RG / Telefone

Testemunha 2 : _____

Nome / RG / Telefone

Responsável pelo Projeto: _____

Professor Dr. **MARCUS VINÍCIUS BALDO**

Telefone para contato: (11) 3091-7214

ANEXO C – Questionário sócio-demográfico

As informações deste questionário, bem como todas as outras informações obtidas nessa pesquisa são totalmente confidenciais.

Responsável pelo projeto: Professor Doutor Marcus Vinícius Baldo

Responsável pelo procedimento experimental: Camila Gomes Victorino

Nome do voluntário: .....

Pergunta	**Resposta**
Sexo	F[ ] M[ ]
Idade	
Nível de instrução e anos de estudo desde a 1º série.	
Já usou computador antes?	
Há quanto tempo?	
Faz algum tipo de atividade física?	Sim [ ] Não[ ] Qual? Qual a freqüência?
Faz algum tipo de atividade artística ou cultural?	Sim [ ] Não[ ] Qual? Qual a freqüência?
Tem o costume de ler?	Sim [ ] Não[ ] O quê? Qual a freqüência?
Mão dominante	Canhoto(a)[ ] Destro(a)[ ]
Escreva aqui a religião que segue, se houver.	
Você se considera ateu(não acredita em Deus)?	Sim [ ] Não[ ]
Você se considera místico ou crente em fenômenos ditos paranormais, mesmo que não tenha religião?	Sim [ ] Não[ ]

ANEXO D – Questionário de percepção visual

Responsável pelo projeto: Professor Doutor Marcus Vinícius C. Baldo
Responsável pelo procedimento experimental: Camila Gomes Victorino
Nome do voluntário: .....
Data de nascimento: ...../...../.....

Prescrição de lentes corretivas:	motivo:
[ ]Não necessita	[ ]hipermetropia
[ ]Usa óculos	[ ]astigmatismo
[ ]Usa lente de contato	[ ]presbiopia
[ ]dioptrias.	

Ano da última consulta ao oftalmologista: .....

Doenças pregressas ou atuais

História de crises convulsivas: [ ] sim [ ] não
Outras moléstias neurológicas ou psiquiátricas: [ ] sim [ ] não
Natureza da moléstia: .....
Cirurgia oftálmica: [ ] sim [ ] não
Natureza da cirurgia: .....
Medicamentos atualmente em uso:
..... [ ] uso esporádico [ ] uso contínuo
..... [ ] uso esporádico [ ] uso contínuo
..... [ ] uso esporádico [ ] uso contínuo
[ ] nenhum medicamento atualmente em uso

Declaro que as informações aqui contidas são verdadeiras e que estou disposto a participar voluntariamente dos testes sensório-motores que estão sendo desenvolvidos no laboratório de Neurociências e Comportamento.

Assinatura: .....

ANEXO E – Questionário sócio-demográfico para crianças

As informações deste questionário, bem como todas as outras informações obtidas nessa pesquisa são totalmente confidenciais.

Responsável pelo projeto: Professor Doutor Marcus Vinícius Baldo

Responsável pelo procedimento experimental: Camila Gomes Victorino

Nome do voluntário: .....

Pergunta	**Resposta**
Sexo	F[ ] M[ ]
Idade	
Série escolar	
Já usou computador antes?	
Há quanto tempo?	
Faz algum tipo de atividade física?	Sim [ ] Não[ ] Qual? Qual a freqüência?
Faz algum tipo de atividade artística ou cultural?	Sim [ ] Não[ ] Qual? Qual a freqüência?
Tem o costume de ler ou é estimulado à leitura?	Sim [ ] Não[ ] O quê? Qual a freqüência?
Mão dominante	Canhoto(a)[ ] Destro(a)[ ]

ANEXO F – Questionário de Percepção visual para crianças

Responsável pelo projeto: Professor Doutor Marcus Vinícius C. Baldo
Responsável pelo procedimento experimental: Camila Gomes Victorino
Nome do voluntário: .....
Data de nascimento: ...../...../.....
Prescrição de lentes corretivas:
[ ]Não necessita
[ ]Usa óculos
[ ]Usa lente de contato
[ ]dioptrias.

motivo:
[ ]hipermetropia
[ ]astigmatismo
[ ]presbiopia
[ ]miopia

Ano da última consulta ao oftalmologista: .....

Doenças pregressas ou atuais

História de crises convulsivas: [ ] sim [ ] não
Outras moléstias neurológicas ou psiquiátricas: [ ] sim [ ] não
Natureza da moléstia: .....
Cirurgia oftálmica: [ ] sim [ ] não
Natureza da cirurgia: .....
Medicamentos atualmente em uso:
..... [ ] uso esporádico [ ] uso contínuo
..... [ ] uso esporádico [ ] uso contínuo
..... [ ] uso esporádico [ ] uso contínuo
[ ] nenhum medicamento atualmente em uso

Declaro que as informações aqui contidas são verdadeiras e que estou disposto voluntariamente a autorizar a participação de meu/minha filho(a) nos testes que estão sendo desenvolvidos no laboratório de Fisiologia Sensorial “Roberto Vieira”.

Assinatura: .....

ANEXO G - Explicação padronizada do experimento passada a todos os voluntários do estudo.

Como você vê, temos dois quadrados cinzas idênticos na tela. Qualquer diferença que você está vendo entre eles é pura ilusão de ótica. Você está vendo alguma diferença? Se você vê alguma diferença, não se atenha a elas, pois elas não existem; elas não constituem pistas para acertar mais e se você se ater a isso, você corre o risco de perder pontos.

Um desses dois quadrados está escondendo uma bolinha preta. A sua missão é decidir qual dos dois quadrados esconde a bolinha. Se você achar que é o quadrado da esquerda, você deve apertar a tecla "a" do teclado. Se você achar que é o quadrado da direita, aperte a tecla "l" do teclado[1].

Tente uma vez. Como você vê, se você acertar, você ganhará R$ 0,05 centavos / uma figurinha por acerto e o total de dinheiro / figurinhas que você acumulou. Lembrando que o dinheiro / figurinha é de verdade e você o receberá no final do experimento.

Este bloco treino não está valendo ponto e só serve para que eu te explique a tarefa e para que você se acostume com ela.

Tente outra vez. Se você errar aparecerá escrito em vermelho que você não ganhou nada e o quanto você já acumulou. Você não perde o que já ganhou, mas também não ganha.

Pode tentar uma última vez. Bem, a sua missão neste teste, não é somente apertar botões, mas pensar qual é a melhor estratégia para acertar mais. Pode ser que exista ou que não exista lógica. Se não tiver lógica, qual é a melhor estratégia? Se houver, qual é a melhor?

Quando você terminar, aparecerá a frase "Fim do experimento" e você deve me chamar para preenchermos alguns papéis (esta parte está excluída da explicação infantil, cujos questionários foram preenchidos pelos responsáveis).

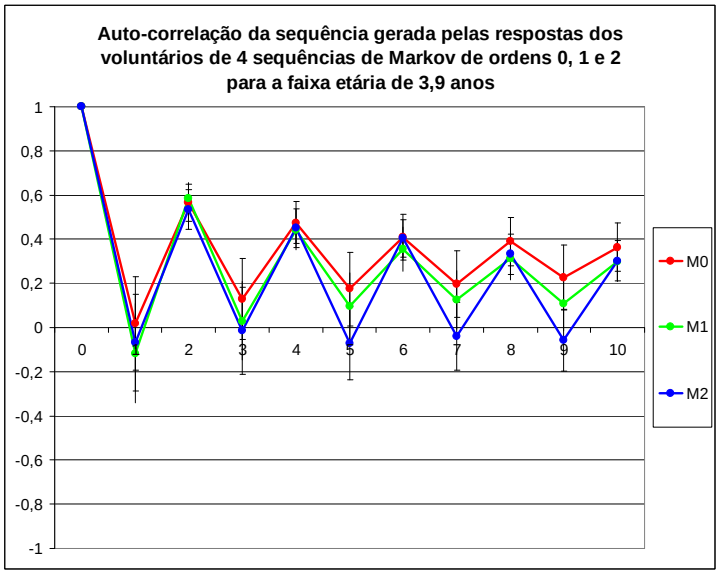
Nota[1]: no caso das crianças dizia-se: se você achar que a bolinha está neste quadrado (aponta quadrado na tela), você deve apertar este botão que está do mesmo lado do quadrado (aponta botão e quadrado) e vice-versa para o outro lado.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Análise de autocorrelação das sequências geradas pelos voluntários e correlação cruzada por faixa etária

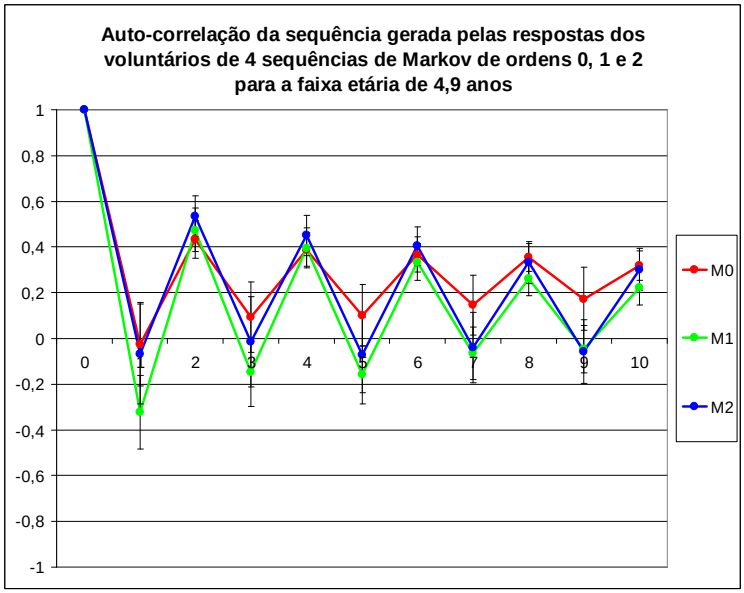
Autocorrelação das sequências geradas pelo voluntário

Figura 1 – Auto-correlação das sequências geradas pelos voluntários de 3,9 anos.



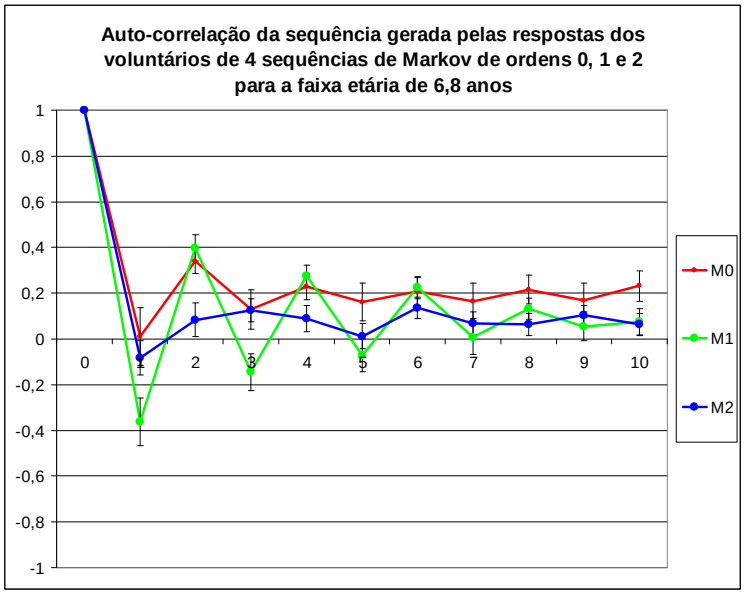
Fonte: Victorino (2012).

Figura 2 – Auto-correlação das sequências geradas pelos voluntários de 4,9 anos.



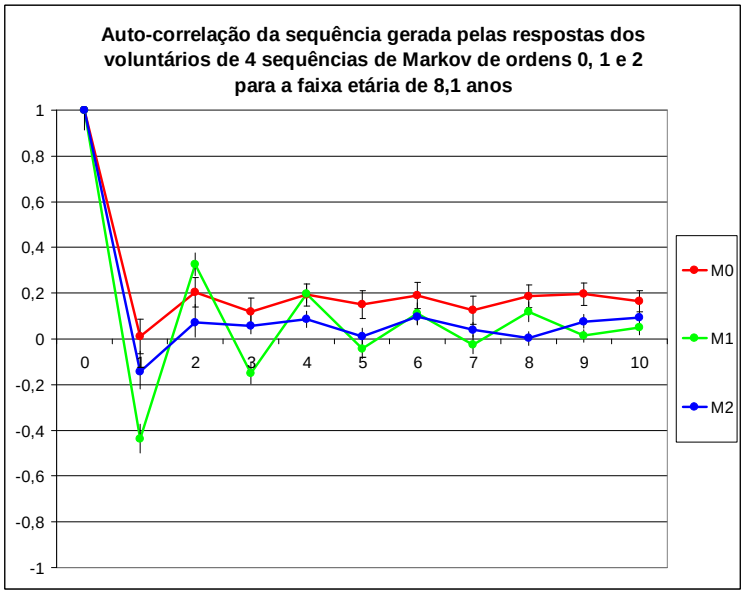
Fonte: Victorino (2012).

Figura 3 – Auto-correlação das sequências geradas pelos voluntários de 6,8 anos.



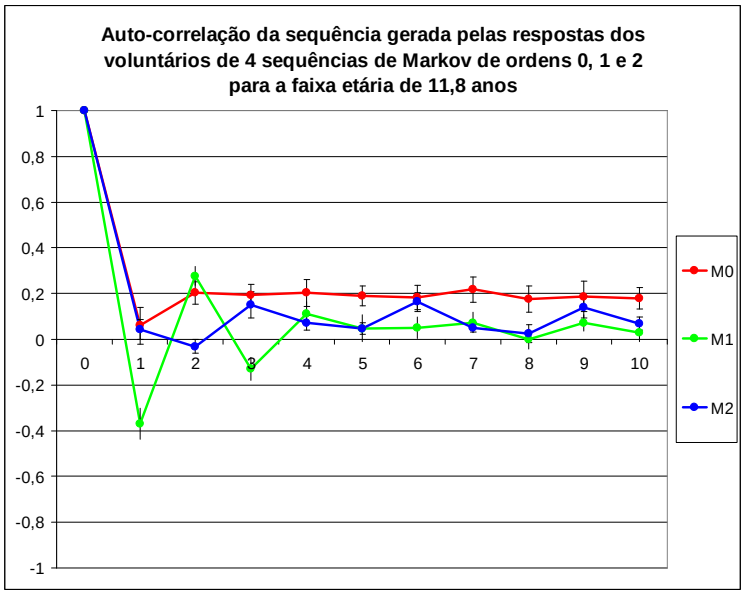
Fonte: Victorino (2012).

Figura 4 – Auto-correlação das sequências geradas pelos voluntários de 8,1 anos.



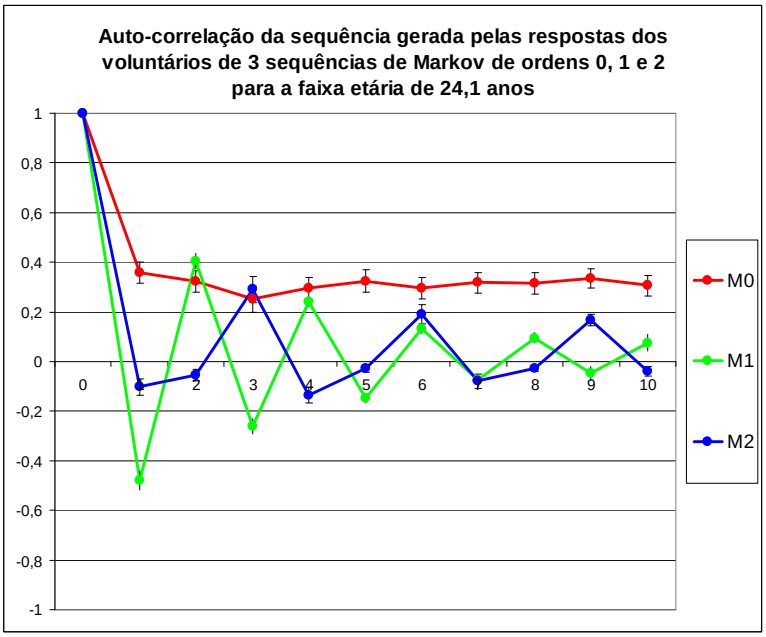
Fonte: Victorino (2012).

Figura 5 – Auto-correlação das sequências geradas pelos voluntários de 11,8 anos.



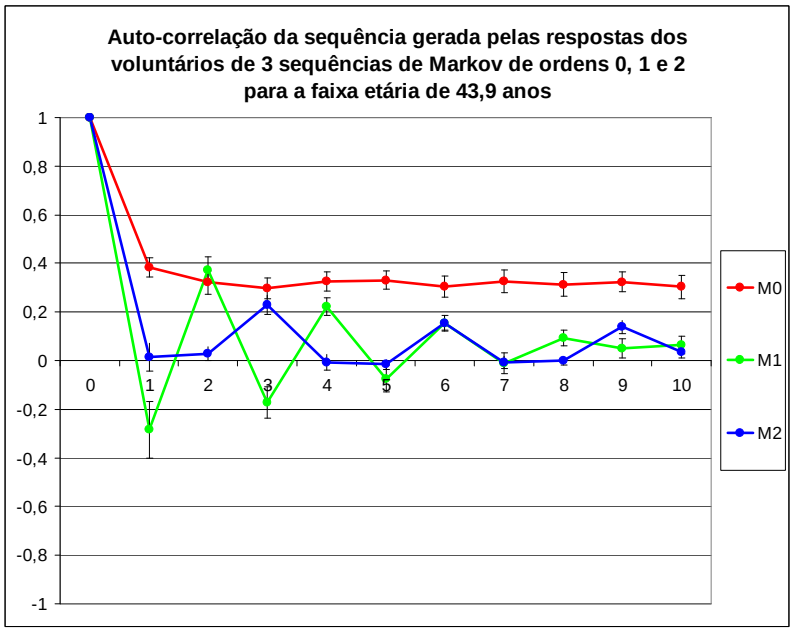
Fonte: Victorino (2012).

Figura 6 – Auto-correlação das sequências geradas pelos voluntários de 24,1 anos.



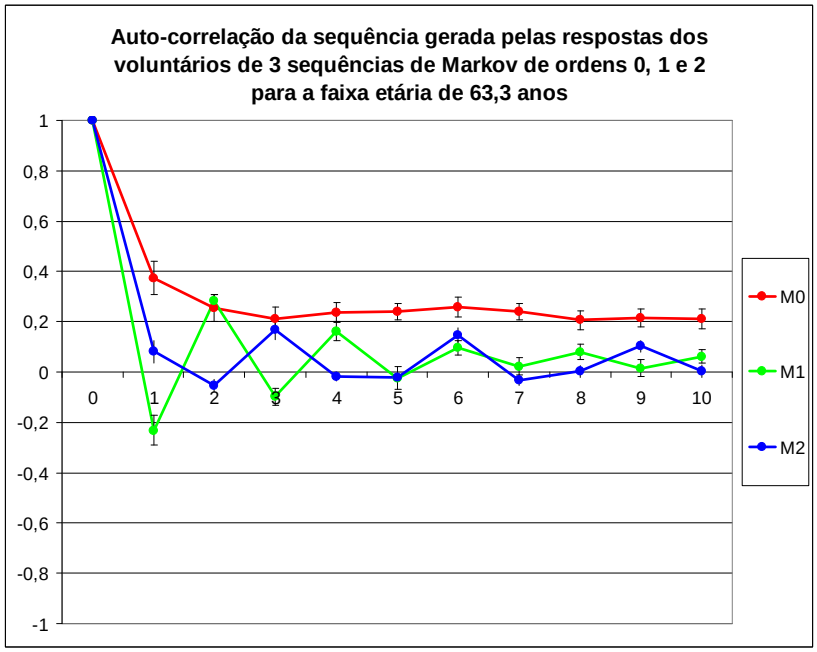
Fonte: Victorino (2012).

Figura 7 – Auto-correlação das sequências geradas pelos voluntários de 43,9 anos. .



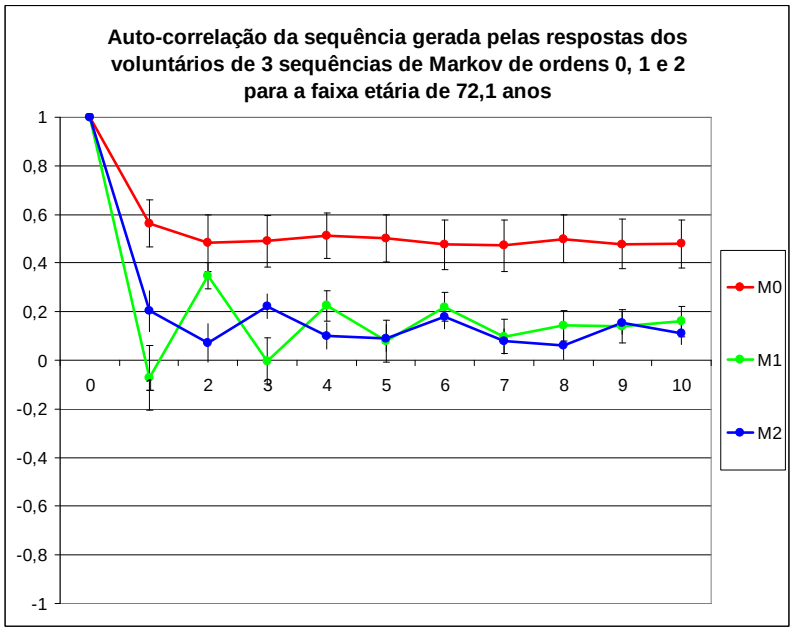
Fonte: Victorino (2012).

Figura 8 – Auto-correlação das sequências geradas pelos voluntários de 63,3 anos.



Fonte: Victorino (2012).

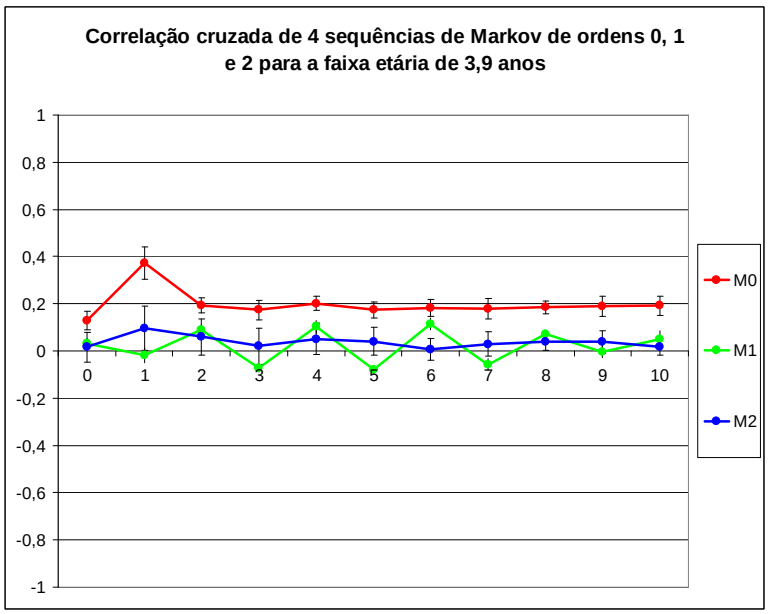
Figura 9 – Auto-correlação das sequências geradas pelos voluntários de 72,1 anos.



Fonte: Victorino (2012).

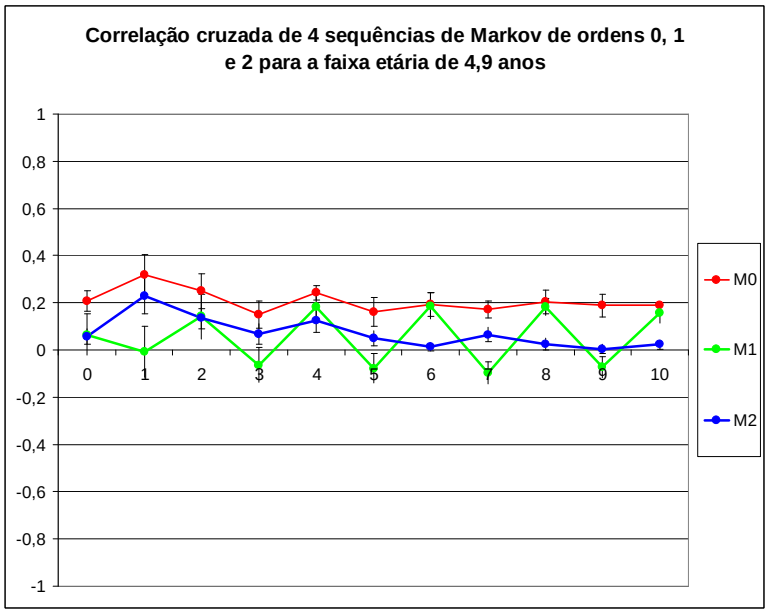
Correlação cruzada

Figura 10 – Correlação cruzada das sequências geradas pelos voluntários de 3,9 anos.



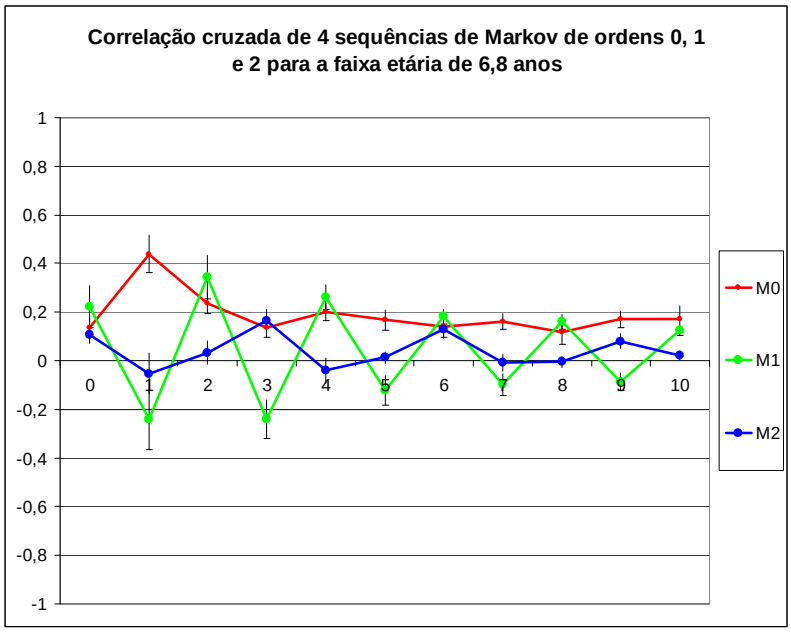
Fonte: Victorino (2012).

Figura 11 – Correlação cruzada das sequências geradas pelos voluntários de 4,9 anos.



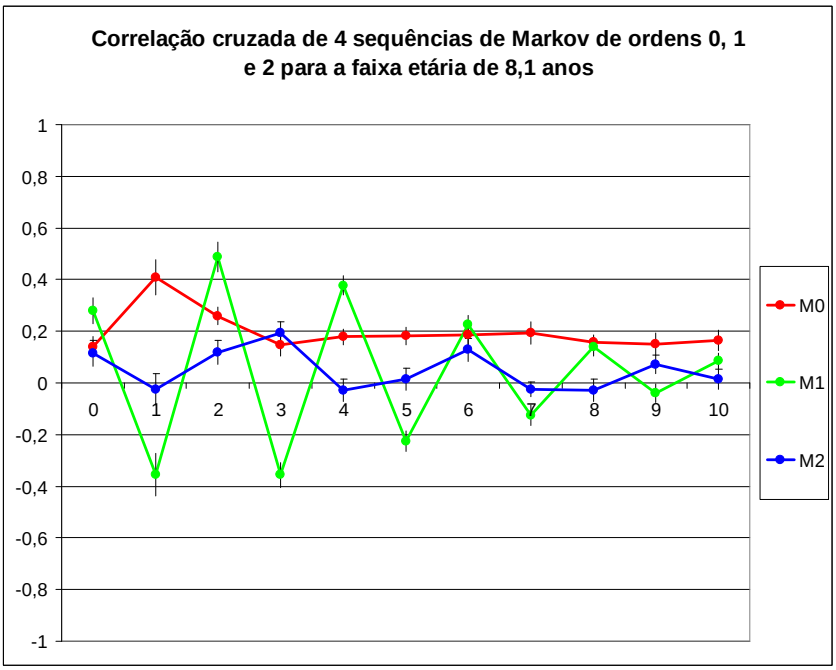
Fonte: Victorino (2012).

Figura 12 – Correlação cruzada das sequências geradas pelos voluntários de 6,8 anos.



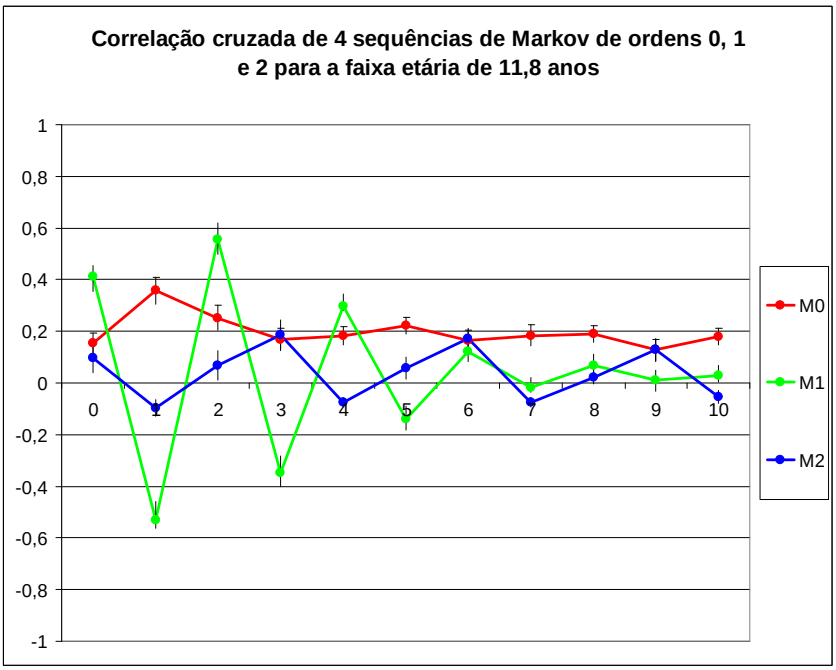
Fonte: Victorino (2012).

Figura 13 – Correlação cruzada das sequências geradas pelos voluntários de 8,1 anos.



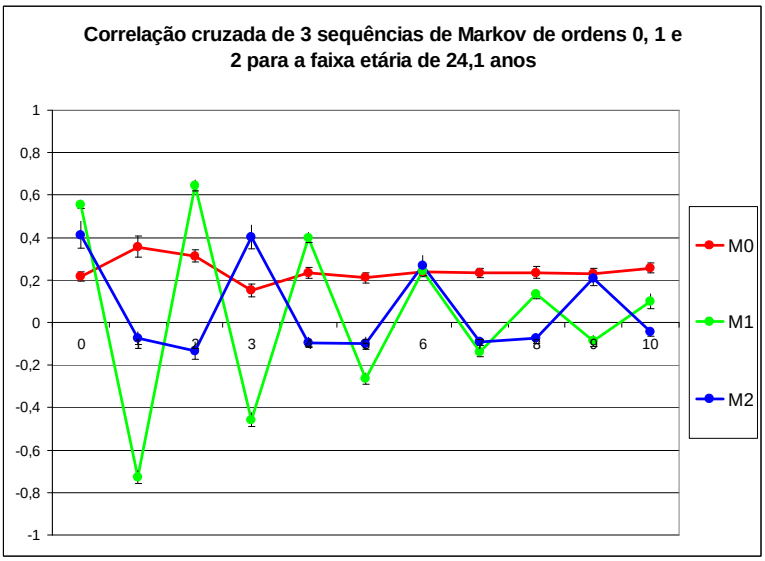
Fonte:Victorino (2012).

Figura 14 – Correlação cruzada das sequências geradas pelos voluntários de 11,8 anos.



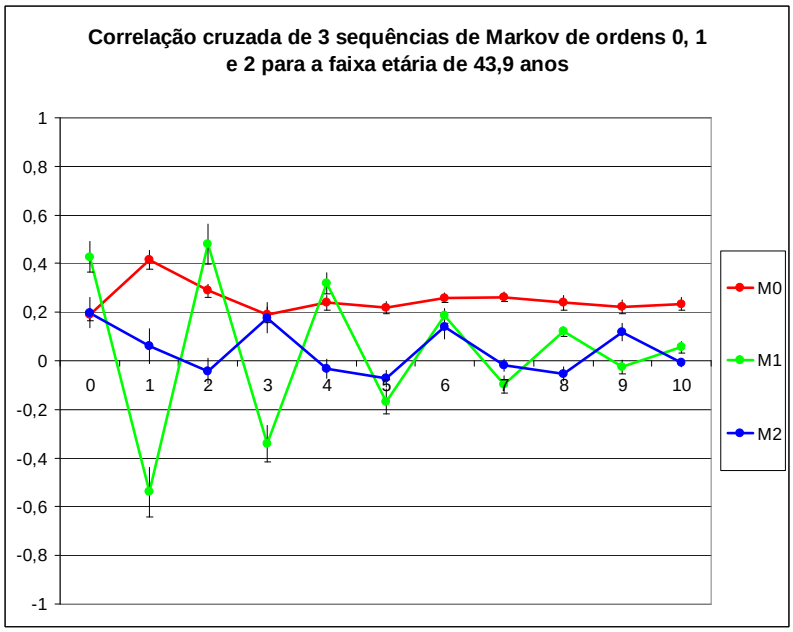
Fonte: Victorino (2012).

Figura 15 – Correlação cruzada das sequências geradas pelos voluntários de 24,1 anos.



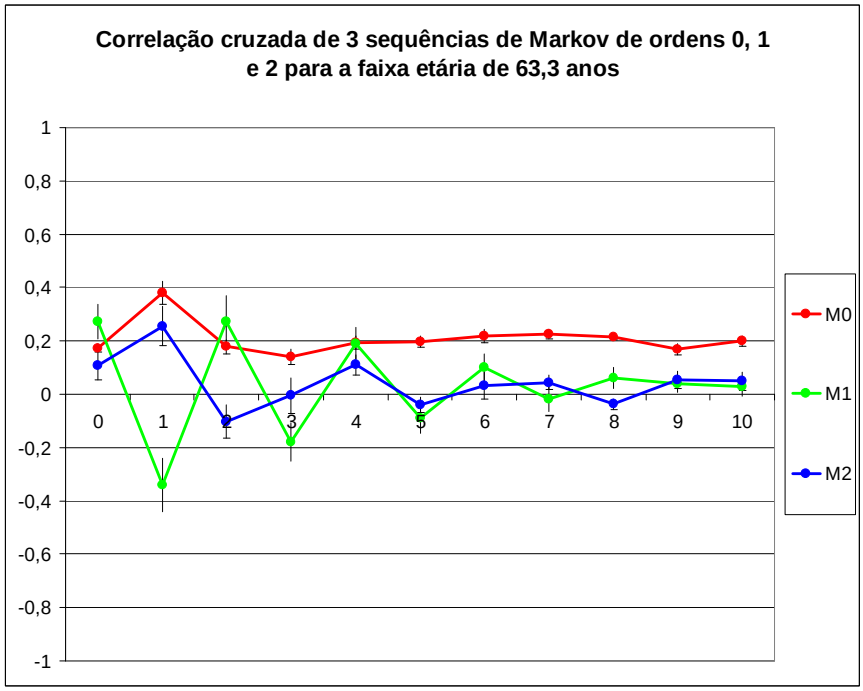
Fonte: Victorino (2012).

Figura 16 – Correlação cruzada das sequências geradas pelos voluntários de 43,9 anos.



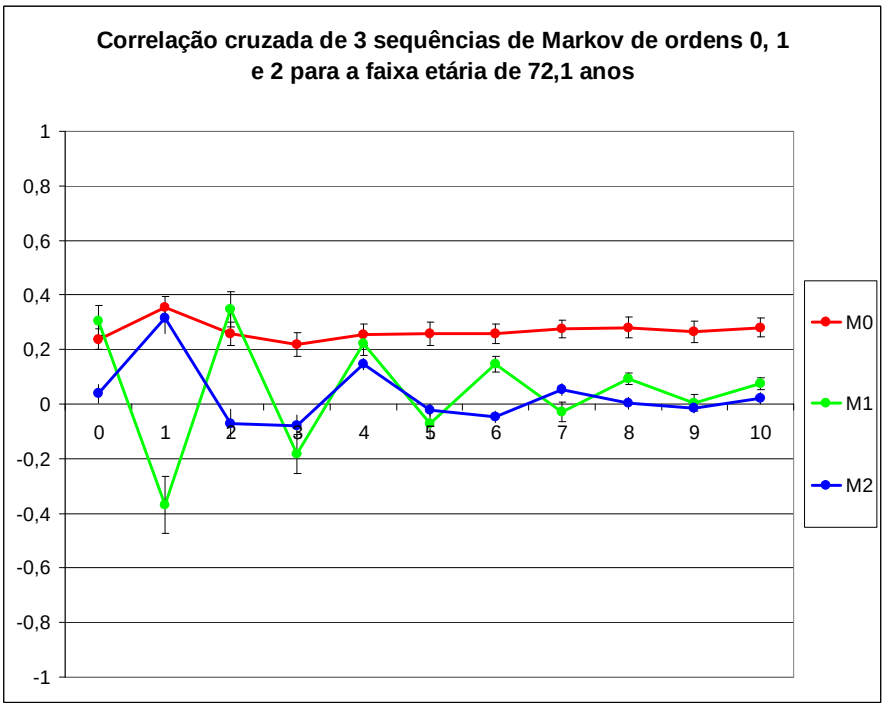
Fonte: Victorino (2012).

Figura 17 – Correlação cruzada das sequências geradas pelos voluntários de 63,3 anos.



Fonte: Victorino (2012).

Figura 18 – Correlação cruzada das sequências geradas pelos voluntários de 72,1 anos.



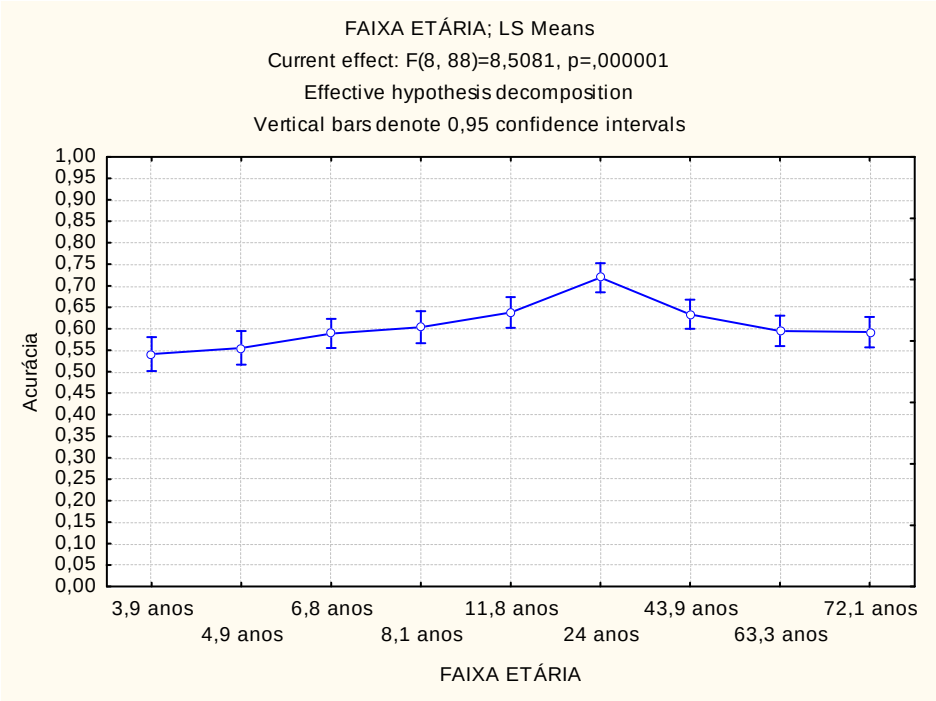
Fonte: Victorino (2012).

APÊNDICE B – Estatística

Seguem abaixo os gráficos de interação entre os fatores analisados e as tabelas com análise de pós-teste.

Acurácia

Figura 19 – Diferença da Acurácia entre as nove faixas etárias estudadas com significância estatística.



Fonte: Victorino (2012).

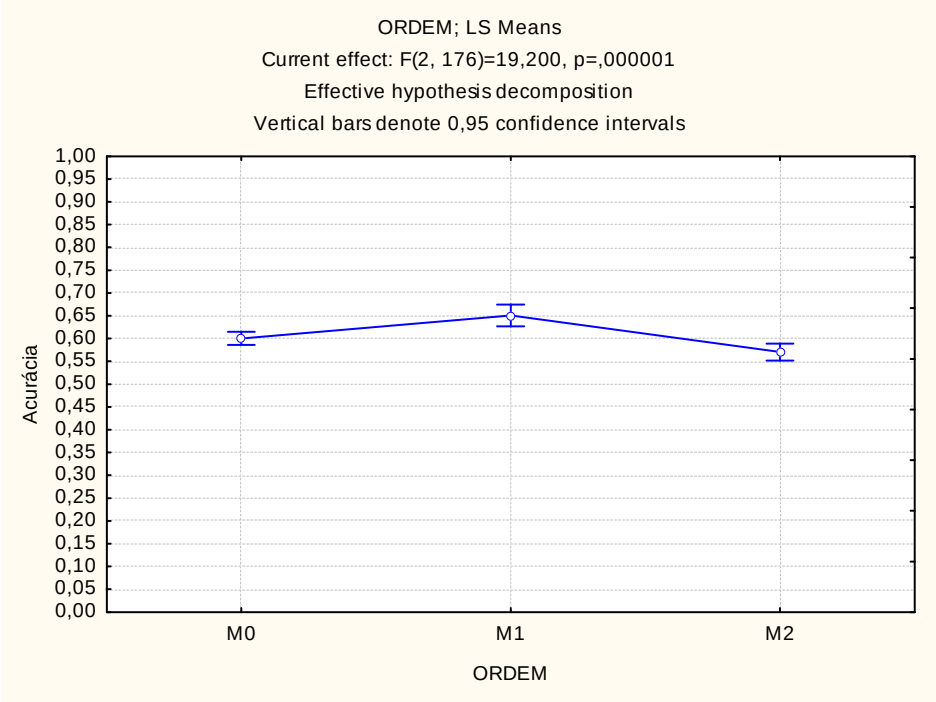
Figura 20 – Tabela de pós-teste da diferença de acurácia entre as faixas etárias.

Newman-Keuls test; variable (Acurácia das últimas 100 das primeiras 150 tentativas)
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests
Error: Between MS = ,01052, df = 88,000

Cell No.	FAIXA ETÁRIA	{1} ,54111	{2} ,55556	{3} ,58889	{4} ,60333	{5} ,63788	{6} ,71889	{7} ,63389	{8} ,59485	{9} ,59212
1	3,9 anos		0,575125	0,156119	0,159342	0,006934	0,000135	0,008819	0,232104	0,200608
2	4,9 anos	0,575125		0,197512	0,345793	0,029773	0,000118	0,034565	0,423640	0,332793
3	6,8 anos	0,156119	0,197512		0,942867	0,403877	0,000172	0,407379	0,970801	0,900173
4	8,1 anos	0,159342	0,345793	0,942867		0,373895	0,000251	0,237121	0,741869	0,900344
5	11,8 anos	0,006934	0,029773	0,403877	0,373895		0,002333	0,876906	0,342232	0,390115
6	24 anos	0,000135	0,000118	0,000172	0,000251	0,002333		0,003905	0,000166	0,000169
7	43,9 anos	0,008819	0,034565	0,407379	0,237121	0,876906	0,003905		0,286107	0,368802
8	63,3 anos	0,232104	0,423640	0,970801	0,741869	0,342232	0,000166	0,286107		0,915714
9	72,1 anos	0,200608	0,332793	0,900173	0,900344	0,390115	0,000169	0,368802	0,915714	

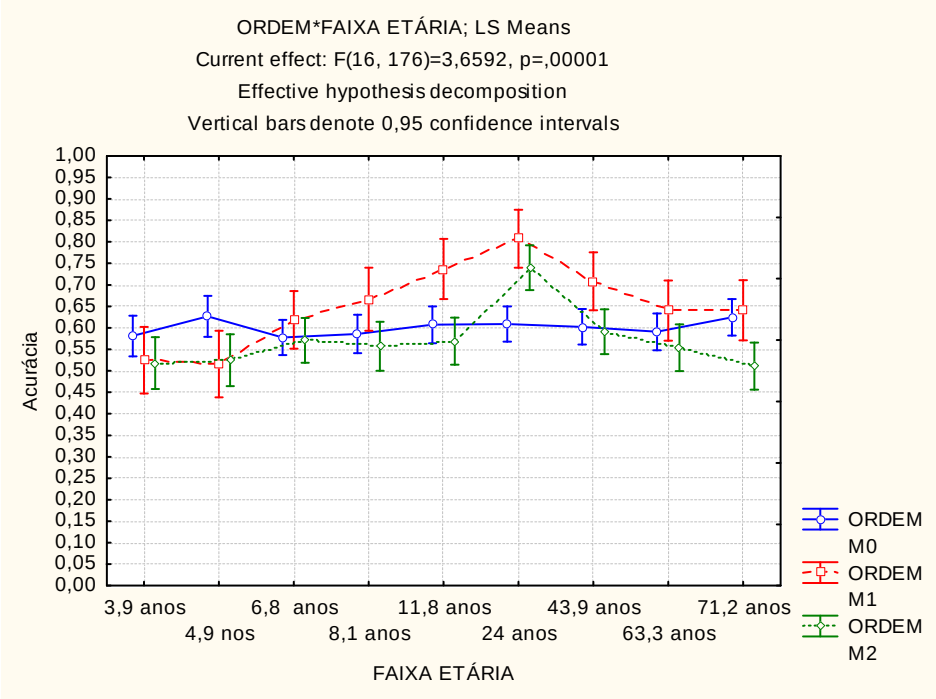
Fonte: Victorino (2012).

Figura 21 – Diferença da Acurácia para cada ordem de cadeia de Markov estudada, com significância estatística.



. Fonte: Victorino (2012).

Figura 22 – Diferença da Acurácia entre as três ordens de cadeia de Markov.



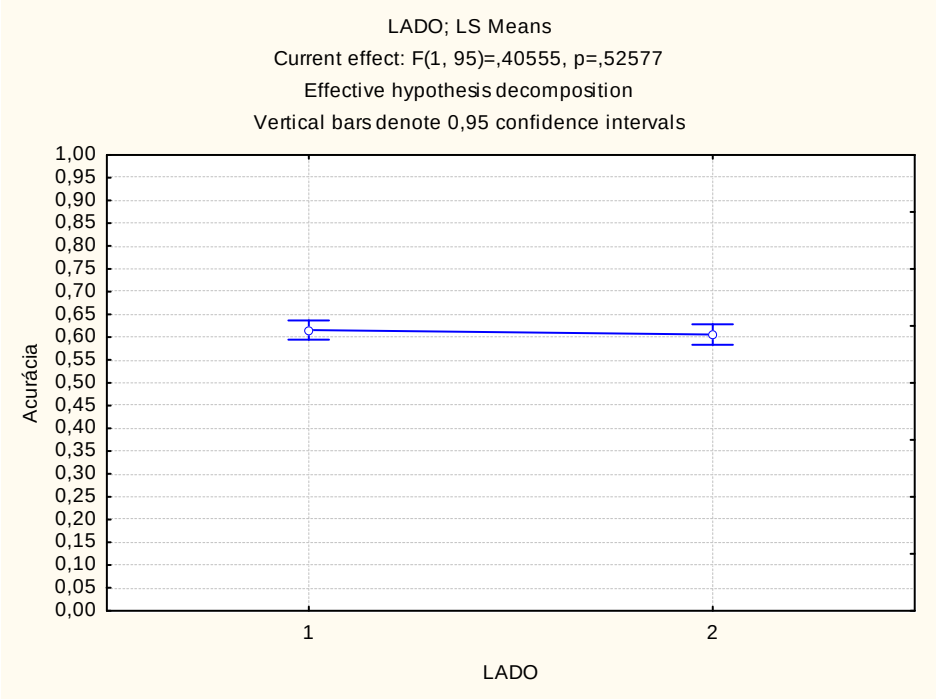
Fonte: Victorino (2012).

Figura 23 – Efeito de interação entre acurácia, faixa etária e ordem de cadeia de Markov.

Cell No.	Newman-Keuls test; variable (Acurácia das últimas 100 das primeiras 150 tentativas) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Within MS = ,00827, df = 176,00			
	ORDEM	{1} ,60052	{2} ,65814	{3} ,57464
1	M0		0,000018	0,047488
2	M1	0,000018		0,000022
3	M2	0,047488	0,000022	

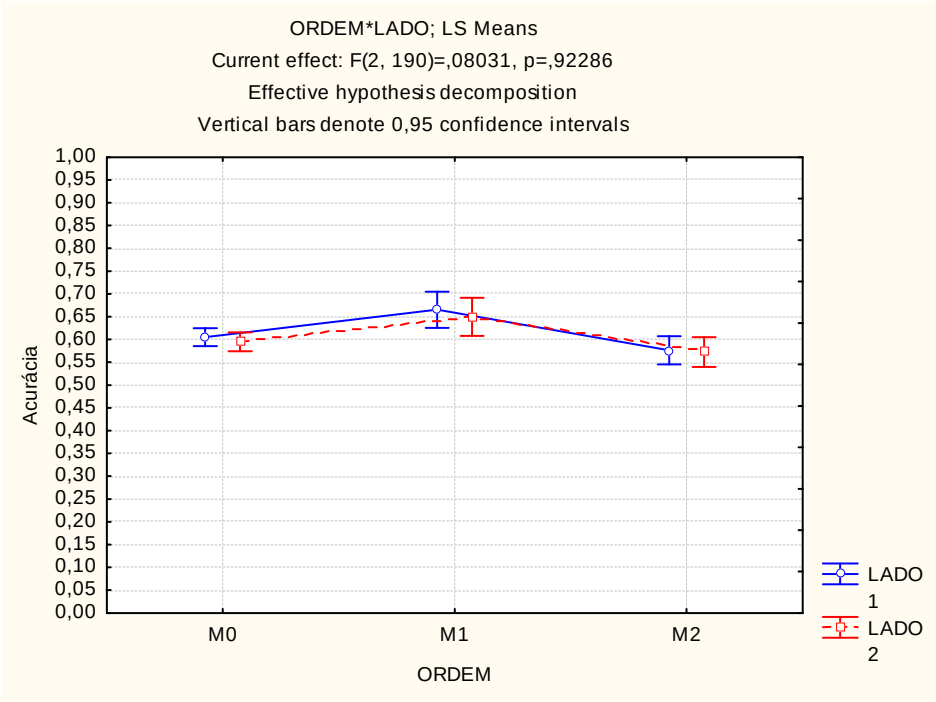
Fonte: Victorino (2012).

Figura 24 – Diferença de acurácia entre os lados 1 e 2 para os experimentos.



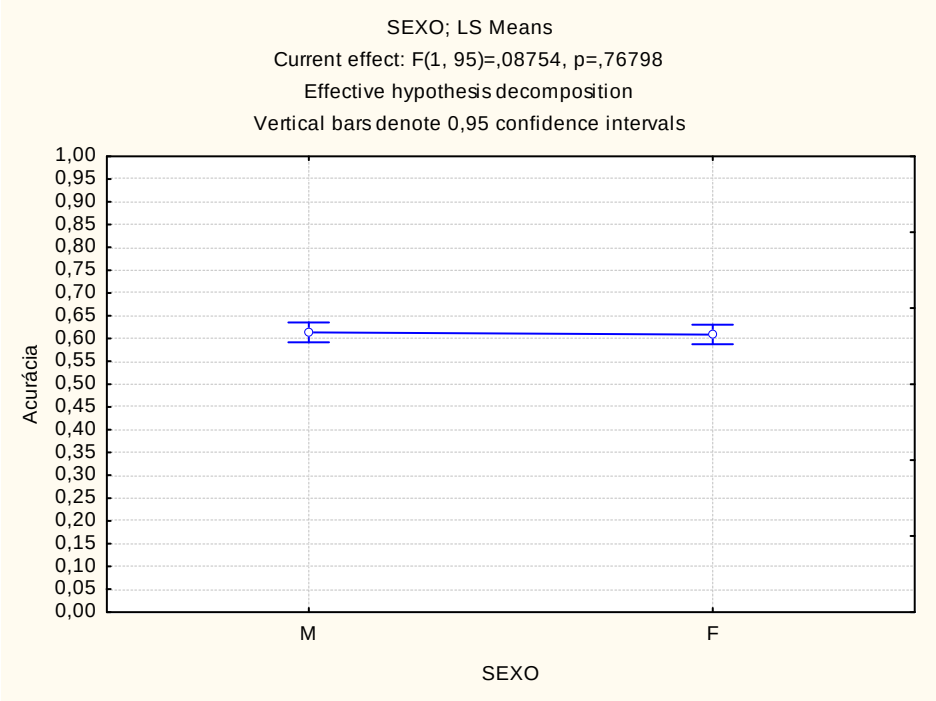
Fonte: Victorino (2012).

Figura 25 – Interação entre o lado 1e 2, ordem e acurácia.



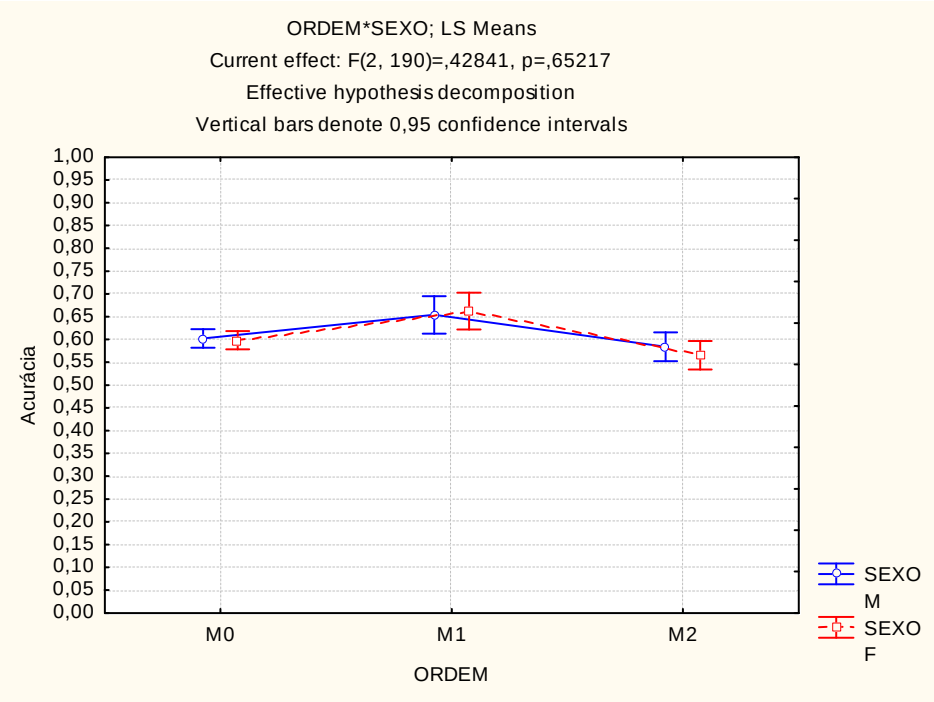
Fonte: Victorino (2012).

Figura 26 – Diferença da acurácia entre os gêneros feminino (F) e masculino (M).



Fonte: Victorino (2012).

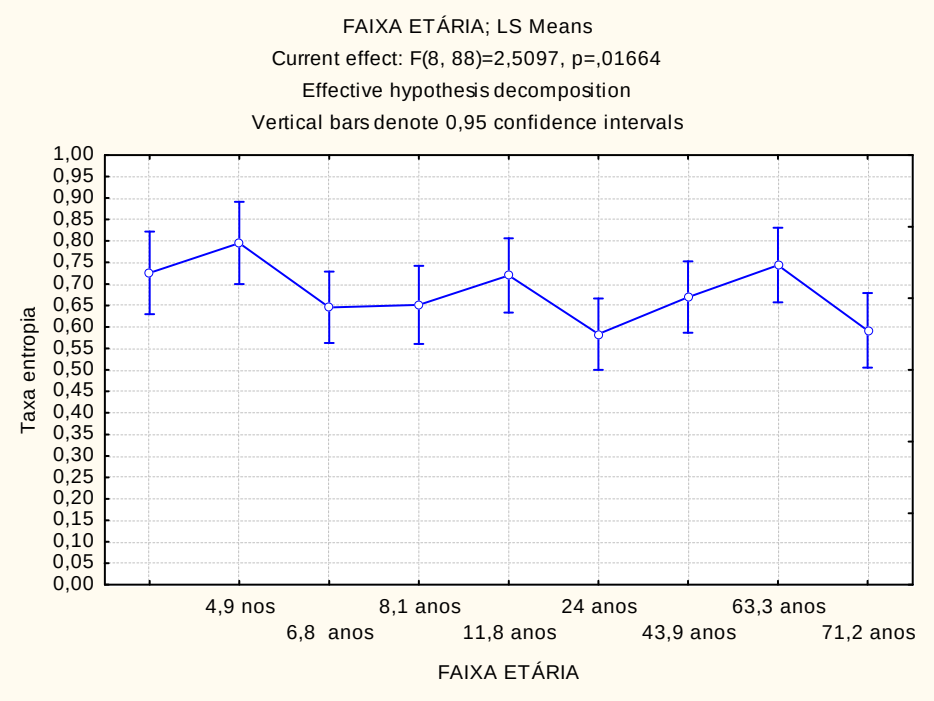
Figura 27 – Interação entre gênero, ordem e acurácia.



Fonte: Victorino (2012).

Taxa de entropia

Figura 28 – Relação entre faixa etária e taxa de entropia.



Fonte: Victorino (2012).

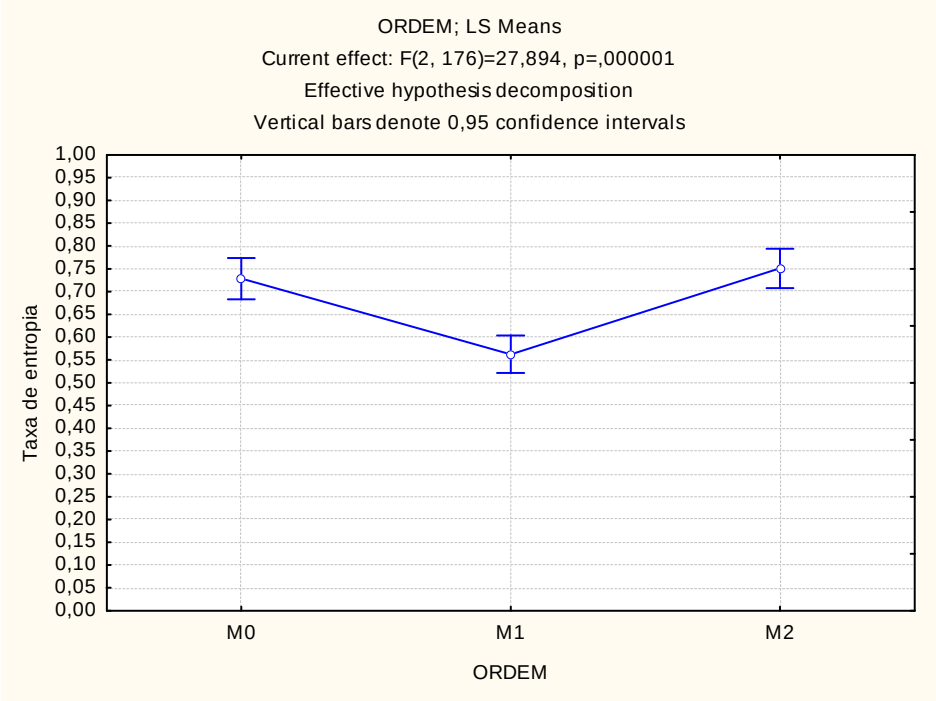
Figura 29 – Pós-teste da relação entre faixa etária e taxa de entropia.

Newman-Keuls test; variable DV_1 (TX Entropia das ultimas 100 das 150 t)
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests
Error: Between MS = ,06290, df = 88,000

Cell No.	FAIXA ETÁRIA	{1} ,72583	{2} ,79525	{3} ,64571	{4} ,65129	{5} ,71996	{6} ,58334	{7} ,66948	{8} ,74407	{9} ,59194
1	3,9 anos		0,512742	0,706069	0,636107	0,925812	0,269886	0,643012	0,772038	0,279870
2	4,9 nos	0,512742		0,218169	0,207495	0,628570	0,028814	0,272508	0,417010	0,034523
3	6,8 anos	0,706069	0,218169		0,929467	0,638999	0,582589	0,924120	0,621856	0,393870
4	8,1 anos	0,636107	0,207495	0,929467		0,520119	0,700853	0,772717	0,578980	0,612879
5	11,8 anos	0,925812	0,628570	0,638999	0,520119		0,258845	0,423367	0,921988	0,255751
6	24 anos	0,269886	0,028814	0,582589	0,700853	0,258845		0,646536	0,184383	0,891412
7	43,9 anos	0,643012	0,272508	0,924120	0,772717	0,423367	0,646536		0,635549	0,605987
8	63,3 anos	0,772038	0,417010	0,621856	0,578980	0,921988	0,184383	0,635549		0,200942
9	71,2 anos	0,279870	0,034523	0,393870	0,612879	0,255751	0,891412	0,605987	0,200942	

Fonte: Victorino (2012).

Figura 30 – Relação entre ordem e taxa de entropia.



Fonte: Victorino (2012).

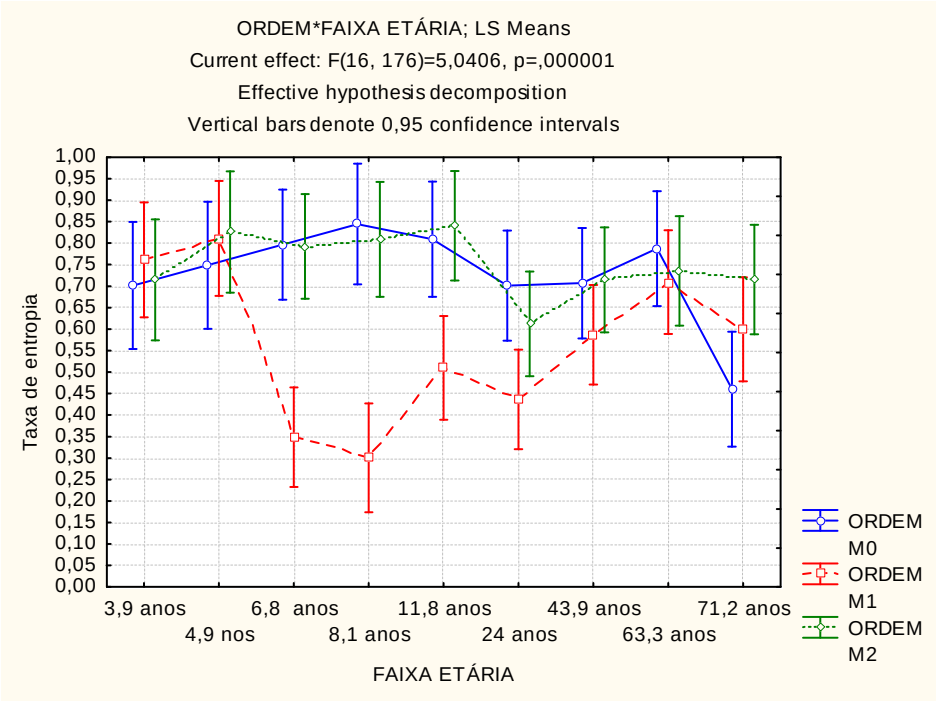
Figura 31 – Pós-teste da relação entre ordem e taxa de entropia.

Cell No.	ORDEM	{1} ,72767	{2} ,55282	{3} ,74840
1	M0		0,000009	0,449592
2	M1	0,000009		0,000022
3	M2	0,449592	0,000022	

Newman-Keuls test; variable (TX Entropia das ultimas 100 das 150 t)
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests
Error: Within MS = ,03644, df = 176,00

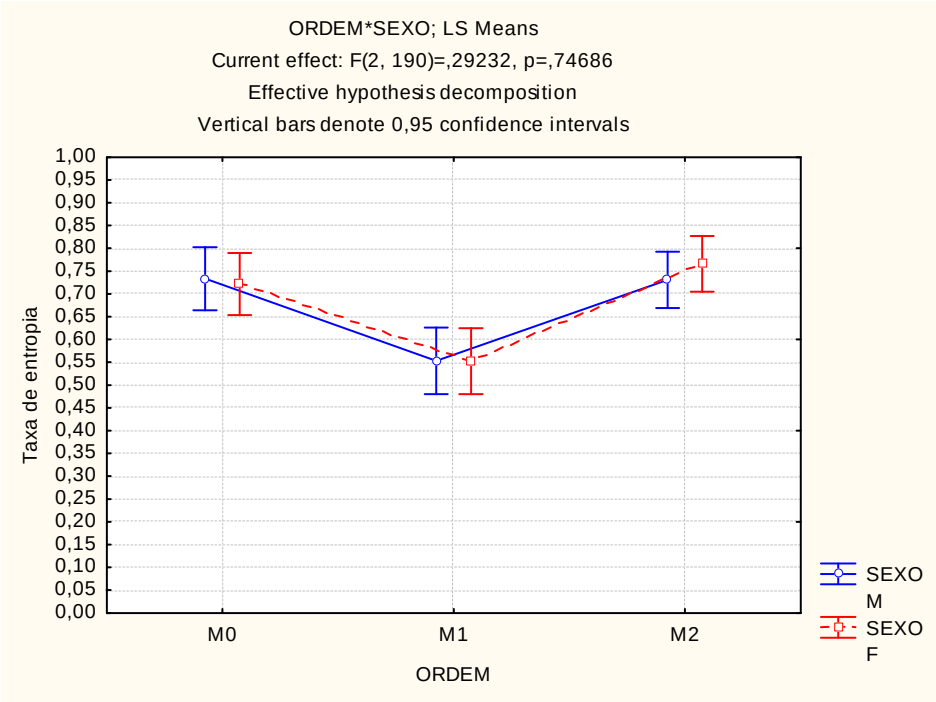
Fonte: Victorino (2012).

Figura 32 – Interação entre ordem e faixa etária para taxa de entropia.



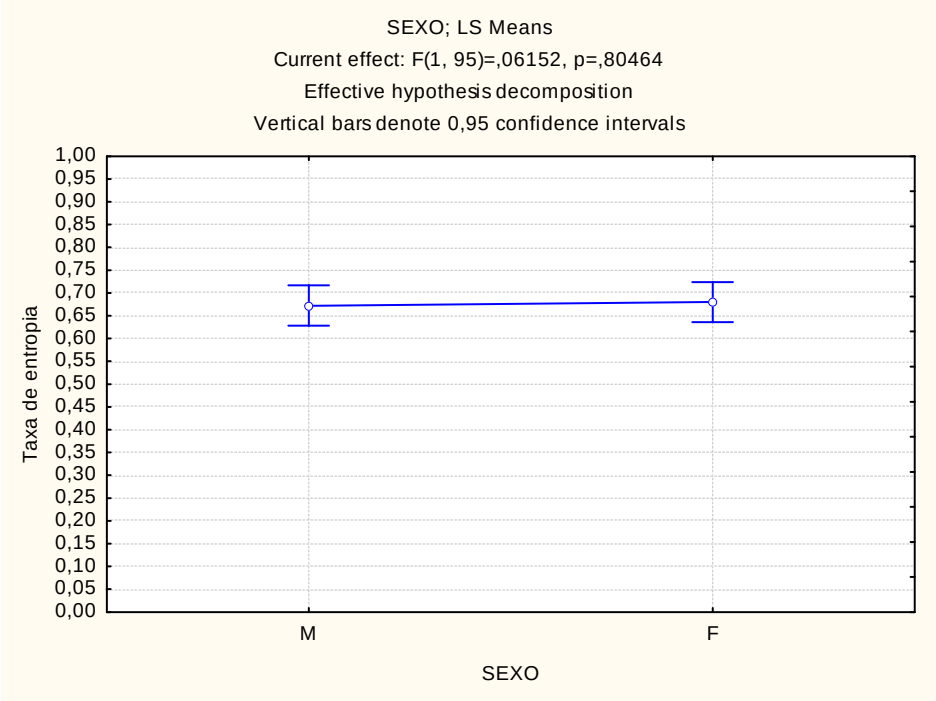
Fonte: Victorino (2012).

Figura 33 – Relação entre gênero e taxa de entropia.



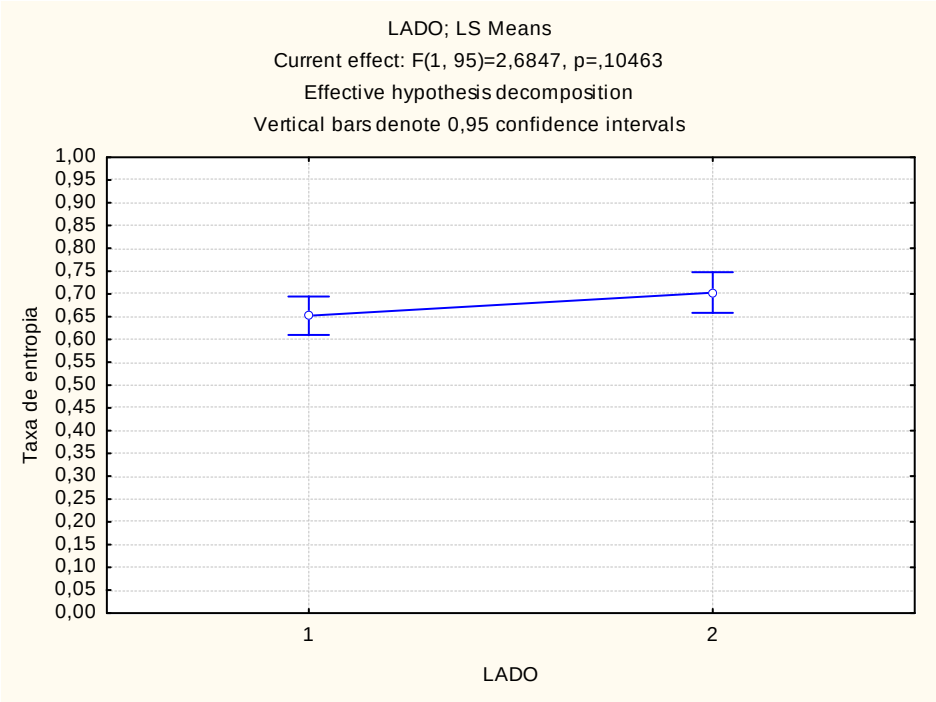
Fonte: Victorino (2012).

Figura 34 – Interação entre ordem e gênero para taxa de entropia.



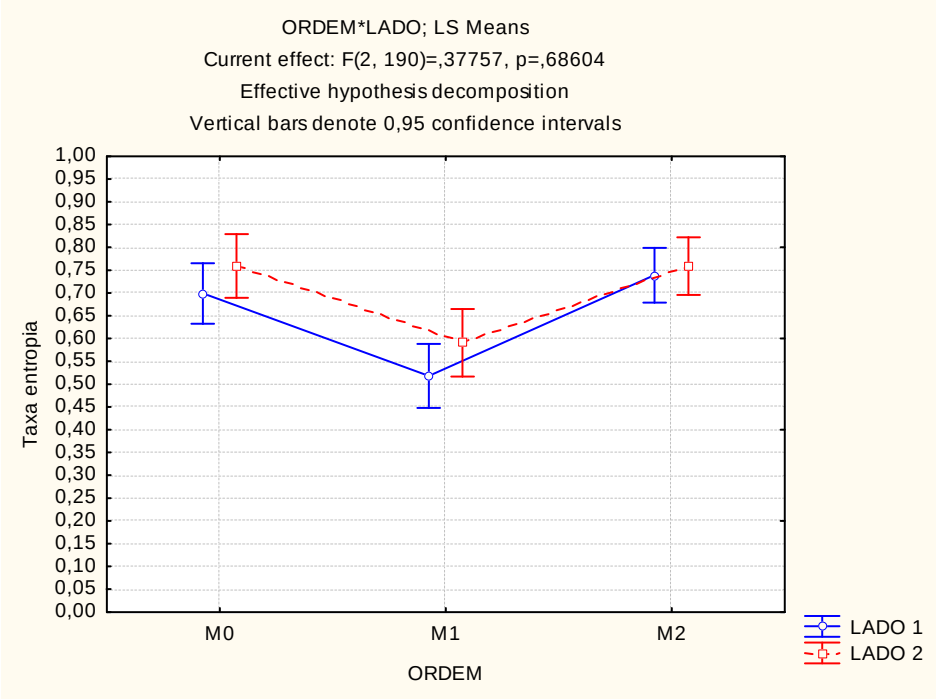
Fonte: Victorino (2012).

Figura 35 – Relação entre lado e taxa de entropia.



Fonte: Victorino (2012).

Figura 36 – Interação entre ordem e lado para taxa de entropia.



Fonte: Victorino (2012).