UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA ENGENHARIA AMBIENTAL

Quantificação e correlação das variáveis do ciclo de vida energético da edificação: energia incorporada na envolvente arquitetônica e consumo energético pelo comportamento térmico, caso de estudo: moradia.

Doutorando: Jaime Andrés Quiroa Herrera

Orientador: Prof. Dr. Francisco Vecchia

Tese apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Ciências de
Engenharia Ambiental da Escola de
Engenharia de São Carlos, da
Universidade de São Paulo.

São Carlos, SP 2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

- Q8q Quiroa Herrera, Jaime Andrés
- Quantificação e correlação das variáveis do ciclo de vida energético da edificação: energia incorporada na envolvente arquitetônica e consumo energético pelo comportamento térmico, caso de estudo: moradia / Jaime Andrés Quiroa Herrera ; orientador Francisco Vecchia. - São Carlos, 2013.
- Tese (Doutorado)-- Programa de Pós-Graduação em Ciências de Engenharia Ambiental -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2013.
1. Moradia. 2. Energia incorporada. 3. Comportamento térmico. 4. Consumo energético. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Arquiteto JAIME ANDRÉS QUIROA HERRERA.

Título da tese: "Quantificação e correlação das variáveis do ciclo de vida energético da edificação: energia incorporada na envolvente arquitetônica e consumo energético pelo comportamento térmico, caso de estudo: moradia".

Data da defesa: 25/02/2013

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Associado Francisco Arthur da Silva Vecchia (Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovado

Prof. Dr. Frederico Fabio Mauad
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovado

Prof. Titular Eduvaldo Paulo Sichieri
(Instituto de Arquitetura e Urbanismo/USP)

Aprovado

Prof. Dr. Javier Mazariegos Pablos
(Instituto de Arquitetura e Urbanismo/USP)

APROVADO

Prof. Dr. Gabriel Castañeda Nolasco
(Universidad Autónoma de Chiapas/México)

APROVADO

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental:
Prof. Dr. Frederico Fabio Mauad

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Titular Denis Vinicius Coury

Dedicatoria

A Dios por las bendiciones concedidas y principalmente por el parte aguas que marcó el camino para llegar a este punto.

A mis padres Alma y Jaime por las enseñanzas, paciencia, apoyo y sobre todo por el amor incondicional.

A mis Hermanos Darya, Lourdes y Nicolás, por todos los momentos que pasamos juntos, en los cuales me hicieron sentir su cariño y apoyo.

A mi amigo y orientador Francisco Vecchiapor la oportunidad concedida, la orientación, y por permitir las condiciones necesarias para desenvolver el presente trabajo.

A Marilia por la paciencia y el compañerismo.

A Marco, Marilusa, Marco Jr. por el cariño.

A Gabriel Castañeda por el seguimiento y todos los consejos.

A Marcos Pereira y a Alberto Mosquera por el apoyo y la ayuda.

A mis amigos y colegas que de una u otra forma participaron directa o indirectamente en este proceso.

Agradecimentos

À Universidade de São Paulo por me permitir estudar nesta grande Instituição.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental e ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, pela oportunidade de fazer doutorado e pelo material e instalações concedidas para o desenvolvimento desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida para o desenvolvimento desta pesquisa.

Quiroa Herrera, Jaime Andrés. **Quantificação e correlação das variáveis do ciclo de vida energético da edificação: energia incorporada na envolvente arquitetônica e consumo energético pelo comportamento térmico, caso de estudo: moradia**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

Resumo

No presente trabalho se analisou o consumo energético de uma moradia social, para isto se calculou a energia incorporada nos materiais construtivos utilizados no projeto da moradia analisada e o consumo energético provocado pelo comportamento térmico da envolvente térmica da edificação estudando como a mudança dos materiais construtivos como: telhados e paredes modificam o valor da energia incorporada e o consumo de energia elétrica pelo comportamento térmico, uma vez que se considera possível que o consumo energético por motivos térmico seja maior que a energia incorporada. Para o calculo da energia incorporados materiais construtivos que compõem a envolvente, foram utilizados coeficientes de energia incorporada propostos por Tavares, (2006), Graf; Tavares, (2010), Lobo, (2010). A pesquisa foi enfocada ao setor habitacional por ser um dos setores que apresentam maior consumo de energia, enfocando-se especificamente à moradia social. A metodologia para avaliar o consumo energético da edificação no período de análise, se divide em quatro etapas: 1)Quantificação de materiais da envolvente 2) Cálculo de energia incorporada 3) Calculo de gasto energético nos períodos de 1 e 40 anos realizado por meio de simulações no software Energy Plus 4)Calculo dos coeficientes de correlação das variáveis.Tomaram-se as cidades de São Carlos, SP e Belém, PA, como exemplos de análise. A primeira cidade participa com 11% no rubro de condicionamento ambiental no setor residencial e segunda participa com 40%. Os resultados foram trabalhados e analisados com gráficos de Excel, para a posterior análise e conclusão. Identificou-se um coeficiente de correlação que indica uma forte correlação entres as variáveis analisadas no presente. O que indica que existe uma relação entre a quantidade de energia incorporada nos materiais e no consumo energético operacional pelo comportamento térmico destes.

Palavras Chave: moradia, energia incorporada, comportamento térmico, consumo energético.

Quiroa Herrera, Jaime Andrés. **Quantification and correlation of lifecycle building energyvariables: energy embodied in the architectural envelope and energy consumption for its thermal behavior, case study: residential house.**Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

Abstract

In this study were analyzed the energy consumption of a housing, for it is calculated the embodied energy of construction materials, and energy consumption caused by the thermal behavior of the building envelope. It was change the building materials in the building, modifying the value of embodied energy and electricity consumption, since it is possible that the energy consumption of thermal behavior can be higher than the energy embodied. To calculate the embodied energy, were used a embodied energy coefficients proposed by Tavares, (2006), Graf; Tavares, (2010)Lobo, (2010).(TAVARES, SERGIO FERNANDO, 2006). This research is focus to residential sector as one of the sectors with higher energy consumption, focusing specifically on social housing. The methodology to evaluate energy consumption in the building during the period of analysis is divided into three steps: 1) Quantification of the materials 2) Calculate the embodied energy 3) Calculate the consumption of energy in the period of 40 years, made by simulations in Energy Plus software 4) Calculate the correlation ship between the variables analyzed. It follows the cities of São Carlos, SP and Belem, PA as examples of analysis; the first city participates with 11% in the energy consumption used in environmental conditioning in the residential sector and the second city participates with 40%. Changes were made in the materials of walls and roofs, trying to identify the differences of embodied energy and electricity consumption. The data obtained were worked in Excel spread sheets for further analysis and conclusion of the data. It was identified a strongly correlation coefficient between the analyzed variables.

Keywords:*residential, embodied energy, thermal behavior, energy consumption.*

Quiroa Herrera, Jaime Andrés. Cuantificación y correlación de las variables de ciclo de vida energético del edificio: energía incorporada en la envolvente arquitectónica y consumo energético por su comportamiento térmico, estudio de caso: habitación. **Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental).** Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

Resumen

En el presente trabajo se analizó o consumo energético de una vivienda social, para esto se calculó la energía incorporada en los materiales construcción que componen el proyecto de vivienda y la energía consumida por el comportamiento térmico de la misma así como la modificación de los materiales constructivos como: cubiertas y paredes utilizados en la vivienda estudiando cómo estas modificaciones afectan los valores de energía incorporada y los valores de energía eléctrica consumida por el comportamiento de la envolvente arquitectónica, ya que se considera posible que el consumo energético por motivos térmicos sea mayor que el de la energía incorporada. Para el cálculo de la energía incorporada de los materiales constructivos, fueron utilizados los coeficientes de energía incorporada propuestos por Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010). Esta investigación fue enfocada al sector habitacional por ser uno de los sectores que más consumen energía, el proyecto analizado pertenece al de una vivienda social. La metodología utilizada para evaluar el consumo energético de la envolvente arquitectónica se divide en tres etapas: 1) Cuantificación de los materiales constructivos de la envolvente, 2) Calculo de la Energía Incorporada de los materiales utilizados, 3) Calculo de consumo de la energía eléctrica para el periodo de 40 años por medio de simulaciones realizadas en el software Energy Plus. Se utilizaron las ciudades de São Carlos, São Paulo, y Belem de Pará, para realizar el análisis térmico, la primera tiene una participación de 11 % en el consumo por condicionamiento ambiental en el sector residencial y la segunda participa con 40% de este consumo. Los datos obtenidos fueron trabajados en planillas Excel para su posterior análisis y conclusión. Se identificó un coeficiente de correlación que indicia una correlación fuerte entre las variables analizadas, lo que indica una relación entre la energía incorporada en los materiales constructivos y el consumo energético provocado por el comportamiento térmico de estos materiales.

Palabras Clave: vivienda, energía incorporada, consumo energético, comportamiento térmico.

Lista de Figuras

FIGURA 1. GRÁFICO DA EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO ENERGÉTICA ELÉTRICA DE ALGUNS PAÍSES ESCOLHIDOS. FONTE: MASCARÓ, CLARO, EIDER, (1978).	28
FIGURA 2. GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO MUNDIAL DO ANO 1990 COM PROJEÇÃO A 2035, EM VERMELHO OS PAÍSES QUE NÃO PERTENCEM A ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÓMICO (OECD) E EM AZUL OS PAÍSES QUE PERTENCEM A OECD. FONTE: (U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), 2011).	28
FIGURA 3. GRÁFICO DA GERAÇÃO MUNDIAL DE ENERGIA ELÉTRICA POR FONTE. FONTE: U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), 2011.	29
FIGURA 4. - PRODUÇÃO ENERGÉTICA MUNDIAL 1931-1971, BASEADO EM DADOS DA UM STATISTICAL YEAR BOOK, 1951, 1966 E 1972. FONTE: SZOKOLAY, 1978.	29
FIGURA 5. - CONSUMO ENERGÉTICO MUNDIAL POR COMBUSTÍVEL DO ANO 1990 AO 2035. FONTE: U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), 2011.	30
FIGURA 6. - GRÁFICO DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA NO MUNDO. FONTE: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA 2008.	31
FIGURA 7. - GRÁFICO DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA NO BRASIL. FONTE: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA 2008.	31
FIGURA 8. - GRÁFICO DA MATRIZ DE OFERTA DE ENERGIA ELÉTRICA 2006 NO BRASIL E MUNDO. (FONTE: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA 2008).	32
FIGURA 9. - EXEMPLO DO EMPRAZAMENTO DE UMA EDIFICAÇÃO EM UM CLIMA QUENTE. FONTE: LEANDRO M. 2007.	36
FIGURA 10. - EXEMPLOS DA LOCALIZAÇÃO DAS JANELAS PARA A CORRETA VENTILAÇÃO DA EDIFICAÇÃO FONTE: LEANDRO M. 2007.	36
FIGURA 11. - GRÁFICO DO CONSUMO TOTAL DE ENERGIA ELÉTRICA POR SETOR: O CONSUMO DO SETOR RESIDENCIAL CORRESPONDE A 24% SÓ SUPERADO PELO SETOR INDUSTRIAL COM 46%. FONTE: EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) 2007	39
FIGURA 12. - GRÁFICO DA PARTICIPAÇÃO DOS ELETRODOMÉSTICOS NO CONSUMO RESIDENCIAL NO BRASIL. FONTE: PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL) ELETROBRÁS.	39
FIGURA 13. - GRÁFICO DA PARTICIPAÇÃO DOS ELETRODOMÉSTICOS NO CONSUMO RESIDENCIAL NA REGIÃO NORTE. FONTE: PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL) ELETROBRÁS.	40
FIGURA 14. - GRÁFICO DA PARTICIPAÇÃO DOS ELETRODOMÉSTICOS NO CONSUMO RESIDENCIAL NA REGIÃO NORDESTE. FONTE: PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL) ELETROBRÁS.	40
FIGURA 15. - GRÁFICO DA PARTICIPAÇÃO DOS ELETRODOMÉSTICOS NO CONSUMO RESIDENCIAL NA REGIÃO CENTRO-OESTE. FONTE: PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL) ELETROBRÁS.	40
FIGURA 16. - GRÁFICO DA PARTICIPAÇÃO DOS ELETRODOMÉSTICOS NO CONSUMO RESIDENCIAL NA REGIÃO SUDESTE. FONTE: PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL) ELETROBRÁS.	41
FIGURA 17. - GRÁFICO DA PARTICIPAÇÃO DOS ELETRODOMÉSTICOS NO CONSUMO RESIDENCIAL NA REGIÃO SUL. FONTE: PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL) ELETROBRÁS.	41
FIGURA 18. - PROCESSO DE CERTIFICAÇÃO BREEAM. FONTE: (BREEAM, 2012)	44
FIGURA 19. - DIVISÃO DA AVALIAÇÃO, Q: QUALIDADE AMBIENTAL DA EDIFICAÇÃO, L: CARGAS AMBIENTAIS DA EDIFICAÇÃO, AMBAS DENTRO DO UM LIMITE HIPOTÉTICO. FONTE: CASBEE, (2012). TRADUÇÃO: QUIROA	45
FIGURA 20. - CLASSIFICAÇÃO E REORDENAMENTO DA AVALIAÇÃO NOS ITENS Q (QUALIDADE AMBIENTAL DA EDIFICAÇÃO) E L (CARGAS AMBIENTAIS DA EDIFICAÇÃO). FONTE: CASBEE, (2012). TRADUÇÃO: QUIROA	46
FIGURA 21. - A EFICIÊNCIA AMBIENTAL DA EDIFICAÇÃO (BEE), UTILIZA Q COMO NUMERADOR E L COMO DENOMINADOR, AMBAS COMO CATEGORIAS DE AVALIAÇÃO DA CASBEE BEE. FONTE: CASBEE, (2012).	46
FIGURA 22. - ETIQUETAGEM BASEADA NA EFICIÊNCIA AMBIENTAL DA EDIFICAÇÃO. (BEE). FONTE: CASBEE, (2012), TRADUÇÃO: QUIROA.	46
FIGURA 23. - COMPONENTES CHAVE DA AVALIAÇÃO GBC. FONTE: COLE, (2002)	47
FIGURA 24. - ESCALA CONSIDERADA NO GBTOOL. FONTE: PINHEIRO, (2006)	48

FIGURA 25. – TIPOS DE LEED E PROCESSO DE AVALIAÇÃO NO CICLO DE VIDA DA EDIFICAÇÃO. FONTE:U.S. GREEN BUILDING COUNCIL, (2012).....	48
FIGURA 26. – PROCESSO DE CERTIFICAÇÃO LEED. FONTE: ARQUITECTURA E INTERIORES, (2005)	49
FIGURA 27. – PROGRAMA EP LAUNCH DO ENERGYPLUS ONDE SÃO CARREGADOS OU EDITADOS OS ARQUIVOS DA EDIFICAÇÃO.	50
FIGURA 28. – EDITOR IDF, NO QUAL SÃO INGRESSADAS AS CARATERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO E DA SIMULAÇÃO.	50
FIGURA 29. - GRÁFICO DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO, NA PRESENTE PESQUISA SÃO ANALISADAS AS VARIÁVEIS DE ENERGIA INCORPORADA E CONSUMO POR VENTILAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO.....	51
FIGURA 30. - DIFERENTES FASES DE CAMBIO TEMPORAIS DE UMA EDIFICAÇÃO DURANTE SEU CICLO DE VIDA (ADALBERTH, 1997A).....	52
FIGURA 31. - CICLO DE VIDA DE UMA EDIFICAÇÃO (TAVARES, SERGIO F; LAMBERTS, 2005).....	55
FIGURA 32. – GRÁFICO DOS DIFERENTES CONSUMOS OPERACIONAIS NAS MORADIAS ANALISADA POR ADALBERTH, (1997B)	62
FIGURA 33. - FIGURA DAS ETAPAS E DA UTILIZAÇÃO DAS METODOLOGIAS PARA O A QUANTIFICAÇÃO E SIMULAÇÃO DA EDIFICAÇÃO.....	65
FIGURA 34. - LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS NO ESTADO DE SÃO PAULO. FONTE:HTTP://WWW.SKYSCRAPERCITY.COM/SHOWTHREAD.PHP?T=699738.	66
FIGURA 35. - GRÁFICO QUE APRESENTA AS CARATERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE SÃO CARLOS COMO: TEMPERATURA, UMIDADE, VELOCIDADE DO VENTO, RADIAÇÃO DIRETA E DIFUSA, SEGUNDO DADOS DO INMET OBTIDOS DO ARQUIVO CLIMÁTICO DA SIMULAÇÃO.	68
FIGURA 36. – LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE BELÉM, ESTADO DO PARÁ. FONTE: HTTP://WWW.WEBBUSCA.COM.BR/PAGAM/BELEM/BELEM_MAPAS.ASP	69
FIGURA 37. - GRÁFICO QUE APRESENTA AS CARATERÍSTICAS CLIMÁTICAS ANUAIS TAIS COMO: TEMPERATURA, UMIDADE, VELOCIDADE DO VENTO, RADIAÇÃO SOLAR DIRETA E DIFUSA, DA CIDADE DE BELÉM.....	71
FIGURA 38. - MAPA DO ZONEAMENTO BIO-CLIMÁTICO BRASILEIRO DE ACORDO COM AS NORMAS ABNT NBR 15220-3, (2003), NO PONTO VERMELHO A CIDADE DE BELÉM E NO PONTO AMARELO A CIDADE DE SÃO CARLOS.....	72
FIGURA 39. - ESTRATÉGIAS DE CONDICIONAMENTO TÉRMICO PASSIVO RECOMENDADAS PARA A ZONA 4. FONTE: ABNT NBR 15220-3.....	72
FIGURA 40. - ESTRATÉGIAS DE CONDICIONAMENTO TÉRMICO PASSIVO RECOMENDADAS PARA A ZONA 8. FONTE: ABNT NBR 15220-3.....	73
FIGURA 41 - PLANTA ARQUITETÔNICA E FACHADA DA CÉLULA DE TESTE.....	74
FIGURA 42 – IMPLANTAÇÃO DAS CÉLULAS DE EXPERIMENTAIS.	75
FIGURA 43. - SISTEMA AUTOMÁTICO DE AQUISIÇÃO DE DADOS DA CAMPBELL SCIENTIFIC INC.....	75
FIGURA 44. -. MULTIPLEXADOR DE 32 CANAIS DA CAMPBELL SCIENTIFIC INC.....	76
FIGURA 45. - TERMOPAR TIPO “T” UTILIZADO NAS MEDIÇÕES EXPERIMENTAIS NAS CÉLULAS DE TESTE.	76
FIGURA 46. - GRÁFICO COM O VOLUME DA CÉLULA DE TESTE ELABORADO COM O PLUG-IN OPEN STUDIO E SER SIMULADO POSTERIORMENTE NO SOFTWARE ENERGY PLUS.....	77
FIGURA 47. - VISTA FRONTAL DO PROJETO DE MORADIA APROVADO PELA PREFEITURA DE SÃO CARLOS, SP. FONTE: HTTP://WWW.SAOCARLOS.SP.GOV.BR.....	78
FIGURA 48. - VISTA LATERAL DO PROJETO DE MORADIA APROVADO PELA PREFEITURA DE SÃO CARLOS, SP. FONTE: HTTP://WWW.SAOCARLOS.SP.GOV.BR.....	79
FIGURA 49. - DESEMPENHO AO LONGO DO TEMPO DOS MATERIAIS QUE COMPÕEM A EDIFICAÇÃO. FONTE:ABNT 15575-1.....	80
FIGURA 50. - PLANTA DA EDIFICAÇÃO NA QUAL FORAM LEVANTADAS AS ZONAS PARA A SIMULAÇÃO ENERGÉTICA.	86
FIGURA 51. - VOLUME DO DORMITÓRIO 1 REALIZADO COM O PLUG-IN OPEN STUDIO.	87
FIGURA 52. – VOLUME DA SALA REALIZADO COM O PLUG-IN OPEN STUDIO.....	88
FIGURA 53. – VOLUME DA COZINHA REALIZADO COM O PLUG-IN OPEN STUDIO.	88
FIGURA 54. – VOLUME CORRESPONDENTE AO BANHEIRO REALIZADO COM A FERRAMENTA OPEN STUDIO.	89
FIGURA 55. – VOLUME DA ZONA DE CIRCULAÇÃO REALIZADO COM O PLUG-IN OPEN STUDIO.....	89
FIGURA 56. – VOLUME DO DORMITÓRIO 2 REALIZADO COM O PLUG-IN OPEN STUDIO.	90
FIGURA 57. – MODELO COMO TODOS OS VOLUMES QUE O COMPÕEM.	91
FIGURA 58. – MODELO GEOREFERENCIADO NA FOTO SATÉLITAL E LOCALIZADO NA IMAGEM DO GOOGLE EARTH.....	91
FIGURA 59. - FIGURA COM A COMPOSIÇÃO DE MATERIAIS DE CADA ELEMENTO DA EDIFICAÇÃO.	92
FIGURA 60. NESTA FIGURA PODE-SE OBSERVAR A VERSÃO DO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO ENERGY PLUS.....	94

FIGURA 61. - PARÂMETROS UTILIZADOS NA SECÇÃO DE “SIMULATION CONTROL”.	94
FIGURA 62. - CARATERÍSTICAS NA SIMULAÇÃO DA EDIFICAÇÃO.	94
FIGURA 63. SELEÇÃO DA SOLUÇÃO ANALÍTICA PARA O ALGORITMO DO BALANÇO DO CALOR NUMA ZONA.	95
FIGURA 64. – ALGORITMO PARA A SIMULAÇÃO DE BALANÇO DE CALOR POR ZONAS.	95
FIGURA 65. - NÚMERO DE REPETIÇÕES EM UMA HORA.	95
FIGURA 66.- LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE SÃO CARLOS.	96
FIGURA 67. – LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE BELÉM.	96
FIGURA 68. – INTERFASE ONDE É SELECIONADO O PERÍODO OU TEMPO QUE SE PRETENDE SIMULAR.	96
FIGURA 69.- TEMPERATURAS MENSIS DO SOLO INGRESSADAS NO ENERGY PLUS. AS TEMPERATURAS DESTES GRÁFICOS CORRESPONDEM A CIDADE DE SÃO CARLOS, SP:	97
FIGURA 70. - GRÁFICO COM AS TEMPERATURAS MENSIS DO SOLO DA CIDADE DE BELÉM DO PARÁ.	97
FIGURA 71. - GRÁFICO DOS SCHEDULES UTILIZADOS NA SIMULAÇÃO.	97
FIGURA 72. – GRÁFICO DOS SCHEDULES A SEREM UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES DA MORADIA.	98
FIGURA 73. - GRÁFICO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA SIMULAÇÃO ASSIM COMO AS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DO MESMOS.	98
FIGURA 74. - GRÁFICO COM AS CARACTERÍSTICAS DA RESISTÊNCIA DO AR NAS PAREDES E NA TELHADO.	99
FIGURA 75. - GRÁFICO ONDE SE APRESENTA A COMPOSIÇÃO DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS QUE COMPÕEM A EDIFICAÇÃO.	99
FIGURA 76. – GRÁFICO DAS ZONAS QUE COMPOEM A EDIFICAÇÃO A SER SIMULADA.	99
FIGURA 77. – GRÁFICO DAS DIFERENTES ZONAS QUE COMPÕEM A EDIFICAÇÃO.	100
FIGURA 78. – GRÁFICO COM AS TEMPERATURAS DO TERMOSTATO.	101
FIGURA 79. – GRÁFICO COM O “TEMPLATE” DA ZONA DA HABITAÇÃO 1.	101
FIGURA 80. – GRÁFICO DO “TEMPLATE SYSTEM UNITARY” NO QUAL É FEITA A CONFIGURAÇÃO PARA A VENTILAÇÃO MECÂNICA E PARA A CLIMATIZAÇÃO DO AMBIENTE OU ZONA”.	102
FIGURA 81. – GRÁFICO ONDE É CONTROLADA A CONFIGURAÇÃO DO TERMOSTATO PARA LIGAR E DESLIGAR DE ACORDO COM AS TEMPERATURAS.	103
FIGURA 82. – INTERFASE DA SECÇÃO ONDE É SELECIONADA O TIPO DE ARQUIVO DE SAÍDA.	103
FIGURA 83. – INTERFASE DA SECÇÃO ONDE SE FAZ A CONFIGURAÇÃO DOS DADOS DE SAÍDA, NESTE CASO OS CASOS SERÃO DE 15 EM 15 MINUTOS.	103
FIGURA 84. – INTERFASE COM AS CONFIGURAÇÕES DAS SAÍDAS DE RESULTADOS QUE SE ESPERAM DA SIMULAÇÃO.	104
FIGURA 85. – INTERFASE ONDE É SELECIONADO O FORMATO DE SAÍDA E AS UNIDADES DOS ARQUIVOS GERADOS PELO ENERGY PLUS.	104
FIGURA 86. – INTERFASE DO SOFTWARE ONDE SÃO SELECIONADOS OS DADOS DE SAÍDA DA SIMULAÇÃO.	104
FIGURA 87. – INTERFASE ONDE É SELECIONADA A OPÇÃO PARA IDENTIFICAR E MOSTRAR OS POSSÍVEIS ERROS DA SIMULAÇÃO.	105
FIGURA 88. - GRÁFICO DOS VALORES DE TEMPERATURA EXTERNA, DA TEMPERATURA INTERNA MEDIDA E DA TEMPERATURA INTERNA SIMULADA NO SOFTWARE ENERGY PLUS DE UMA CÉLULA DE TESTE.	122
FIGURA 89. – GRÁFICO DA RADIAÇÃO SOLAR MEDIDA DURANTE O PERÍODO EXPERIMENTAL.	122
FIGURA 90. – GRÁFICO DA TEMPERATURA EXTERNA DO AR MEDIDA DURANTE O PERÍODO EXPERIMENTAL.	123
FIGURA 91. - GRÁFICO DOS VALORES DA TEMPERATURA INTERNA MEDIDA EXPERIMENTALMENTE E DOS VALORES DE TEMPERATURA INTERNA SIMULADA NO SOFTWARE ENERGY PLUS.	124
FIGURA 92. - GRÁFICO QUE APRESENTA O DESVIO STANDARD DAS MEDIÇÕES EXPERIMENTAIS EM RELAÇÃO ÀS SIMULAÇÕES DURANTE O PERÍODO DE MEDIÇÃO E SIMULAÇÃO.	125
FIGURA 93. GRÁFICO QUE APRESENTA OS VALORES DAS MÉDIAS DO ERRO RELATIVO POR HORÁRIO, OBTIDOS DO PERÍODO DE MEDIÇÕES E SIMULAÇÃO.	126
FIGURA 94. - GRÁFICO DO DESVIO STANDARD EXPERIMENTAL DAS TEMPERATURAS EXPERIMENTAIS E SIMULADAS DURANTE O PERÍODO DE MEDIÇÕES.	127
FIGURA 95. – GRÁFICOS DO CONSUMO INICIAL DE ENERGIA INCORPORADA E DO CONSUMO COM RENOVAÇÕES REALIZADAS NO PERÍODO DE 40 ANOS DO CASO BLOCO CONCRETO- TELHA CERÂMICA.	129
FIGURA 96. – GRÁFICO DO CONSUMO DE ENERGIA MENSAL PARA VENTILAÇÃO DO CASO BLOCO CONCRETO- TELHA CERÂMICA.	130
FIGURA 97. – GRÁFICO DO CONSUMO MENSAL DE ENERGIA PARA CLIMATIZAÇÃO DO CASO BLOCO CONCRETO- TELHA CERÂMICA.	130
FIGURA 98. – GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL POR VENTILAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO DO CASO BLOCO CONCRETO-TELHA CERÂMICA.	131
FIGURA 99. – GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO POR VENTILAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO DURANTE O PERÍODO DE 40 ANOS DO CASO CONCRETO-CERÂMICA.	131

FIGURA 100. – GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO MENSAL POR VENTILAÇÃO DO CASO BLOCO CONCRETO-TELHA CERÂMICA.	132
FIGURA 101. – GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO MENSAL POR CLIMATIZAÇÃO DO CASO BLOCO CONCRETO-TELHA CERÂMICA.	133
FIGURA 102. – GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL POR VENTILAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO DO CASO BLOCO CONCRETO-TELHA CERÂMICA.	133
FIGURA 103. – GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO POR VENTILAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO ANALISADA DURANTE O PERÍODO DE 40 ANOS DO CASO BLOCO CONCRETO-TELHA CERÂMICA.	134
FIGURA 104. – GRÁFICOS DO CONSUMO INICIAL DE ENERGIA INCORPORADA E COM O CONSUMO DAS RENOVAÇÕES REALIZADAS NO PERÍODO DE 40 ANOS DO CASO BLOCO CONCRETO-TELHA FIBROCIMENTO	135
FIGURA 105. – GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO MENSAL POR VENTILAÇÃO DA EDIFICAÇÃO ANALISADA DO CASO BLOCO CONCRETO-TELHA FIBROCIMENTO.	136
FIGURA 106. - GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO MENSAL POR CLIMATIZAÇÃO DO CASO BLOCO CONCRETO-TELHA FIBROCIMENTO.	136
FIGURA 107. - GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL POR VENTILAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO DO CASO BLOCO CONCRETO-TELHA FIBROCIMENTO.	137
FIGURA 108. - GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO POR VENTILAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO DURANTE O PERÍODO DE 40 ANOS DO CASO BLOCO CONCRETO-TELHA FIBROCIMENTO.	137
FIGURA 109. - GRÁFICO DO CONSUMO DE ENERGIA MENSAL PARA VENTILAÇÃO DO CASO BLOCO CONCRETO-TELHA FIBROCIMENTO.	138
FIGURA 110. - GRÁFICO DO CONSUMO DE ENERGIA MENSAL PARA CLIMATIZAÇÃO DO CASO BLOCO CONCRETO-TELHA FIBROCIMENTO.	139
FIGURA 111. - GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL POR VENTILAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO DO CASO BLOCO CONCRETO-TELHA FIBROCIMENTO.	139
FIGURA 112. - GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO POR VENTILAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO DURANTE	140
FIGURA 113. - GRÁFICOS DO CONSUMO INICIAL DE ENERGIA INCORPORADA E DO CONSUMO COM RENOVAÇÕES REALIZADAS NO PERÍODO DE 40 ANOS DO CASO TIJOLO CERÂMICO-TELHA FIBROCIMENTO.	141
FIGURA 114. – GRÁFICO DO CONSUMO DE ENERGIA MENSAL PARA VENTILAÇÃO DO CASO TIJOLO CERÂMICO-TELHA DE FIBROCIMENTO.	142
FIGURA 115. – GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO MENSAL POR CLIMATIZAÇÃO DO CASO TIJOLO CERÂMICO-TELHA FIBROCIMENTO.	142
FIGURA 116. - GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL POR VENTILAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO DO CASO TIJOLO CERÂMICO-TELHA FIBROCIMENTO.	143
FIGURA 117. - GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO POR VENTILAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO DURANTE O PERÍODO DE 40 ANOS DO CASO TIJOLO CERÂMICO-TELHA FIBROCIMENTO.	143
FIGURA 118. – GRÁFICO DO CONSUMO DE ENERGIA MENSAL PARA VENTILAÇÃO DO CASO TIJOLO CERÂMICO-TELHA FIBROCIMENTO.	144
FIGURA 119. – GRÁFICO DO CONSUMO DE ENERGIA MENSAL PARA CLIMATIZAÇÃO DO CASO TIJOLO CERÂMICO-TELHA FIBROCIMENTO.	145
FIGURA 120. - GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL POR VENTILAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO DO CASO TIJOLO CERÂMICO-TELHA FIBROCIMENTO.	145
FIGURA 121. - GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO POR VENTILAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO DURANTE O PERÍODO DE 40 ANOS DO CASO TIJOLO CERÂMICO-TELHA FIBROCIMENTO.	146
FIGURA 122. - GRÁFICOS DO CONSUMO INICIAL DE ENERGIA INCORPORADA E DO CONSUMO COM RENOVAÇÕES REALIZADAS NO PERÍODO DE 40 ANOS DO CASO TIJOLO CERÂMICO-TELHA CERÂMICA.	147
FIGURA 123. – GRÁFICO DO CONSUMO DE ENERGIA MENSAL PARA VENTILAÇÃO DO CASO TIJOLO CERÂMICO-TELHA CERÂMICA.	148
FIGURA 124. – GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO MENSAL POR CLIMATIZAÇÃO DO CASO TIJOLO CERÂMICO-TELHA CERÂMICA.	148
FIGURA 125. - GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL POR VENTILAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO DO CASO TIJOLO CERÂMICO-TELHA CERÂMICA.	149
FIGURA 126. - GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO POR VENTILAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO DURANTE O PERÍODO DE 40 ANOS DO CASO TIJOLO CERÂMICO-TELHA CERÂMICA.	149
FIGURA 127. – GRÁFICO DO CONSUMO DE ENERGIA MENSAL PARA VENTILAÇÃO DO CASO TIJOLO CERÂMICO-TELHA CERÂMICA.	150

FIGURA 128. – GRÁFICO DO CONSUMO DE ENERGIA MENSAL PARA CLIMATIZAÇÃO DO CASO TIJOLO CERÂMICO-TELHA CERÂMICA.	150
FIGURA 129. - GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL POR VENTILAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO DO CASO TIJOLO CERÂMICO-TELHA CERÂMICA.....	151
FIGURA 130. - GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO POR VENTILAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO DURANTE O PERÍODO DE 40 ANOS DO CASO TIJOLO CERÂMICO-TELHA CERÂMICA.....	151
FIGURA 131. - GRÁFICO DO CONSUMO DE ENERGIA INCORPORADA INICIAL NOS QUATRO CASOS ANALISADOS.	152
FIGURA 132. – GRÁFICO DA ENERGIA INCORPORADA NO PERÍODO DE 40 ANOS DOS QUATRO CASOS ANALISADOS.....	153
FIGURA 133. . GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO POR VENTILAÇÃO DOS 4 CASOS ANALISADOS NO PERÍODO DE 1 ANO NAS CIDADES DE BELÉM E SÃO CARLOS.	153
FIGURA 134. – GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO POR CLIMATIZAÇÃO DOS CASOS ANALISADOS NO PERÍODO DE 1 ANO NAS CIDADES DE BELÉM E SÃO CARLOS.....	154
FIGURA 135. . GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO POR VENTILAÇÃO DOS CASOS ANALISADOS NO PERÍODO DE 40 ANOS NAS CIDADES DE BELÉM E SÃO CARLOS.	155
FIGURA 136. – GRÁFICO DO CONSUMO ENERGÉTICO POR CLIMATIZAÇÃO DURANTE O PERÍODO DE 40 ANOS NAS CIDADES DE BELÉM E SÃO CARLOS.	155

Lista de Tabelas

TABELA 1. - OBJETIVOS A SEREM ATINGIDOS PARA O SISTEMA DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL NAS EDIFICAÇÕES DE ACORDO AO SISTEMA DE AVALIAÇÃO HQE. FONTE: (CONCEPT BIO, 2008).	44
TABELA 2. - TABELA COMO OS DADOS DA ESCALA DE DESEMPENHO GBTool. FONTE: PINHEIRO, (2006)	47
TABELA 3. - COEFICIENTES DE ENERGIA INCORPORADA PROPOSTOS NA SUÉCIA NO ANO 1996.	56
TABELA 4. - SE OBSERVAM OS COEFICIENTES DE ENERGIA INCORPORADA NA NOVA ZELÂNDIA. FONTE: (ALCORN, 2003)	57
TABELA 5. – TABELA DA ENERGIA INCORPORADA NOS DIFERENTES PROCESSO DA MORADIA ANALISADA POR ADALBERTH, (1997B)	62
TABELA 6. – TABELA DOS VALORES CALCULADOS PARA DIFERENTES SISTEMAS CONSTRUTIVOS.....	63
TABELA 7. – QUADRO COM OS DADOS DE ENERGIA PARA UMA RESIDÊNCIA NAS DIFERENTES FASES DA VIDA ÚTIL. (TAVARES E LAMBERTS, 2004).	63
TABELA 8. - DADOS CLIMÁTICOS DA REGIÃO DE SÃO CARLOS, PERÍODO 1961-1990 MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA, SECRETARIA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO, DEPARTAMENTO NACIONAL DE METEOROLOGIA “NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990)” BRASÍLIA-BRASIL 1992.	66
TABELA 9. - TABELA COM OS DADOS CLIMÁTICOS ANUAIS DA CIDADE DE SÃO CARLOS CONTIDOS NO ARQUIVO CLIMÁTICO COM O QUAL FORAM FEITAS AS SIMULAÇÕES. O ARQUIVO CLIMÁTICO FOI FEITO COM DADOS FORNECIDOS PELA INMET.....	67
TABELA 10. - DADOS CLIMÁTICOS DA REGIÃO DE BELÉM, PERÍODO 1961-1990 MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA, SECRETARIA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO, DEPARTAMENTO NACIONAL DE METEOROLOGIA “NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990)” BRASÍLIA-BRASIL 1992.	69
TABELA 11. -TABELA COM OS DADOS CLIMÁTICOS ANUAIS DA CIDADE DE SÃO CARLOS CONTIDOS NO ARQUIVO CLIMÁTICO COM O QUAL FORAM FEITAS AS SIMULAÇÕES. O ARQUIVO CLIMÁTICO FOI FEITO COM DADOS FORNECIDOS PELA IWECC.....	70
TABELA 12 TABELA DE PRECISÃO DOS TERMOPARES EM TEMPERATURA SEGUNDO O TIPO. FONTE: HTTP://DIGITAL.NI.COM.....	76
TABELA 13. - ÁREAS DO PROJETO DE MORADIAS UTILIZADO NESTA PESQUISA.....	78
TABELA 14. - VIDA ÚTIL DO PROJETO (VUP) RECOMENDADOS NA NORMA ABNT 15575-1, (2008).	81
TABELA 15. - COEFICIENTES DE ENERGIA INCORPORADA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO NO BRASIL. FONTE: (TAVARES, SERGIO FERNANDO, 2006).....	82
TABELA 16. - COEFICIENTES DE ENERGIA INCORPORADA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO NO BRASIL. FONTE: (GRAF; TAVARES, SERGIO FERNANDO, 2010).....	83
TABELA 17. – CARATERÍSTICAS TÉRMICAS DOS MATERIAIS QUE COMPÕEM OS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS DA EDIFICAÇÃO. ESTES DADOS SÃO OS QUE SE UTILIZARAM NA SIMULAÇÃO	93
TABELA 18. – TABELA COM A QUANTIDADE DE MATERIAIS REQUERIDOS PARA REALIZAR A LOCAÇÃO DA OBRA. TAMBÉM ESTÃO INCLUSOS OS VALORES DE ENERGIA INCORPORADA PARA A LOCAÇÃO DA OBRA.	108
TABELA 19. – TABELA COM A QUANTIDADE DE MATERIAIS REQUERIDOS PARA A ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCO CERÂMICO ASSIM COMO OS VALORES DE ENERGIA INCORPORADA PARA ESTA PARTE DA EDIFICAÇÃO.....	108
TABELA 20. - TABELA COM A QUANTIDADE DE MATERIAIS REQUERIDOS PARA A ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCO CERÂMICO ASSIM COMO OS VALORES DE ENERGIA INCORPORADA PARA ESTA PARTE DA EDIFICAÇÃO.....	109
TABELA 21. – TABELA COM A QUANTIDADE DE MATERIAIS REQUERIDOS E A QUANTIDADE DE ENERGIA INCORPORADA NO EMBASAMENTO.	109
TABELA 22. – TABELA COM A QUANTIDADE DE MATERIAIS REQUERIDOS E A QUANTIDADE DE ENERGIA INCORPORADA DA FUNDAÇÃO DA EDIFICAÇÃO.	109
TABELA 23. – TABELA COM A QUANTIDADE DE MATERIAIS REQUERIDOS E A ENERGIA INCORPORADA NA FUNDAÇÃO DA EDIFICAÇÃO.....	110
TABELA 24. – TABELA COM A QUANTIDADE DE MATERIAIS REQUERIDOS E A ENERGIA INCORPORADA NA CONCRETAGEM DA FUNDAÇÃO.	110
TABELA 25. – TABELA COM A QUANTIDADE DE MATERIAIS REQUERIDOS E A ENERGIA INCORPORADA NA VIGA BALDRAME.....	110
TABELA 26. – TABELA COM A QUANTIDADE DE MATERIAIS REQUERIDOS E A ENERGIA INCORPORADA NA IMPERMEABILIZAÇÃO.....	111
TABELA 27. - TABELA COM A QUANTIDADE DE MATERIAIS REQUERIDOS E A QUANTIDADE DE ENERGIA INCORPORADA NA ARMADURA DOS PILARES.	111
TABELA 28. – TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NO CONCRETO DOS PILARES.....	111

TABELA 29. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NAS FORMAS DOS PILARES.....	112
TABELA 30. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NA ARMADURA.	112
TABELA 31. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NO CONCRETO ESTRUTURAL.....	112
TABELA 32. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NAS FORMAS.....	113
TABELA 33. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NA LAJE PRÉ-MOLDADA.	113
TABELA 34. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NO CHAPISCO.....	114
TABELA 35. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NO REBOCO.	114
TABELA 36. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NO AZULEJO.....	114
TABELA 37. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NA PINTURA EXTERNA.	114
TABELA 38. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NA PINTURA INTERNA.	115
TABELA 39. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NA PINTURA DAS PORTAS.....	115
TABELA 40. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NA JANELA DA SALA.	115
TABELA 41. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NAS JANELAS DAS HABITAÇÕES.....	115
TABELA 42. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NA JANELA DO BANHEIRO.	116
TABELA 43. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NA JANELA DA COZINHA.....	116
TABELA 44. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NO CONTRA PISO.	116
TABELA 45. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NO PISO.....	117
TABELA 46. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NAS PORTAS.	117
TABELA 47. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NA CUMEEIRA DE FIBROCIMENTO.....	117
TABELA 48. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NA ESTRUTURA PARA AS TELHAS DE FIBROCIMENTO.	118
TABELA 49. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NAS TELHAS DE FIBROCIMENTO.....	118
TABELA 50. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NA CUMEEIRA CERÂMICA.	118
TABELA 51. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NA ESTRUTURA PARA AS TELHAS CERÂMICAS.....	119
TABELA 52. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NAS TELHAS CERÂMICAS.	119
TABELA 53. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NA INSTALAÇÃO ELÉTRICA.	119
TABELA 54. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NA INSTALAÇÃO HIDRÁULICA.....	120
TABELA 55. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE MATERIAIS E A ENERGIA INCORPORADA NA INSTALAÇÃO SANITÁRIA.	120
TABELA 56. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE ENERGIA INCORPORADA NOS DIFERENTES ELEMENTOS DA EDIFICAÇÃO.....	129
TABELA 57. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE ENERGIA INCORPORADA NOS DIFERENTES ELEMENTOS DA EDIFICAÇÃO.....	135
TABELA 58. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE ENERGIA INCORPORADA NOS DIFERENTES ELEMENTOS DA EDIFICAÇÃO.....	141
TABELA 59. - TABELA COM AS QUANTIDADES DE ENERGIA INCORPORADA NOS DIFERENTES ELEMENTOS DA EDIFICAÇÃO.....	147
TABELA 60. - EXEMPLO DO CALCULO DA CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS ANALISADAS DE ENERGIA INCORPORADA E ENERGIA CONSUMIDA POR CLIMATIZAÇÃO.....	157
TABELA 61. - TABELA DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS ANALISADAS DIVIDIDAS EM: CONSUMOS, PERÍODOS E CIDADES ANALISADAS.....	157

Siglas e Abreviaturas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Análise de Ciclo de Vida
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CASBEE	Comprehensive Assessment System For Building Environmental Efficiency
COHAB	Companhia de Habitação
EIA	U.S. Energy Information Administration
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GBC	Green Building Council
GBTOOL	Green Building Tool
HQE	High Quality Environmental standard
Inmet	Instituto Nacional de Meteorologia
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MME	Ministério de Minas e Energia
MDC	Ministério das Cidades
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
OIE	Oferta Interna Energética
PA	Pará
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROHAB	Progresso e Habitação
REB	Resenha Energética Brasileira
SP	São Paulo
TCPO	Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos
VUP	Vida Útil do Projeto

Sumario

Resumo.....	vi
Abstract.....	vii
Resumen.....	viii
Lista de Figuras.....	ix
Lista de Tabelas.....	xiv
Siglas e Abreviaturas	xvi
Sumario.....	xvii
Capítulo I	xx
1 Introdução	21
1.1 Justificativa	23
1.2 Hipótese	23
1.3 Objetivos	23
1.3.1 Objetivo Geral	23
1.3.2 Objetivos específicos	24
1.4 Estrutura da Tese	24
Capítulo II	26
2 Revisão Bibliográfica.....	27
2.1 Desenvolvimento econômico e disponibilidade energética	27
2.2 A matriz energética no Brasil e no Mundo.....	30
2.3 Clima, Arquitetura, Conforto térmico e eficiência energética.....	33
2.4 O déficit Habitacional no Brasil	37
2.5 Consumo de energia elétrica no setor residencial no Brasil.....	38
2.6 A avaliação Ambiental nas Edificações.....	43
2.6.1 Sistemas de certificação ambiental para edificações.....	43
2.7 O Ciclo de vida energético da edificação	51
2.8 A análise da Energia Incorporada.....	52
2.9 O que é Energia Incorporada?.....	55
2.10 Coeficientes de Energia Incorporada e materiais construtivos.....	56
2.11 Energia operacional.....	60
2.12 O que é energia operacional.....	60
2.13 Calculo da Energia Operacional	60
2.14 O cálculo de energia incorporada e energia operacional em moradias	61
Capítulo III	64
3 Materiais e Métodos	65
3.1 Localização de São Carlos	65
3.1.1 Arquivo climático de São Carlos.....	67

3.2 Localização de Belém do Pará	68
3.2.1 Arquivo Climático Belém	70
3.3 Localização Bio-climática de acordo com a Normas ABNT.	71
3.4 Características do experimento e da simulação para a validação empírica.	73
3.4.1 A Célula de Teste	73
3.4.2 Equipamento de Medições.....	75
3.4.3 Período de Medições.	77
3.4.4 Volume da Célula de Teste	77
3.4 Características do projeto de moradia.	78
3.5 Quantificação dos materiais da envolvente da edificação.....	79
3.6 Reposição dos Materiais da moradia no período de 40 anos	80
3.7 Quantificação da Energia Incorporada.....	82
3.8 As simulações térmicas da Moradia para o calculo do consumo energético operacional.....	85
3.8.1 Escolha dos períodos de simulações	85
3.8.2 Modelagem da Edificação.	86
3.8.3 Composição dos elementos construtivos da edificação.	92
3.8.3 Simulation Parameters.....	93
Capítulo IV	106
4 Resultados.....	107
4.1 Quantificação dos Materiais e Calculo da Energia Incorporada Inicial e com Renovações em 40 anos.....	108
4.1.1 Locação da Obra	108
4.1.2 Alvenaria.....	108
4.1.3 Fundação.....	109
4.1.4 Estrutura	111
4.1.5 Revestimento.....	114
4.1.6 Janelas	115
4.1.7 Piso.....	116
4.1.8 Portas	117
4.1.9 Telhado.....	117
4.1.10 Instalações.....	119
4.2 Validação do modelo de Simulação.....	120
4.3 Energia Incorporada e Consumo Energético de cada caso analisado	128
4.3.1 Bloco Concreto -Telha Cerâmica.	128
4.3.2 Bloco Concreto – Telha Fibrocimento	134
4.3.3 Bloco Cerâmico – Telha Fibrocimento.....	140
4.3.4 Bloco Cerâmico – Telha Cerâmica.....	146
4.4 Resultados Totais.....	152
4.4.1 Da energia Incorporada.	152

4.4.2 Dos consumos anuais e no período de 40 anos.....	153
4.5 Correlação das variáveis analisadas.....	156
Capítulo V	159
5 Conclusões	160
5.1 Dos Objetivos	160
5.3 Sugestões em trabalhos futuros	163
Bibliografia	164

Capítulo I

1 Introdução

A indústria da construção consome uma grande quantidade de recursos naturais (DIXIT *et al.*, 2010). Segundo Tavares, (2006), os impactos ambientais do setor da construção vão desde o consumo energético de 40%, ao consumo de matérias primas de 50%.

Assim como 50% da energia elétrica produzida no Brasil é consumida na operação e manutenção das edificações e nos sistemas que proporcionam conforto ambiental (iluminação, climatização e aquecimento de água). (PROCEL, 2011).

Estes impactos ambientais evidenciam a necessidade da criação e utilização de materiais que gerem menor impacto ecológico e energético na fabricação destes, assim como de dar ênfase especial no projeto e na construção de edificações mais eficientes visando diminuir estes impactos.

Por estes motivos, neste trabalho se analisaram a energia incorporada nos materiais construtivos e a energia consumida pelo comportamento térmico da envolvente arquitetônica variando os materiais desta e estudando as diferenças apresentadas por estas variações.

Procurando a correlação das variáveis indicadas, contribuindo na análise destas, visando à necessidade de diminuir a energia incorporada dos materiais construtivos assim como também o desempenho térmico de estes na envolvente arquitetônica.

A análise se enfoca ao setor habitacional, já que, segundo o estudo “Déficit Habitacional no Brasil”, o déficit por moradia no país é mais de seis milhões, somado ao crescimento econômico, ao incremento de renda das classes C e D, e a criação de programas do governo tais como “Minha Casa Minha Vida” e da Companhia de Habitação (COHAB). Programas que possibilitam o acesso a moradias, provocando um aumento da demanda no setor habitacional que resulta também em um aumento no consumo no setor energético.

Esta pesquisa, analisa o consumo de energia elétrica pelo desempenho térmico da envolvente arquitetônica tomando como caso de estudo a moradia.

Tendo como contribuição a análise do consumo energético da envolvente arquitetônica em relação ao comportamento térmico provocado pela mesma envolvente, tendo como resultado a necessidade da diminuição da energia incorporada dos materiais que compõem os elementos construtivos, assim como a melhora do comportamento térmico da envolvente a qual está relacionada a as características térmicas dos materiais diminuindo assim o impacto energético e ambiental da edificação.

Isto de acordo aos resultados obtidos dos casos analisados, achando uma forte correlação linear entre as variáveis analisadas o que confirma uma forte relação entre estas variáveis, pelo que a análise foi realizada da seguinte forma:

A análise esta dividida em quatro etapas descritas a continuação:

A primeira etapa corresponde à classificação e quantificação dos materiais que compõem a envolvente da edificação.

A segunda etapa corresponde ao calculo da energia incorporada nos materiais da envolvente arquitetônica utilizando os resultados da quantificação realizada anteriormente.

Na terceira etapa foram realizadas as simulações térmicas e energéticas no software livre Energy Plus obtendo resultados do comportamento térmico e do gasto energético provocado por estes no período analisado.

A quarta etapa corresponde ao calculo do coeficiente de correlação entre as duas variáveis analisadas.

Para a análise climática nas simulações, foram selecionadas a cidade de São Carlos, São Paulo, que corresponde à zona bio-climática numero 4 segundo a norma ABNT NBR 15220-3, (2003) e a cidade de Belém de Pará que corresponde à zona bio-climática numero 8 (idem). Estas cidades foram escolhidas com intuito de realizar uma análise mais didática em climas diferentes, sendo a cidade do Para a que apresenta as condições climáticas menos favoráveis por ser quente e úmida.

Finalmente foram comparados os resultados do calculo de energia incorporada aos resultados do gasto de energia elétrica derivado do comportamento térmico da envolvente da edificação obtido por meio de simulações realizadas no programa Energy Plus no período selecionado. Posteriormente foi calculado o coeficiente de

correlação entre as variáveis. Desta forma foram realizadas as conclusões apresentadas no final deste trabalho.

1.1 Justificativa

- Os altos impactos ambientais e energéticos provocados pela construção civil (DIXIT *et al.*, 2010), (TAVARES, S. 2006).
- O consumo energético provocado pela utilização de sistemas para o conforto ambiental.
- O setor residencial é o que representa o segundo maior consumo de energia elétrica só superada pelo setor industrial segundo a Empresa de Pesquisa Energética-Epe, (2007).
- O déficit de moradia no Brasil é de 6,273 milhões de moradias Secretaria Nacional de Habitação, (2009).
- Uma forma de assegurar o abastecimento energético é por meio da poupança energética nas edificações Gazulla, (2005).

1.2 Hipótese

Considera-se que ao variar os materiais que compõem a envolvente arquitetônica se terão diferentes valores de energia incorporada e de consumo energético. Além disso, é provável que exista uma correlação entre as variáveis de energia incorporada e de consumo energético derivado ao comportamento térmico da envolvente da edificação. Assim como também que o consumo energético pelo comportamento térmico durante 40 anos, pode superar o valor de energia incorporada nos materiais construtivos da envolvente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

- Analisar as variáveis de energia incorporada e energia consumida pelo comportamento térmico da envolvente arquitetônica de uma moradia, identificando qual destas representa um maior impacto energético, tentando identificar a existência da correlação entre estas variáveis.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analisar o projeto de uma moradia com os climas de São Carlos SP, e Belém PA, estudando o consumo energético, provocado pelas diferenças climáticas entre estas cidades.
- Analisar o consumo energético da envolvente da edificação, variando os materiais construtivos nas paredes e nas coberturas, estudando as diferenças das variáveis analisadas com as mudanças dos materiais.
- Calcular e identificar dos casos analisados, qual apresentou o maior consumo de energia incorporada.
- Calcular e identificar dos casos analisados qual apresentou maior consumo de energia elétrica por motivos térmicos no período de 1 e 40 anos.
- Comparar as variáveis de energia incorporada e energia consumida pelo comportamento térmico identificando qual teve maior impacto energético nos períodos analisados.
- Analisar a relação do consumo energético provocado pela fabricação dos materiais construtivos e do consumo energético provocado pelo desempenho térmico da edificação durante o período proposto.
- Identificar qual dos casos analisados foi o que apresentou a melhor relação de eficiência das variáveis analisadas.

1.4 Estrutura da Tese

No primeiro capítulo é descrita a justificativa, a hipótese e os objetivos gerais e particulares desta pesquisa.

No segundo capítulo é desenvolvida a revisão bibliográfica de trabalhos da área apresentando os trabalhos mais relevantes realizados a nível nacional e internacional na área e situando a presente pesquisa dentro do âmbito.

No terceiro capítulo são descritos os materiais e métodos utilizados nesta pesquisa descrevendo as características do projeto de moradia analisado e detalhando a metodologia utilizada para calcular a energia incorporada, e o cálculo do consumo de energia elétrica no período de 40 anos, assim como os materiais, equipamentos e softwares empregados para estes cálculos.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos do cálculo da energia incorporada dos materiais construtivos e da energia consumida na etapa operacional de cada exemplo analisado.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões da presente pesquisa.

Capítulo II

2 Revisão Bibliográfica

Neste capítulo é realizada a revisão bibliográfica do tema de pesquisa, assim como as definições que ajudaram na conceitualização do mesmo tais como: energia incorporada, o cálculo de esta, coeficientes de energia incorporada, etc.

São apresentadas também as pesquisas realizadas no âmbito nacional e internacional, delineando-a por meio destas a hipótese, objetivos e metodologia utilizada da presente pesquisa.

2.1 Desenvolvimento econômico e disponibilidade energética.

Uma das características da sociedade tem sido o incremento das necessidades energéticas. Mascaró, Claro, Eider, (1978), descrevem as diferentes necessidades energéticas na construção e como tem evoluído no tempo. Os autores relacionam as mudanças na construção com o desenvolvimento econômico e a relação deste com a disponibilidade energética, verificando também a relação de disponibilidade energética e produção de edifícios onde países que tem maior renda capital, tem um maior consumo energético. Ver Figuras 1-3.

Períodos Energéticos (idem)

- Primeiro Período

O primeiro período é caracterizado pela produção energética em estágio natural a partir da energia humana, animal, do vento, do fogo. (Pré-revolução industrial)

- Segundo Período

Este período se inicia com a máquina a vapor e está designado pela produção de energia, tendo como base a associação de carvão-vapor, utilizando-se na produção de bens nas fábricas. Além da máquina a vapor também se tem energia elétrica produzida por geradores a vapor.

- Terceiro Período

Começa com os motores de combustão interna a petróleo, instrumento básico para o desenvolvimento industrial. É neste período onde se provocam as migrações internas e urbanização, surgem os conjuntos habitacionais.

Figura 1. Gráfico da Evolução da produção energética elétrica de alguns países.
Fonte: Mascaró, Claro, Eider, (1978).

Figura 2. Gráfico do Consumo Energético Mundial do ano 1990 com projeção a 2035, em vermelho os países que não pertencem a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OECD) e em azul os países que pertencem a OECD. Fonte: (U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), 2011).

Figura 3. Gráfico da geração mundial de energia elétrica por fonte. Fonte: U.S. Energy Information Administration (EIA), 2011.

Szokolay (1978) também considera que uma das características da sociedade é que está fundamentada em um abastecimento energético cada vez maior e mais abundante. E como o trabalho humano e animal evoluiu a máquinas inanimadas como os moinhos de vento e as rodas hidráulicas incrementando assim a potência energética máquinas. Estas atingiram um maior nível a partir do desenvolvimento de motores a combustão interna incrementando assim o consumo de recursos para a geração de energia. Ver figura 4, 5.

Figura 4. –Produção energética mundial 1931-1971, Baseado em dados da UM Statistical Year book, 1951, 1966 e 1972. Fonte: Szokolay, 1978.

Figura 5. - Consumo energético mundial por combustível do ano 1990 ao 2035. Fonte:U.S. Energy Information Administration (EIA), 2011.

Nas Figura 1 a Figura 5 é possível identificar claramente como a tendência mundial é a de incrementar o consumo energético, situação que se continua apresentando nas projeções até o ano 2035.

2.2 A matriz energética no Brasil e no Mundo

De acordo com a Resenha Energética Brasileira (REB) do Ministério de Minas e Energia (MME, 2008) a Oferta Interna Energética (OIE) no mundo por matriz energética do ano 2006 é de 34,4% correspondente ao petróleo, 26% ao carvão mineral e 20% relacionado ao gás, levando-se em conta as principais fontes de energia. Cabe ressaltar que a matriz por energia de origem hidráulica é de só 2,2% (Figura 6).

Figura 6.– Gráfico da oferta interna de energia no mundo.
Fonte: Ministério de Minas e Energia 2008.

No Brasil, a Oferta Interna Energética por matriz é de 37,3% por petróleo e derivados, 31,5% por biomassa e de 13,9% por fonte hidráulica e eletricidade, estas como as mais representativas. No caso do Brasil a matriz hidráulica ocupa o terceiro lugar como se observa na Figura 7.

Figura 7. – Gráfico da oferta interna de energia no Brasil. Fonte: Ministério de Minas e Energia 2008.

No caso específico do Brasil, em relação a outros países onde a principal origem da geração de energia é de carvão, a energia elétrica de origem hidráulica equivale a 85,4% sendo o restante distribuído por geração de energia de origem nuclear, gás, petróleo, carvão e outras. Ver Figura 8.

Figura 8. - Gráfico da matriz de oferta de energia elétrica 2006 no Brasil e mundo.
(Fonte: Ministério de Minas e Energia 2008).

No ano de 2000, o Brasil começou a sofrer uma crise energética de abastecimento de energia. Tomasquin (2000) previu um cenário complicado no ano de 2001, com um impacto econômico causado pelo racionamento de energia. Também menciona que as possíveis causas desta crise é que dos anos de 1990 aos 2000 o consumo cresceu em 49% e a capacidade instalada foi só de 35%, e a inversão do estado e da iniciativa privada para geração e transmissão foi menor do que era requerido.

Os autores Tomasquin e Grün (2005) coincidem em que outro dos problemas foi a diminuição da porcentagem das chuvas no período o que provocou que as reservas não fossem suficientes para a geração requerida de energia, já que no Brasil a geração de energia de origem hídrica supera 90% da capacidade instalada de geração (TOMALQUIN M, 2000).

Neste aspecto Grün (2005) faz uma análise desde uma perspectiva sociológica do que ocorreu na crise energética no começo de 2000 e que teve como resultado o apagão no dia sete de maio de 2001. Nesta análise cita o seguinte “*O Apagão pode ser apontado como um erro crucial do governo de Fernando Henrique Cardoso*” (GRÜN R, 2005, pag. 891), onde menciona como parte do problema a falta e o atraso de obras em geração e transmissão de energia e que o problema também foi de origem cognitivo do meio político, que provocou que este não percebera ou descartara as evidências que mostravam o possível desastre que estava por vir.

A produção energética e os custos para gerá-la não é somente uma preocupação que concerne ao Brasil, mas também representa uma preocupação para os países desenvolvidos e para os países em vias de desenvolvimento. É importante salientar neste ponto que o Brasil tem sido favorecido geograficamente o que facilitou que o 84,5% (MME, 2008) da energia elétrica seja de origem hídrica, caso contrário ao que ocorre na maioria dos países onde a origem principal é o carvão mineral e o petróleo.

Então dentro deste entorno global existe a preocupação e a necessidade pela pesquisa de novas fontes energéticas, alternativas, limpas e eficientes, que não impactem ao meio ambiente e que possam tornar as cidades e países autossuficientes (ARINI J. MANSUR A., 2009).

Esta tendência pela procura de energias renováveis é motivada pelos altos custos econômicos e ambientais das energias convencionais, evidenciando a necessidade de melhorar a eficiência energética na edificação tentando minimizar a demanda energética e os impactos decorrentes.

2.3 Clima, Arquitetura, Conforto térmico e eficiência energética.

O Clima de uma zona específica ou de uma cidade é determinado pelos fatores geográficos. Budyco M. I. (1974) descreve os seguintes: latitude, longitude, altitude, massas de vegetação e massas de água.

Além dos fatores climáticos, também se devem considerar os elementos meteorológicos do clima descritos por Givoni B., (1976), os quais são: temperatura do ar, umidade relativa, direção e velocidade do vento, radiação solar global, nebulosidade e precipitação global.

Estes fatores geográficos e elementos meteorológicos definem o clima, o qual está dividido em diferentes escalas climáticas segundo: Geiger R; Aron R; Todhunter P; (2003).

- Macroclima: é o clima a uma escala e é governado por uma ampla escala de sistemas de circulação atmosférica.
- Mesoclima: Descreve o clima de uma região.

- Microclima: descreve o clima em um lugar e é caracterizado pelos rápidos câmbios horizontais e verticais devido aos efeitos da fricção do avanço provocados pela superfície como: orientação, vegetação etc.

A análise da relação da arquitetura com o meio que a rodeia é um fator determinante no processo do projeto arquitetônico assim como também as necessidades dos usuários.

Neste processo de projeto e de análise do meio físico é preciso levar em conta as condicionantes como: topografia, localização geográfica, clima etc. Esta ultima, é uma das que mais influem na determinação da orientação, da forma e da seleção dos materiais, tudo isto com intuito de propiciar o melhor ambiente aos usuários.

A relação do meio físico natural, clima e materiais da envolvente têm sido estudados por diferentes autores, os quais têm remarcando claramente a importância do exercício da arquitetura na conjunção de estas variáveis com o objetivo de trazer conforto e funcionalidade ao ambiente dos usuários.

EganM., (1975) aborda a relação do conforto térmico, o clima, e os materiais da envolvente, enfatizando a relação dessas variáveis. No aspecto do conforto avalia as diferentes atividades realizadas e os valores que estas geram no corpo em forma de calor afetando o conforto dos usuários, também propõe zonas de conforto utilizando critérios de temperatura interna e umidade relativa.

Na análise climática, o autor propõe a utilização de cartas climáticas para a proposta das formas da edificação de acordo com a região climática sugerindo evitar a radiação solar e o aproveitamento da ventilação cruzada em climas quentes.

No aspecto da seleção dos materiais a serem utilizados na edificação faz uma pequena análise dos materiais e suas características físicas.

Olgyay, V., (1963), propõe um método de adequação ambiental no qual têm que ser analisados os seguintes pontos:

- Os dados Climáticos
- A avaliação biológica
- As soluções Tecnológicas

Bardou, P.: Arzoumanian, V. (1984) define o bio-climatismo como: “Princípio de concepção da arquitetura que pretende utilizar por meio da arquitetura mesma, os elementos favoráveis do clima com objeto de satisfazer as exigências do bem-estar térmico”.

O interior de uma edificação tem uma temperatura de ar interna, de maneira passiva, que é resultado da incidência da radiação térmica, da temperatura e da velocidade e umidade do ar (Givoni B., 1976) pelo que a temperatura de ar interna da edificação (controlada por meios passivos) seria afetada por modificações geradas pela massa de ar atuante na zona de estudo além da influência dos fatores modificadores locais.

Existem métodos para projetar uma edificação levando-se em consideração as condicionantes sol-vento, dependendo das condições da região e das estações. O aproveitamento do sol-vento em zonas frias, por exemplo, é feito tentando-se aproveitar ao máximo a radiação solar, procurando uma orientação da edificação de maneira que esta tenha maior exposição solar (OLGYAY V. 1967). Em contraste, em um lugar quente o que se tenta evitar é a exposição máxima aos raios solares, planejando a edificação de acordo com a trajetória solar como se observa na Figura 9.

A. Olgyay & Olgyay, (1957), fazem um ênfase no sombreamento e como este tem sido utilizado nas diferentes culturas, expondo um método para o cálculo da trajetória solar para a utilização de dispositivos de sombreamento. Também os autores tentam fazer um cálculo da eficiência termo energética na utilização de estes dispositivos de sombreamento e se estes podem representar uma poupança no consumo energético. As conclusões são que os dispositivos podem ser eficientes somente se são utilizados em um projeto bem desenvolvido.

Figura 9. - Exemplo do emprazamento de uma edificação em um clima quente.
Fonte: Leandro M. 2007.

Além disso, o sol e os ventos também determinam a posição das janelas numa edificação. Em um clima quente, tenta-se evitar a incidência de raios solares diretos na janela, procurando posicionar a janela no sentido dos ventos dominantes proporcionando a ventilação da edificação como se observa na Figura 10.

Figura 10.- Exemplos da localização das janelas para a correta ventilação da edificação
Fonte: Leandro M. 2007.

As planilhas de C. Mahoney relacionam a integração do espaço construído com as condições climáticas do local (Docherty, Szokolay 1999), que é um processo no qual também se utilizam as diferentes variáveis mencionadas anteriormente como: a umidade relativa, temperatura máxima, temperatura mínima e pluviosidade. Isso fornece características para uma série de recomendações a serem utilizadas na hora de fazer o projeto.

A importância de adequação da edificação ao clima na arquitetura tem sido abordada por autores como Givoni (1976) e Olgyay (1963). Morillón (1999) expressa à necessidade desta adequação climática da edificação na arquitetura da seguinte forma *“Não se pode esperar que uma determinada tipologia de arquitetura fosse imposta como modelo ótimo para todas as edificações em diferentes regiões”*.

Aroztegui (1990) já propõe analisar as variáveis que interferem no projeto arquitetônico falando que são inumeráveis e propondo como critério delimitar estas variáveis e analisar os elementos que compõem a envolvente externa, definindo exigências mínimas para estudar estes elementos e para conseguir as exigências mínimas de habitabilidade térmica.

Também Aroztegui (1993) ressalta a importância da tomada de decisões globais na etapa inicial do projeto, como as variáveis para a adequação climática a ser consideradas para o desenho do projeto, pensando no desempenho térmico do mesmo. Este autor tenta também quantificar o gasto energético em KW/h pelo consumo de um aparelho elétrico para atingir a temperatura de conforto (16º) em uma situação de inverno especificamente para a cidade de Montevideu, Uruguai, por meio de fórmulas e utilizando a resistência térmica.

Lamberts e Triana (2007) fazem uma análise da habitação procurando a sustentabilidade por meio da eficiência hidro-energética, energia solar, seleção de materiais etc. Morrillón (1999) realiza um estudo de consumo energético e de emissões de carbono em projetos piloto de habitação de interesse social no México, quantificando a redução do consumo energético e das emissões de carbono.

Os casos mencionados anteriormente enfatizam a necessidade de aprofundar na relação da adequação climática e eficiência energética da habitação, gerando assim uma redução de recursos econômicos e energéticos para as cidades.

Além disso, os materiais de construção utilizados na edificação tem sido objeto da análise de ciclo de vida, não só estudando a quantidade da matéria prima utilizada, mas também o gasto energético requerido durante o processo. Este começa desde que a matéria prima é retirada até a obtenção do produto final e o impacto que terá até o fim de sua vida útil e quando vire resíduo construtivo. Todo este processo provoca que a indústria da construção seja uma das que mais impacta pelas matérias primas utilizadas e pelos resíduos gerados (JOHN, V, 2000).

2.4 O déficit Habitacional no Brasil

Uma das principais demandas de edificação se refere ao âmbito da habitação, e é considerado importante definir conceitualmente o que é déficit habitacional. Segundo

a publicação *Déficit Habitacional no Brasil* (2007, pag. 15) do Ministério das cidades é o seguinte:

“Como déficit habitacional entende-se a noção mais imediata e intuitiva de necessidade de construção de novas moradias para a solução de problemas sociais e específicos de habitação detectados em certo momento”.

No estudo *Déficit habitacional no Brasil* (2007, pag. 16-19), foram considerados os seguintes aspectos para determinar o déficit habitacional:

- *Déficit por reposição de estoque:* são as moradias que não tem condições de ser habitadas e precisam ser repostas.
- *Déficit por incremento de estoque:* são domicílios improvisados, fortemente adensados ou onde a família pobre (com renda menor a três salários mínimos) compromete mais do 30% da renda para pagar o aluguel.
- *Inadequação de domicílios:* são construções que não proporcionam condições desejáveis de habitação.

Pelo que considerando os aspectos descritos anteriormente, o déficit habitacional no Brasil é de 6,273 milhões de domicílios.

Com intuito de diminuir este déficit, o governo têm criado programas sociais que facilitam o acesso à moradia, sendo um exemplo destes programas, o “Minha casa minha vida”.

Ao facilitar o acesso à moradia se têm um crescimento no setor residencial, aumentando também a demanda de energia elétrica deste setor. A seguir são apresentados dados referentes ao consumo elétrico de este setor no Brasil.

2.5 Consumode energia elétrica no setor residencial no Brasil

Nesta seção se aborda o consumo de energia elétrica do setor residencial expressado em Terawatts/hora (Tw/h), especificando o consumo por zonas do país e a principal participação dos eletrodomésticos neste consumo.

Nos gráficos pode se observar a variação da utilização de condicionadores ambientais por região sendo as de maior consumo a Norte e a Sul.

Figura 11. - Gráfico do consumo total de energia elétrica por setor: o consumo do setor residencial corresponde a 24% só superado pelo setor industrial com 46%.
Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE) 2007

O setor residencial é o segundo com maior consumo elétrico como se observa na Figura 11. No Brasil o maior consumo elétrico é provocado pelo chuveiro com 24% seguido pelo consumo da geladeira com 22% e em terceiro correspondente ao condicionamento ambiental com 20% como pode ser observado na Figura 12.

Figura 12. –Gráfico da participação dos eletrodomésticos no consumo residencial no Brasil.
Fonte: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) Eletrobrás.

A variação das porcentagens do consumo dividido por regiões é significativa sendo que a região Norte é a que apresenta com principal consumo elétrico por condicionamento ambiental com 40%, seguida pela Região Sul com 32%, região Nordeste com 27%, centro-oeste com 18% e Sudeste com 11% (Figuras 13-17).

Figura 13. – Gráfico da participação dos eletrodomésticos no consumo residencial na Região Norte. Fonte: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) Eletrobrás.

Figura 14. – Gráfico da participação dos eletrodomésticos no consumo residencial na Região Nordeste. Fonte: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) Eletrobrás.

Figura 15. – Gráfico da participação dos eletrodomésticos no consumo residencial na Região Centro-Oeste. Fonte: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) Eletrobrás.

Figura 16. – Gráfico da participação dos eletrodomésticos no consumo residencial na Região Sudeste. Fonte: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) Eletrobrás.

Figura 17. – Gráfico da participação dos eletrodomésticos no consumo residencial na Região Sul. Fonte: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) Eletrobrás.

Os gráficos apresentados exibem as causas dos principais gastos elétricos no setor habitacional. Estes são gerados principalmente por três equipamentos: a geladeira, o chuveiro e o condicionamento ambiental.

É interessante observar como na região norte do país a participação por condicionamento ambiental é de 40% e do chuveiro é de só 2%. Na nordeste é de 27% do condicionamento e de 9% do chuveiro. No centro oeste já é o chuveiro o que mais consome com 28 % e 18 % do condicionamento ambiental. No sudeste também é o chuveiro com 26% e 11% do condicionamento ambiental, valores mínimos das diferentes zonas analisada. Na zona sul a porcentagem de condicionamento ambiental volta a ser maior com 32 % e 25 % do chuveiro.

Em um estudo desenvolvido por Miglievich, (2008) da Procel Edifica, foram expostas as seguintes barreiras da eficiência energética nas edificações:

- Deficiência nos códigos de obras
- Inadequações de projeto como, por exemplo:
 - Orientação inadequada da edificação em relação à trajetória solar.
 - Aberturas mal dimensionadas.
 - Especificação inadequada de material para cobertura e vedações de fachadas, inclusive das aberturas.
 - Desconsideração de ventos dominantes e ausência de ventilação cruzada.
- Ausência de simulação energética na fase do projeto.
- Pouco aproveitamento de energia renovável.
- Má escolha de materiais construtivos na fase de ocupação.
- Utilização de equipamentos não eficientes.
- Falta de integração entre os profissionais envolvidos.
- Pouca especialização da mão de obra utilizada na construção civil.
- Dificuldades de financiamento.

Pelo que se considera importante compreender que o motivo do gasto energético de energia elétrica no setor residencial é causado das seguintes formas:

- O gasto por condicionamento ambiental pode ser provocado por um projeto arquitetônico não adaptado ao clima resultando em um comportamento térmico inadequado, o que significa a necessidade de climatização ambiental por meio de sistemas ativos (ar condicionado, ventilador, umidificador etc.), para melhorar o ambiente interno, significando no incremento do consumo elétrico.
- Eletrodomésticos como: chuveiro, geladeira, lampadas, etc, podendo-se diminuir o consumo destes utilizando eletrodomésticos mais eficientes.

Outro dos problemas relatados se refere às empresas da construção, as quais só se preocupam pelo aspecto econômico tentando minimizar custos, prestando pouca atenção e investindo pouco na eficiência energética da edificação (International Energy Agency, 2006).

Tudo isto, evidencia a importância da tomada de decisões na etapa do desenho do projeto arquitetônico, e é neste ponto onde o arquiteto tem a necessidade de diminuir os impactos ambientais e energéticos da edificação. Começando com a seleção dos

materiais da edificação, visando obter um comportamento térmico adequado da edificação.

Por estes motivos, se propõe avaliar a energia incorporada e a energia consumida pelo comportamento térmico da envolvente da edificação, uma vez que se considera que estas variáveis estão intrinsicamente relacionadas.

2.4 A avaliação Ambiental nas Edificações

Segundo Vanderley M. John, (2004), existem diferentes tipos de avaliação ambiental para as edificações, e estes podem ser classificados em três tipos:

- 1) *Sistemas baseados na Análise de Ciclo de Vida (ACV) voltados para comparação e seleção de materiais e componentes.*
- 2) *Sistemas de avaliação de edificações como um todo para suporte a tomada de decisões e que tratam, geralmente, de um aspecto específico da edificação. (energético, por exemplo).*
- 3) *Sistemas ou estruturas de avaliação ambiental de edificações como um todo.”*

2.4.1 Sistemas de certificação ambiental para edificações.

Como foi mencionado anteriormente, segundo Vanderley M. John, (2004) existem diferentes metodologias de avaliação de impacto ambiental e estas ferramentas avaliam diferentes aspectos da construção.

A seguir são descritas as características de cada sistema, baseado em Vanderley M. John, (2004).

- BREEAM (Inglaterra)(3): Building Research Establishment Environmental Assessment Method, este sistema de certificação ambiental esta dividido em diferentes tipos de análise e são realizadas por assessores certificados. Segundo Pinheiro, (2006),na avaliação do BREEAM são levadas em contas as seguintes fases:
 - Avaliação inicial;
 - Dimensionamento, Inventário e Compra de Materiais;
 - Gestão e Operação;
 - Controlo de Qualidade.

De acordo a BREEAM, (2012), a análise é feita de acordo à tipologia da edificação se dividindo nas seguintes: comercial, moradia, urbano, em uso. Na figura 18 se pode observar o processo de avaliação da certificação BREEAM.

Figura 18. -Processo de certificação BREEAM. Fonte: (BREEAM, 2012)

- HQE (França)(3): A Association por La Haute Qualité Environnementable é um sistema de avaliação francês, o qual é baseado nos princípios do desenvolvimento sustentável. De acordo com Concept Bio, (2008), Pinheiro, (2006), Lichtenberg, (2006) é preciso cumprir como os objetivos descritos na Tabela 1.

Tabela 1.- Objetivos a serem atingidos para o sistema de avaliação ambiental nas edificações de acordo ao sistema de avaliação HQE. Fonte: (CONCEPT BIO, 2008).

14 OBJETIVOS DA QUALIDADE AMBIENTE DAS EDIFICAÇÕES	
Controle dos impactos sobre o ambiente exterior.	Criar um ambiente interno satisfatório.
ECO-CONSTRUÇÃO: <ul style="list-style-type: none"> · A relação harmoniosa da edificação com o meio ambiente que a rodeia. · Seleção integrada dos produtos e materiais da edificação · Um local com pouca poluição 	COMFORT: <ul style="list-style-type: none"> · Hidrométrico · Acústico · Visual · Olfativo
ECO-GESTION: <ul style="list-style-type: none"> · Energia 	SAUDE: <ul style="list-style-type: none"> · Controle sanitário do espaço

- Água
- Resíduos
- Manutenção e preservação.

- Qualidade do ar
- Qualidade da água

- CASBEE (Japão)(3): Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency é um sistema de avaliação ambiental utilizado no Japão, e baseado na utilização de planilhas Excel assinando valores a itens específicos a serem avaliados e finalmente fazer uma media de todos os valores para se obter a qualificação da edificação avaliada. As planilhas estão divididas em diferentes tipos:
 - Para novas edificações.
 - Para moradias.
 - Para projetos urbanos.
 - Para áreas urbanas e prédios.
 - Para cidades.

A avaliação se divide em duas categorias: qualidade do ambiente da edificação e a cargas ambientais de esta, como é possível observar nas Figuras 19-22.

Figura 19. - Divisão da avaliação, Q: Qualidade Ambiental da Edificação, L: Cargas Ambientais da Edificação, ambas dentro de um limite hipotético. Fonte: CASBEE, (2012). Tradução: Quiroa

Figura 20. – Classificação e reordenamento da avaliação nos itens Q (qualidade ambiental da edificação) e L (cargas ambientais da edificação). Fonte: CASBEE, (2012). Tradução: Quiroa.

$$\text{Eficiência Ambiental da Edificação (BEE)} = \frac{\text{Q (Qualidade ambiental da edificação)}}{\text{L (Cargas ambientais da edificação)}}$$

Figura 21. – A eficiência ambiental da edificação (BEE), utiliza Q como numerador e L como denominador, ambas como categorias de avaliação da CASBEE BEE. Fonte: CASBEE, (2012).

Figura 22. – Etiquetagem baseada na Eficiência ambiental da Edificação. (BEE). Fonte: CASBEE, (2012), Tradução: Quiroa.

- GBTOOL (Internacional)(3): De acordo como Pinheiro, (2006) e Chung, (2005), o Green Building Tool, vem sendo desenvolvido desde o ano 1996 no Green Building Challenge (GBC), promovido pela International Initiative for a Sustainable Built Environment (IISBE), com o intuito de desenvolver um sistema para avaliar o desempenho ambiental das edificações.

A Revista Técnica, (2012), descreve a GBTool como uma ferramenta de avaliação ambiental a qual não possui uma entidade de certificação ambiental, sendo um sistema que avalia aspectos como: consumo de recursos, cargas ambientais, qualidade do ambiente interno, qualidade do serviço, aspectos econômicos etc.

O GBTool, utiliza planilhas para desenvolver as avaliações. Para Librelotto; Jalali, (2008), este sistema permite a edição dos dados, diferentes

tecnologias, prioridades, estilos construtivos e até valores culturais, o qual permite sua utilização em qualquer parte do mundo.

Na Figura 23 é possível observar o processo e os componentes para a avaliação da edificação, na Tabela 2 e Figura 24 se observam as escalas de pontuação que são colocados nas planilhas de avaliação.

Figura 23. -Componentes chave da avaliação GBC. Fonte: Cole, (2002)

Tabela 2. - Tabela como os dados da escala de desempenho GBTool. Fonte: Pinheiro, (2006)

Valor	Nível	Descrição
- 2	Desempenho Mediocre	Desempenho que está, claramente, abaixo das normas aceites. Não é uma situação agradável de ocorrer em casos em que a <i>benchmark</i> representa um requisito, mas pode ocorrer em áreas não abrangidas pela legislação
- 1	Desempenho Insatisfatório	Desempenho que embora já esteja de acordo com algumas práticas em vigor pela legislação, ainda não é considerado como o mínimo aceitável, mesmo sendo ligeiramente melhor quando comparado com o anterior
0	Desempenho Mínimo Aceitável	Representa o mínimo aceitável para a região envolvente, de acordo com a legislação em vigor (ou quando não há legislação aplicável, com o consenso das indústrias), ou seja, consiste naquilo que são as práticas típicas para a região
1 a 4	Níveis de Desempenho Intermédios	Representam vários níveis de desempenho entre as <i>benchmarks</i> primárias: um registo de 1 representa uma ligeira melhoria (por exemplo, uma boa prática face à região), um registo de 3 representa uma melhoria significativa do desempenho e é entendido como a melhor prática corrente na região
5	Desempenho Excelente	Representa uma meta de desempenho que está, consideravelmente, acima das práticas habituais (será um desempenho que use as melhores tecnologias disponíveis, baseando-se na extrapolação das práticas correntes, tendo em conta os custos)

Figura 24. – Escala considerada no GBTOOL. Fonte: Pinheiro, (2006).

- LEED (Leadership in Energy and Environmental Design, Estados Unidos)(3): de acordo com Fowler, (2006), este sistema de avaliação ambiental é um dos mais utilizados nos Estados Unidos e tem sido adaptado para sua utilização a nível internacional.

Foi desenvolvido pelo Green Building Council(GBC) no ano 2000, e tem empresas credenciadas para realizar a certificação. Avalia as fases de desenho, construção e operação, ver Figuras 25-26.

Figura 25. –Tipos de LEED e processo de avaliação no ciclo de vida da edificação. Fonte:U.S. Green Building Council, (2012).

Figura 26. – Processo de certificação LEED. Fonte: Arquitectura e Interiores, (2005)

Pinheiro, (2006), avalia as seguintes categorias em novas construções:

- Locais sustentáveis.
- Uso eficiente dos recursos hídricos.
- Energia e atmosfera.
- Materiais e recursos.
- Qualidade do ar interior.
- Inovação e processos de projeto.

O GBC Brasil, (2012), realiza os seguintes tipos de LEED no Brasil:

- LEED NC – Novas construções e grandes projetos de renovação.
 - LEED ND – Desenvolvimento de bairro (localidades).
 - LEED CS – Projetos da envoltória e parte central do edifício.
 - LEED Retail NC e CI – Lojas de varejo.
 - LEED Healthcare – Unidades de saúde.
 - LEED EB_OM – Operação de manutenção de edifícios existentes.
 - LEED Schools – Escolas.
 - LEED CI – Projetos de interiores e edifícios comerciais.
- Energy Plus (2): este programa avalia a parte termo energética da edificação, é desenvolvido pelo departamento de energia de Estados Unidos.

De acordo com Hyde, (2008), o Energy Plus é baseado nos programas de simulação DOE 2 e BLAST. Nas figuras 27 e 28 é possível observar a interface do software.

Figura 27. – Programa EP Launch do Energyplus onde são carregados ou editados os arquivos da edificação.

Figura 28. – Editor IDF, no qual são ingressadas as características da edificação e da simulação.

Dos sistemas que avaliam a edificação como um todo, os mais citados na literatura são: LEED, GBTOOL, e BREEAM. Estes sistemas de avaliação são realizados por especialistas, os quais foram preparados para realizar esse tipo de avaliações. Incluso, os mesmos sistemas tem pessoas capacitadas para realiza-las.

Dos que avaliam uma parte específica da edificação como é o caso desta pesquisa, é o Energy Plus. Existem cursos, manuais e tutoriais para realizar simulações no Energy Plus, e a principal vantagem de este software é que é livre.

Existem também as análises do Ciclo de Vida Energético da edificação, nas qual os softwares como o Energy Plus são utilizados como ferramenta para a análise de uma parte do ciclo como, por exemplo, o consumo energético operacional da edificação. Este é o caso desta pesquisa, motivo pelo qual este programa foi escolhido para a análise deste trabalho.

2.5 O Ciclo de vida energético da edificação.

De acordo com (DIXIT *et al.*, 2010) e (DIXIT *et al.*, 2010) o ciclo de vida energético de uma edificação esta composto por varias etapas, as quais são descritas a seguir. Estas análises de fluxos são muito similares aos propostos pelas normas ISO 14040, (2006) e ISO 14044, (2006) de Análise de Ciclo de Vida.

Na Figura 29 podem ser observados os diferentes fluxos do ciclo de vida da edificação, sendo os principais: a energia incorporada nos materiais dividida em energia direta e energia indireta, e a energia operacional da edificação.

Figura 29. - Gráfico do Ciclo de Vida Energético, na presente pesquisa são analisadas as variáveis de energia incorporada e consumo por ventilação e climatização.

Das variáveis do ciclo de vida energético que se observam na Figura 29, as utilizadas nesta pesquisa foram as de Energia Incorporada Inicial que corresponde a energia incorporada sem nenhuma renovação, a energia incorporada recorrente que neste caso corresponde a o período de 40 anos.

Na energia operacional foram calculados e analisados os consumo energéticos por ventilação e climatização uma vez que estes estão relacionados ao comportamento térmico dos materiais que compõem a envolvente da edificação.

2.6 A análise da Energia Incorporada

Dos sistemas de avaliação de impacto ambiental expostos anteriormente a maioria têm como base a análise de ciclo de vida, uma vez que fazem a análise como um todo, estudando desde o projeto ate a parte operacional do edifício.

Neste sentido, Adalberth (1997a) propõe a análise das edificações utilizando também o ciclo de vida destas, mas neste caso corresponde ao ciclo de vida energético da edificação, o que significa que são calculados todos os consumos das diferentes etapas do ciclo de vida da edificação (Figura 29). A análise, esta dividida em três etapas as quais também estão subdivididas em fases: *Produção*: manufatura, transporte, edificação. *Gerenciamento*: ocupação, renovação, ocupação. *Destruição*: demolição, remoção.

Figura 30. -Diferentes fases de cambio temporais de uma edificação durante seu ciclo de vida (ADALBERTH, 1997a).

Para calcular o requerimento energético para produzir todos os materiais construtivos $Q_{\text{manuf}}(\text{kWh})$, é estimado da seguinte forma:

$$Q_{\text{manuf}} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot (1 + w_i/100) \cdot M_i$$

Onde n =numero de materiais, i =o material concernente, m =quantidade do material da edificação i (ton), w = o fator de desperdício do material i produzido durante a construção da edificação (%), e M =energia requerida para manufaturar o material de construção i (kWh/ton).

Para calcular a energia utilizada para produzir os materiais construtivos durante a renovação $Q_{\text{manuf. renov}}(\text{kWh})$.

$$Q_{\text{manuf,renov}} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot (1 + w_i/100) \cdot M_i \cdot \left(\frac{\text{Tempo de vida do edifício}}{\text{Tempo de vida do material } i} - 1 \right)$$

Onde n =numero de materiais; i =material concernente; m_i =quantidade do material da edificação i (ton); w_i =fator de desperdício do material i produzido durante a construção da edificação (%); e M_i =energia requerida para manufatura o material de construção i (kWh/ton).

Para calcular a energia utilizada para transportar os materiais construtivos da edificação quando é construída, renovada e demolida são os seguintes:

$$Q_{\text{transport.edifício}} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot (1 + w_i/100) \cdot d_i \cdot T_c$$

$$Q_{\text{transport.renova}} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot (1 + w_i/100) \cdot \left(\frac{\text{Tempo de vida do edifício}}{\text{Tempo de vida do material}} - 1 \right) \cdot (d_i + 20) \cdot T_c$$

$$Q_{\text{transport.renova}} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot (1 + w_i/100) \cdot 20 \cdot T_c$$

Onde n =numero de materiais; i =material concernente; m_i =quantidade do material da edificação i (ton); w_i =fator de desperdício do material i produzido durante a construção da edificação (%); d_i =distância entre a manufatura do material i para o lugar da edificação (km); 20=distancia assumida entre o edifício e o lugar de deposição de (km); e T_c =energia requerida para o transporte em questão (kWh/tonkm).

Para calcular o gasto energético para edificar e demolir Q_{edific} e Q_{demol} utilizam-se as seguintes formulas:

$$Q_{\text{edific}} = \sum_{j=1}^m p_j \cdot P_j \quad Q_{\text{demol}} = \sum_{j=1}^m p_j \cdot P_j$$

Onde m =numero de processos; j =tipo de processo; p_j =quantidade de processos j (ton, m³ ou m²de área do solo utilizável); e P_j =energia requerida para o processo j (kWh/ton, kWh/m³ ou kWh/m²da área utilizável).

Para obter a quantidade de energia durante a fase de ocupação, Q_{ocup} (kWh), é obtido multiplicando o gasto elétrico por ano Q_{ocup} (kWh/ano), por o tempo de vida da edificação que neste caso é de 50 anos.

$$Q_{\text{ocup}} = Q_{\text{ocup,ano}} \cdot 50$$

Para obter o uso energético durante o ciclo de vida é a somatória de todos os valores calculados com as formulas expostas anteriormente. Adalberth (1997b) aplica a metodologia tomando como casos de análise moradias na Suécia.

$$Q_{\text{ciclovida}} = Q_{\text{manuf}} + Q_{\text{transp,prod}} + Q_{\text{edifica}} + Q_{\text{ocupa}} \\ + (Q_{\text{manuf,renov}} + Q_{\text{transp,renov}}) + Q_{\text{demol}} + Q_{\text{transp,remov}}$$

A dificuldade da aplicação desta metodologia para o calculo do consumo energético é a falta de dados dos materiais, e de dados como, por exemplo: a porcentagem do fator de desperdicio do material produzido durante a construção da edificação.

Agora Fay, Treloar, & Iyer-Raniga, (2000), utilizam uma analise mais simples, onde aplica o seguinte método em diferentes casos de estudo. O método de Analise de Ciclo de Vida energético que utiliza tem as seguintes variáveis:

$$\text{LCE} = \text{EEi} + (\text{EErec} + \text{OE}) \times \text{building life time}$$

Onde:

LCE=the life-cycle energy; (Ciclo de vidaEnergético).

EEi =the initial embodied energy of building; (energia Incorporada Inicial da edificação).

EErec =the annual recurrent embodied energy (for example, in maintenance); and (valor anual de energia incorporada recorrente).

OE==the annual operational energy (including space conditioning and other domestic energy uses). (valor anual de energia operacional).

No Brasil Tavares e Lamberts (2005) também abordam a análise do ciclo de vida energético, utilizando uma metodologia similar à utilizada por Adalberth (1997), dividindo-a em três etapas: Etapa pré-operacional: fabricação dos materiais, transporte e obra, Etapa Operacional dividida em: vida operacional e manutenção. Etapas Pós-operacionais dividida em demolição e reciclagem como se observa na Figura 31.

Figura 31. -Ciclo de vida de uma edificação (TAVARES, SERGIO F; LAMBERTS, 2005).

2.7 O que é Energia Incorporada?

Existem diferentes definições sobre energia incorporada, mas no geral as diferenças mais importantes estão em que umas tomam para cálculo o energético o ciclo completo do material construtivo até a edificação incluindo o transporte e outras incluem só a manufatura do material construtivo sem contar o transporte.

Segundo (ICE *et al.*, 2011), a energia incorporada é definida como a energia total primária consumida direta ou indiretamente no processo associado a um produto ou serviço com o limite do berço até a porta (cradle-to-gate). Isto inclui todas as atividades, desde a extração do material (pedreiras/minas), manufatura, transporte através do processo de fabricação até a porta de saída da fábrica. (Tradução Própria)

Uma Definição mais simples é: a energia incorporada é a energia requerida diretamente ou indiretamente para manufaturar produtos. (TRELOAR, G. J., 1998) (Tradução Própria).

Mascaró, Claro e Shneider (1978), já fazem uma descrição geral da incorporação energética em materiais industrializados: *“De maneira geral, pode-se dizer que, na grande maioria dos casos, toda transformação industrial requer a incorporação de certa quantidade de energia”*.

2.8 Coeficientes de Energia Incorporada e materiais construtivos.

As pesquisas para o cálculo de energia incorporada nas edificações tem sido desenvolvidas em países como: Suécia, Reino Unido, Austrália, Nova Zelândia e Canada (Adalberth, (1997), Holloway & Pullen, (2007), Homes & Association, (1999)). Estes países já contam com coeficientes e metodologias bem desenvolvidas para o cálculo de energia incorporada nas edificações.

O interesse destes governos no desenvolvimento e aplicação de técnicas e metodologias para o cálculo do impacto energético e ambiental das edificações, é diminuir o consumo de energia elétrica das edificações, tendo como resultado em diminuição da demanda energética.

A seguir são apresentados diferentes coeficientes propostos em outros países:

Na Tabela 3, observam-se os coeficientes de energia incorporada de materiais de construção na Suécia. Nessa figura pode-se observar que o número de materiais é reduzido, mas estão calculados os materiais convencionais mais utilizados que já são coeficientes úteis para o cálculo da energia incorporada.

Tabela 3. - Coeficientes de Energia Incorporada propostos na Suécia no ano 1996.
Fonte: (ADALBERTH, 1997a)

Materials	M_i (kWh/ton)	w_i (%)
Concrete, reinforced	560	20
Concrete, plain	210	10
Gypsum wallboard	2400	10
Tiles and clinkers	2000	10
Timber: rough saw (0.5 ton/m ³)	1440	10
Timber: planed (0.5 ton/m ³)	2240	10
Timber: shingles and shavings (0.6 ton/m ³)	3150	7
Glass	7230	0
Mineral wool	5330	10
Polyvinyl chloride (PVC)	24 650	5
Polythene	16 400	5
Polystyrene	29 650	10
Coatings: paints and lacquers	7000	5
Steel	8890	5
Copper	19 500	5
Ventilating channels, sheet metal	9000	10
Electric wires, copper	19 780	5
White goods, 1110 kWh/item	—	0

Na tabela 4 se observam os coeficientes da Nova Zelândia. Esta tabela conta com uma maior quantidade de coeficientes de energia incorporada.

Tabela 4. - Coeficientes de energia incorporada na Nova Zelândia. Fonte: (ALCORN, 2003)

MATERIAL	MJ/kg	MJ/m3	MJ/m2
Aggregate, general (agregado)	0.10	150	
virgin rock (roca virgem)	0.04	63	
River (prata)	0.02	36	
Aluminium, virgin (alumínio virgem)	191	515 700	
Extruded (extrudado)	201	542 700	
extruded, anodised (extrudadoanodizado)	227	612 900	
extruded, factorypainted (extrudado pintado em fabrica)	218	588 600	
Foil (lâmina)	204	550 800	
Sheet (folha)	199	537 300	
Aluminium, recycled (alumínio reciclado)	8.1	21 870	
Extruded (extrudado)	17.3	46 710	
extruded, anodised (extrudado, anodizado)	42.9	115 830	
extruded, factorypainted (extrudado pintado em fabrica)	34.3	92 610	
foil	20.1	54 270	
sheet	14.8	39 960	
asphalt (paving)	3.4	7 140	
bitumen	44.1	45 420	
brass	62.0	519 560	
Carpet	72.4		
feltunderlay	18.6		
nylon	148		
polyester	53.7		
polyethylterephthalate (PET)	107		
polypropylene	95.4		
wool	106		
Cement	7.8	15 210	
cementmortar	2.0	3 200	
fibrecementboard	9.5	13 550	102/7.5mm
soil-cement	0.42	819	
Ceramic			
brick	2.5	5 170	
brick, glazed	7.2	14 760	
pipe	6.3		
tile	2.5	5 250	
Concrete			
block	0.94		
brick	0.97		
GRC	7.6	14 820	
paver	1.2		
pre-cast	2 .0		
readymix, 17.5 MPa	1.0	2 350	
30 MPa	1.3	3 180	

40 MPa	1.6	3 890	
MATERIAL	MJ/kg	MJ/m3	MJ/m2
roofing tile	0.81		
copper	70.6	631 160	
Earth, raw			
adobeblock, strawstabilised	0.47	750	
adobe, bitumenstabilised	0.29		
adobe, cementstabilised	0.42		
rammedsoilcement	0.80		
pressedblock	0.42		
Fabric			
cotton	143		
polyester	53.7		
Glass			
float	15.9	40 060	240/6mm
toughened	26.2	66 020	396/6mm
laminated	16.3	41 080	246/6mm
tinted	14.9	375 450	
Insulation			
cellulose	3.3	112	
fibreglass	30.3	970	
polyester	53.7	430	
polystyrene	117	2 340	
wool (recycled)	14.6	139	
lead	35.1	398 030	
linoleum	116	150 930	337
Paint	90.4	118/l	6.5
solventbased	98.1	128/l	6.1
waterbased	88.5	115/l	7.4
Paper	36.4	33 670	
building	25.5		4.97
kraft	12.6		
recycled	23.4		
wall	36.4		
plaster, gypsum	4.5	6 460	
plasterboard	6.1	5 890	33/9.5mm
Plastics			
ABS	111		
highdensitypolyethelene (HDPE)	103	97 340	
lowdensitypolyethelene (LDPE)	103	91 800	
polyester	53.7	7 710	
polypropylene	64.0	57 600	
polystyrene, expanded	117	2 340	
polyurethane	74.0	44 400	
PVC	70.0	93 620	

MATERIAL	MJ/kg	MJ/m3	MJ/m2
natural latex	67.5	62 100	
synthetic	110		
sand	0.10	232	
Sealants and adhesives			
phenol formaldehyde	87.0		
urea formaldehyde	78.2		
Steel, recycled	10.1	37 210	
reinforcing, sections	8.9		
wire rod	12.5		
Steel, virgin, general	32.0	251 200	
galvanised	34.8	273 180	
imported, structural	35.0	274 570	
Stone, dimension			
local	0.79	1 890	
imported	6.8	1 890	
straw, baled	0.24	30.5	15.2
Timber, softwood			
air dried, roughsawn	0.3	165	
kiln dried, roughsawn	1.6	880	
air dried, dressed	1.16	638	
kiln dried, dressed	2.5	1 380	
mouldings, etc	3.1	1 710	
hardboard	24.2	13 310	
MDF	11.9	8 330	
glulam	4.6	2 530	
particle board	8.0		
plywood	10.4		
shingles	9.0		
Timber, hardwood			
air dried, roughsawn	0.50	388	
kiln dried, roughsawn	2.0	1 550	
vinyl flooring	79.1	105 990	
Zinc	51.0	364 140	
galvanising, per kg steel	2.8		

2.9 Energia operacional

Das etapas da análises do ciclo de vida energético das edificações, a energia operacional, que junto com a de energia incorporada compreendem o ciclo energético da edificação.

2.10 O que é energia operacional

A energia operacional é a energia consumida durante a vida útil da edificação a qual pode ser provocada pelos seguintes motivos segundo DIXIT *et al.*, (2010).

- Calefação e Climatização,
- Iluminação e Ventilação
- Aparelhos e equipamentos em uso
- Outros usos energéticos

2.11 Calculo da Energia Operacional

Como foi explicado anteriormente existem métodos de avaliação do desempenho da edificação, para o calculo da energia operacional antes da edificação do projeto. São utilizados os softwares de simulação energética os quais dão uma ideia geral do possível comportamento e consumo da edificação em análise.

Existem diferentes softwares para realizar simulações do comportamento térmico e consumo energético. Estes softwares facilitam a análise na etapa do consumo energético operacional das edificações. A seguir se descrevem alguns dos softwares utilizados para este fim.

Corbella e Yannas (2003), descrevem os seguintes softwares para a realização de simulações de análise térmica e calculo sobre energia especificamente.

ECOTEC: calcula cargas horárias de aquecimento e ar condicionado e temperaturas internas baseado no método de admitância. (software também descrito por Albuquerque, 2006).

Energy Plus, DOE 2, POWERDOE. Simulações térmicas dinâmicas, cálculos de consumo energético. No caso do Energy Plus, é desenvolvido pelo U.S. Department of Energy, este software é livre.

Além dos softwares mencionados anteriormente, existem outras opções tais como:

Design Builder: de acordo com a DesignBuilder este é um software de modelagem e cálculo de consumo energético de edificações, o qual utiliza como motor de cálculo o Energy Plus, este software é pago. (<http://www.designbuilder.es/>)

Heed: é um software que calcula a energia, o custo econômico e as emissões de carbono de uma edificação, é de uma interface simples e prática. É desenvolvido pela University of California, o software é livre. No caso de esta pesquisa este não foi selecionado uma vez que esta configurada para fazer os cálculos no hemisfério norte (<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/heed/>).

Nesta pesquisa foi utilizado o software Energy Plus para o cálculo do desempenho térmico e do consumo energético na parte operacional da edificação, uma vez que este software é gratuito.

No seguinte capítulo, é realizada a descrição da metodologia utilizada para a análise das duas variáveis do ciclo de vida energético: energia incorporada, assim como o consumo energético pelo comportamento térmico da envolvente arquitetônica.

2.12 O cálculo de energia incorporada e energia operacional em moradias.

Cálculos das variáveis do ciclo de vida energético da edificação, bem como da energia incorporada e da energia operacional em moradias tem sido feitos em diferentes países e o Brasil não é a exceção neste sentido.

Adalberth (1997b) calculou a energia necessária para a manufatura, transporte, construção, ocupação e uso em três diferentes tipos de moradias na Suécia com um tamanho que varia dos 129m² aos 138m². Na Tabela 5 e Figura 32 se apresentam os resultados.

Tabela 5. – Tabela da Energia Incorporada nos diferentes processos da moradia analisada por Adalberth, (1997b)

Fases	Casa 1 (kWh/m ² · 50 yr)	%	Casa 2 (kWh/m ² · 50 yr)	%	Casa 3 (kWh/m ² · 50 yr)	%
Produção						
Manufatura	900	11	870	100	730	10
Transporte	40	0	40	0	30	0
Edificação	80	1	70	1	50	1
Manejo						
Ocupação	7100	83	7400	85	6400	85
Renovação: Manufatura	390	5	370	4	330	4
Renovação : Transporte	< 10	0	< 10	0	< 10	0
Demolição						
Demolição	10	0	< 10	0	< 10	0
Transporte para remover	30	0	20	0	20	0
Energia Total (kWh/m ² · 50 yr)	8500	100	8800	100	7600	100

No caso da Figura 32, é possível observar que o consumo provocado pela calefação é o mais elevado em relação aos outros, isto porque na zona onde foi realizada a análise (Austrália), corresponde a um clima frio pelo qual se faz necessário o uso da calefação. Neste aspecto, na maior parte do Brasil a necessidade é de resfriamento salvo os estados do Sul, Sudeste que dependendo da época do ano podem precisar de resfriamento ou calefação.

Figura 32. – Gráfico dos diferentes consumos operacionais nas moradias analisada por Adalberth, (1997b)

Slatter M. e Sperb M. (2000) calcularam a energia incorporada de 5 diferentes sistemas construtivos aplicados em moradias. Na Tabela 6 podem ser observados os resultados.

Tabela 6. – Tabela dos valores calculados para diferentes sistemas construtivos.

Sistema Construtivo	Masa (Telhados e Paredes)	Transporte (Telhado e Parede)	Energia Incorporada (Telhados e Paredes)
	kg/m ² de área construída	MJ/m ² de área construída	MJ/m ² de área construída
A	464.04	54.17	1.324.29
B	841.05	34.10	1.835.09
C	201.45	96.53	827.82
D	611.10	16.64	1.398.92
E	600.97	126.28	653.13

Tavares e Lamberts (2004) também analisaram o consumo energético de uma edificação residencial chegando aos resultados da Tabela 7

Tabela 7. –Quadro com os dados de energia para uma residência nas diferentes fases da vida útil (TAVARES e LAMBERTS, 2004).

Construção	Operação		EE Total	% EE Total / Energia Op.
	EE Reposição	Energia Op.		
220	147	907	367	40

Como pode ser observado nos exemplos citados, existem estudos e análises do ciclo de vida energético, analisando a energia incorporada como um todo (materiais, transporte, demolição etc.) e também o consumo energético operacional como um todo (iluminação, eletrodomésticos, calefação, climatização, etc).

Por estes motivos esta pesquisa avalia a energia incorporada especificamente da envolvente arquitetônica e o consumo energético operacional pelo comportamento térmico dessa envolvente uma vez que se considera que estas duas variáveis estão relacionadas.

No seguinte capítulo são descritos os materiais e métodos utilizados para o cálculo da energia incorporada e consumo energético operacional, com o intuito de atingir os objetivos da presente pesquisa.

Capítulo III

3 Materiais e Métodos

Neste capítulo são descritos os materiais e os métodos utilizados na presente pesquisa, como a metodologia utilizada para o cálculo da energia incorporada nos materiais construtivos e no cálculo do consumo energético do projeto de moradia social, utilizando as simulações energéticas.

O trabalho está dividido em duas etapas. A primeira que compreende a quantificação dos materiais e a energia incorporada e a segunda que compreende a modelagem e simulação da edificação como se observa na Figura 33.

Figura 33. - Figura das etapas e da utilização das metodologias para a quantificação e simulação da edificação.

Primeira Etapa	Quantificação dos Materiais.	1ª Fase	Segunda Etapa	Modelagem no Open Studio.	1ª Fase
	Quantificação da Energia Incorporada	2ª Fase		Simulação no Energy Plus	2ª Fase
	Resultados	3ª Fase		Resultados das Simulações	3ª Fase

A seguir são descritas a localização e as características climáticas das cidades que foram selecionadas como exemplos didáticos para desenvolver a análise.

3.1 Localização de São Carlos

Como se observa na Figura 34, São Carlos se localiza na região tropical ou intertropical, do hemisfério sul, entre as latitudes 21° 30' e 22° 30' Sul e longitudes 47° 30' e 48° 30' Oeste. Tem uma altitude média de 856 metros sobre o nível do mar, e o clima é temperado de altitude com verão chuvoso e inverno seco (Prefeitura São Carlos 2011), e segundo a classificação de Koeppen e o Cwa, com temperaturas amenas, muito úmidas e com um verão quente (KOTTEK M., et al, 2006). De acordo com Monteiro (1969), desde uma perspectiva dinâmica, São Carlos está localizada em uma zona de atuação de massas de ar tropicais e polares.

Figura 34. -Localização do município de São Carlos no estado de São Paulo.

Fonte:<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=699738>.

Segundo as normais climatológicas a cidade de São Carlos tem as características climáticas descritas na Tabela 8.

Tabela 8. -Dados Climáticos da Região de São Carlos, período 1961-1990 Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Secretaria Nacional de Irrigação, Departamento Nacional de Meteorologia "Normais Climatológicas (1961-1990)" Brasília-Brasil 1992.

Mês	Janeiro	Fevereiro	Marco	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Pressão Atmosférica (hpa)	885,7	886,3	886,7	887,8	889,4	890,3	860,4	859,1	888,5	886,8	885,6	885,3
Temperatura Máxima (C)	26,8	27,2	27	25,7	23,6	22,7	22,1	24,3	25	24,7	25,7	25,2
Temperatura Mínima (C)	17,5	17,7	17,2	15,5	13,2	12	11,4	12,5	14,2	14,7	16	17,2
Temperatura Mínima Absoluta	8,0-11/70	8,0-05/71	6,0-03/70	5,9-25/71	0,7-31/79	1,0-01/79	-0,1-18/75	2,2-15/78	3,8-02/70	5,2-12/69	6,0-24/70	8,0-26/69
Temperatura Máxima Absoluta	35,7-27/71	34,6-05/71	33,5-02/81	31,6-14/61	29,4-01/66	29,3-29/72	29,6-20/63	33,2-30/63	36,0-28/88	36,4-12/63	36,9-17/85	33,6-09/88
Precipitação Total (mm)	248,7	191,4	167,3	73,2	61,6	40,4	30,8	30,9	65,0	157,8	160,8	267,2
Umidade Relativa (%)	76,0	75,0	73,0	68,0	67,0	66,0	61,0	54,0	58,0	80,0	67,0	73,0

3.1.1 Arquivo climático de São Carlos

O arquivo utilizado para a cidade de São Carlos foi criado pelo Prof. Maurício Roriz, a partir de dados horários registrados em estações climatológicas do INMET, como parte das atividades do grupo constituído no âmbito da está disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br>.

Na tabela 9 podem ser observados os dados mensais das características do arquivo climático com o qual foram realizadas as simulações termoenergéticas. Esta Tabela foi gerada com o arquivo climático utilizando o software ClimateConsultant versão 5.4. (<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/>)

Na Figura 35 se observa o gráfico com a temperatura, umidade, velocidade do vento etc. Este gráfico foi gerado com os dados do arquivo climático utilizando o programa Climate Tool 2011 da empresa Autodesk.

Tabela 9. - Tabela com os dados climáticos anuais da Cidade De São Carlos contidos no arquivo climático com o qual foram feitas as simulações. O arquivo climático foi feito com dados fornecidos pela INMET.

WEATHER DATA SUMMARY													LOCATION: São Carlos, SP, BRA Latitude/Longitude: 22.02° South, 47.89° West, Time Zone from Greenwich -3 Data Source: INMET 868450 WMO Station Number, Elevation 863 m
MONTHLY MEANS	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
Global Horiz Radiation (Avg Hourly)	364	420	417	408	424	398	474	508	546	468	516	517	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Avg Hourly)	92	130	139	133	156	139	188	222	274	205	214	225	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Avg Hourly)	251	254	232	218	176	158	167	182	184	216	248	246	Wh/sq.m
Global Horiz Radiation (Max Hourly)	1021	996	866	831	811	722	741	897	1006	1082	1179	1114	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Max Hourly)	783	748	559	536	512	391	428	607	742	836	909	881	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Max Hourly)	459	455	440	395	336	301	321	328	407	444	455	460	Wh/sq.m
Global Horiz Radiation (Avg Daily Total)	4106	4681	4434	3814	3921	3663	4371	4711	5476	5253	5871	5858	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Avg Daily Total)	1021	1435	1444	1204	1410	1259	1696	2006	2656	2261	2370	2483	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Avg Daily Total)	2831	2840	2482	2071	1669	1490	1586	1738	1922	2479	2892	2852	Wh/sq.m
Global Horiz Illumination (Avg Hourly)	40394	45877	45182	43960	45074	41862	49898	54039	58362	50782	56069	56152	lux
Direct Normal Illumination (Avg Hourly)	8918	12535	13325	12802	14909	13183	17881	21448	26712	20104	20804	21945	lux
Dry Bulb Temperature (Avg Monthly)	21	22	21	20	17	17	17	19	19	22	22	21	degrees C
Dew Point Temperature (Avg Monthly)	17	18	16	16	12	12	7	10	10	15	15	16	degrees C
Relative Humidity (Avg Monthly)	79	77	75	78	73	74	54	59	59	67	70	73	percent
Wind Direction (Monthly Mode)	130	60	130	90	90	100	100	100	130	140	140	140	degrees
Wind Speed (Avg Monthly)	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	m/s
Ground Temperature (Avg Monthly of 3 Depths)	21	21	21	20	19	18	18	18	19	19	20	21	degrees C

Figura 35. -Gráfico que apresenta as características climáticas de São Carlos como: Temperatura, Umidade, velocidade do vento, radiação direta e difusa, segundo dados do INMET obtidos do arquivo climático da simulação.

3.2 Localização de Belém do Pará

A cidade de Belém se localiza na Latitude: 01° 23',6 Sul e Longitude: 048° 29'.5 Oeste, como pode se observar na Figura 36 segundo a classificação climática de Koeppen, a cidade tem um clima Afo que significa que é Clima tropical úmido ou super úmido, sem estação seca (KOTTEK M., et al, 2006).

Figura 36. – Localização da cidade de Belém, estado do Pará. Fonte: http://www.webbusca.com.br/pagam/belem/belem_mapas.asp

Na Tabela 10 podem ser observados os dados climáticos da cidade de Belém de acordo com as normais climatológicas de 1961-1990.

Tabela 10. - Dados Climáticos da Região de Belém, período 1961-1990 Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Secretaria Nacional de Irrigação, Departamento Nacional de Meteorologia "Normais Climatológicas (1961-1990)" Brasília-Brasil 1992.

Mês	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Pressão Atmosférica (hpa)	1009,5	1009,7	1009,8	1009,8	1010,3	1011,2	1011,6	1011,1	1010,7	1009,9	1009,2	1009,3
Temperatura Máxima (C)	30,9	30,5	30,4	30,8	31,3	31,7	31,7	32,1	32,1	32,2	32,1	31,9
Temperatura Mínima (C)	22,1	22,2	22,4	21,8	22,6	22,1	21,7	21,7	21,7	21,6	21,9	22,0
Temperatura Mínima Absoluta	19,4-12/77	18,8-02/77	19,8-02/77	19,2-30/77	20,0-30/70	19,8-24/85	18,9-06/74	18,5-26/84	18,8-11/76	18,9-10/76	18,6-23/83	19,0-13/76
Temperatura Máxima Absoluta	36,0-07/70	34,8-12/71	37,3-20/82	35,0-12/69	34,0-04/69	35,0-18/69	35,3-18/71	35,5-31/70	34,0-19/68	35,0-25/69	35,0-15/70	36,0-29/69
Precipitação Total (mm)	366,5	417,5	436,2	360,0	304,4	140,2	152,1	131,1	140,8	116,1	111,8	216,4
Umidade Relativa (%)	86,0	91,0	91,0	91,0	88,0	86,0	85,0	84,0	84,0	83,0	83,0	86,6

3.2.1 Arquivo Climático Belém

Os arquivos utilizados são os TRY (Test ReferencyYear), para a cidade de Belém. Este arquivo está disponível na base de dados climáticos do U.S. Department of Energy (<http://apps1.eere.energy.gov>).

Na tabela 11 podem ser observados os dados mensais das características do arquivo climático de Belém, com o qual foram realizadas as simulações term energéticas. Esta Tabela foi gerada como o arquivo climático utilizando o software Climate Consultant versão 5.4. (<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/>)

Na Figura 37 se observa o gráfico com a temperatura, umidade, velocidade do vento etc. Este gráfico foi gerado com os dados do arquivo climático de Belém utilizando o programa Climate Tool 2011 da empresa Autodesk.

Tabela 11. -Tabela com os dados climáticos anuais da Cidade De São Carlos contidos no arquivo climático com o qual foram feitas as simulações. O arquivo climático foi feito com dados fornecidos pela IWECC.

WEATHER DATA SUMMARY							LOCATION: BELEM, -, BRA						
							Latitude/Longitude: 1.38° South, 48.48° West, Time Zone from Greenwich -3						
							Data Source: IWECC Data 821930 WMO Station Number, Elevation 16 m						
MONTHLY MEANS	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
Global Horiz Radiation (Avg Hourly)	392	385	428	473	507	529	565	614	590	507	474	448	Wh/sq,m
Direct Normal Radiation (Avg Hourly)	153	106	140	169	282	366	419	463	384	309	268	233	Wh/sq,m
Diffuse Radiation (Avg Hourly)	280	300	316	334	289	256	253	258	286	273	274	279	Wh/sq,m
Global Horiz Radiation (Max Hourly)	1003	940	1005	953	917	896	897	986	999	1010	949	955	Wh/sq,m
Direct Normal Radiation (Max Hourly)	769	714	746	635	890	850	834	907	782	880	818	835	Wh/sq,m
Diffuse Radiation (Max Hourly)	552	598	601	562	498	520	497	551	498	595	583	563	Wh/sq,m
Global Horiz Radiation (Avg Daily Total)	4338	4248	4514	4459	4803	4992	5332	5813	5908	5630	5271	4956	Wh/sq,m
Direct Normal Radiation (Avg Daily Total)	1691	1166	1480	1591	2697	3478	3993	4451	3871	3447	2988	2568	Wh/sq,m
Diffuse Radiation (Avg Daily Total)	3097	3319	3343	3183	2797	2494	2476	2538	2924	3052	3064	3098	Wh/sq,m
Global Horiz Illumination (Avg Hourly)	44419	43634	48589	53647	57237	59390	63331	68819	66196	56850	53236	50267	lux
Direct Normal Illumination (Avg Hourly)	12898	8714	11595	13907	25049	32823	37274	41936	33112	26661	22572	19519	lux
Dry Bulb Temperature (Avg Monthly)	26	25	25	26	26	26	26	26	26	27	27	26	degrees C
Dew Point Temperature (Avg Monthly)	23	23	23	24	23	23	22	23	23	23	23	23	degrees C
Relative Humidity (Avg Monthly)	87	89	89	89	85	82	81	80	82	80	82	83	percent
Wind Direction (Monthly Mode)	100	30	30	30	30	90	90	90	60	90	30	0	degrees
Wind Speed (Avg Monthly)	4	1	4	1	1	2	1	1	3	1	1	1	m/s
Ground Temperature (Avg Monthly of 3 Depths)	26	26	26	26	26	25	25	25	26	26	26	26	degrees C

Figura 37. - Gráfico que apresenta as características climáticas anuais tais como: temperatura, umidade, velocidade do vento, radiação solar direta e difusa, da cidade de Belém.

3.3 Localização Bio-climática de acordo com a Normas ABNT.

Segundo as normas ABNT NBR 15220-3, (2003) as cidades analisadas estão localizadas nas seguintes zonas bio-climáticas: a cidade de São Carlos, SP se localiza na zona bio-climática numero 4 e a cidade de Belém do Pará se localiza na zona numero 8 (Figura 38). Nas figuras 38-40 estão descritas as características das zonas bio-climáticas.

Figura 38. -Mapa do ZoneamentoBio-climático Brasileiro de acordo com as normas ABNT NBR 15220-3, (2003), no ponto vermelho a cidade de Belém e no ponto amarelo a cidade de São Carlos.

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	H) Resfriamento evaporativo e Massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Nota: Os códigos H, J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).	

Figura 39. - Estratégias de condicionamento térmico passivo recomendadas para a zona 4.
Fonte: ABNT NBR 15220-3.

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	<p>J) Ventilação cruzada permanente</p> <p>Nota: O condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes. O código J é o mesmo adotado na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).</p>

Figura 40. -Estratégias de condicionamento térmico passivo recomendadas para a zona 8.

Fonte: ABNT NBR 15220-3.

De acordo com as recomendações para cada zona Bio-climática estabelecida nas normas, é possível apreciar que a cidade de Belém tem condições climáticas menos favoráveis em relação à cidade de São Carlos.

3.4 Características do experimento e da simulação para a validação empírica.

O experimento foi realizado no canteiro experimental do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA) da universidade de São Paulo (USP) Campus São Carlos.

Foram realizadas medições experimentais em uma célula de teste, também simulações térmicas no software Energy Plus durante o mesmo período de medições para poder comparar os resultados experimentais com resultados da simulação.

A seguir são descritas as características de célula de teste, equipamento e materiais utilizados.

3.4.1 A Célula de Teste

A descrição geral da implantação e da construção da célula de teste pode ser verificada a seguir:

- **Coberturas:** as telhas cerâmicas foram instaladas de acordo com as indicações e valores de inclinação recomendada pelos fabricantes das telhas de fibrocimento. A célula tem forro de laje cerâmica.
- **Sistema Estrutural:** Utilizaram-se terças ou vigotas, em peroba aparelhada, nas dimensões de 0,06 x 0,12 m, isentas de qualquer agente que possa comprometer sua estabilidade ou aparência, bem como agentes biológicos, tais como, cupim, traça e outros.

- **Parede:** A célula de teste foi construída com tijolos cerâmicos nas medidas de 0,010x0,020x0,005 m, assentados com argamassa de cimento e areia, traço 1:6 preparado no canteiro de obras. Os tijolos foram assentados com juntas de 0,015 m, de espessura.
- **Esquadrias:** são de madeira incluindo-se os batentes das portas e das janelas. A célula conta com uma porta de dimensões de 0,60 m por 2,10 m com fechadura tipo tranca que permite o uso de cadeado comum de latão. A janela tem 1,00 m por 0.70 m. Figura 41.
- **Dimensões:** a célula experimental mede 2.70 m x 2.20 m, 2.90 m na parte mais alta como pode ser observado na Figura 41.

Figura 41 - Planta arquitetônica e Fachada da célula de teste.

- **Implantação:** A célula experimental se localiza no canteiro experimental do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da Universidade de São Paulo Campus São Carlos. Todas as células experimentais localizadas neste lugar foram dispostas de tal forma que não provoquem sombras entre elas e, assim, não afetar os resultados dos estudos realizados (Figura 42).

Figura 42 – Implantação das células de experimentais.

3.4.2 Equipamento de Medições

O equipamento utilizado para a realização das medições e aquisição de dado foram os seguintes:

- Equipamento automático de aquisição de dados datalogger CR10X :com 6 canais de entrada com 13 bits de resolução, precisão: $\pm 0,1\%$ e memória: 2 Mb (Figura 43).

Figura 43. - Sistema automático de aquisição de dados da Campbell Scientific Inc.

- Multiplexador de 32 canais modelo AM32 da Campbell Scientific Inc. O multiplexador é utilizado junto com o “dalalogger” para incrementar o numero de sensores que podem ser conectados ao “datalogger”. Neste caso o multiplexador utilizado possui 32 canais (Figura 44).

Figura 44. - Multiplexador de 32 canais da Campbell Scientific Inc.

- Termopares Tipo “T” cobre-constantan com pontas soldadas em ambiente de argônio os quais foram conectados ao sistema automático de aquisição de dados para registrar as temperaturas superficiais internas (Figura 45).

Na tabela 12 podem ser observados os erros máximos dos termopares segundo o tipo, com os valores expressados em ° C.

Figura 45. - Termopar Tipo “T” utilizado nas medições experimentais nas células de teste.

Tabela 12. Tabela de precisão dos Termopares em temperatura segundo o tipo. Fonte: <http://digital.ni.com>

Temperatura	Tipo B	Tipo E	Tipo J	Tipo K	Tipo N	Tipo R	Tipo S	Tipo T
-200	-	-	-	3.0	3.0	-	-	3.0
-100	-	-	-	2.5	2.5	-	-	1.5
0	-	1.7	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	0.5
200	-	1.7	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	0.8

- Estação meteorológica com os seguintes sensores: pirógrafo, anemômetro y anemoscópio, pluviômetro, higrômetro (Equipamentos da Campbell Scientific Inc., localizados no canteiro experimental da CRHEA, São Carlos SP).

3.4.3 Período de Medições.

O período de medições experimentais compreendeu do dia 18 de Abril ate o dia 26 de Maio. Procurou-se realizar as medições em um período climático identificando a passagem de massas de ar polares e tropicais para a comparação com os dados obtidos nas simulações.

3.4.4 Volume da Célula de Teste

Na figura 46 pode observar o volume da célula de teste o qual foi elaborado com o plug-in Open Studio. Uma vez que o volume foi criado, estes dados são importados para o Energy Plus onde serão ingressadas as caraterísticas dos materiais que compõem a célula de teste assim como os dados climáticos para realizar a simulação.

Figura 46. - Gráfico com o volume da célula de teste elaborado com o plug-in Open Studio a ser simulado posteriormente no software Energy Plus.

A simulação da célula de teste foi realizada com os dados climáticos do mesmo período experimental. Na pagina 92, Tabela 17 são apresentados os dados das caraterísticas térmicas dos materiais utilizados na simulação, os quais são os mesmos que foram utilizados na simulação da moradia.

3.4 Características do projeto de moradia.

A moradia utilizada como um exercício didático nesta tese será o projeto do Progresso e Habitação de São Carlos S/A (Prohab). Os planos arquitetônicos são disponibilizados nas páginas de internet da prefeitura PROHAB,(2011).

Os materiais utilizados para a análise, dos diferentes casos de estudo propostos são materiais convencionais que são achados comumente nas edificações residenciais.

Na Tabela 13 estão as áreas de cada zona que compõe a moradia enquanto que nas Figuras 47 e 48 se observa o projeto. A seguir se descrevem as características do projeto:

- Dois quartos
- Cozinha
- Sala-Sala de jantar
- Banheiro

Tabela 13. - Áreas do projeto de moradias utilizado nesta pesquisa.

Áreas	
Zona	Área [m2]
QUARTO 1	9,35
QUARTO 2	10,04
SALA	11,05
CORREDOR	5,04
COZINA	4,96
BANHEIRO	3,51
Total	43,95

Figura 47. -Vista Frontal do projeto de moradia aprovado pela prefeitura de São Carlos, SP. Fonte: <http://www.saocarlos.sp.gov.br>

Figura 48. - Vista Lateral do projeto de moradia aprovado pela prefeitura de São Carlos, SP.
 Fonte: <http://www.saocarlos.sp.gov.br>

3.5 Quantificação dos materiais da envolvente da edificação

Nesta seção são quantificados os materiais utilizados na edificação proposta, sendo que estes utilizados para a análise são materiais convencionais.

Entretanto, para este estudo, alguns materiais foram mudados, especificamente na cobertura e nas paredes com o intuito de analisar as diferenças resultantes no valor total de energia.

Para a quantificação dos materiais foram utilizadas as Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO 13, 2008), geradas em tabelas Excel as quais estão divididas nas seguintes colunas:

- Código: esta coluna corresponde aos códigos dos materiais utilizados.
- Descrição: breve descrição dos materiais e mão de obra utilizada.
- Un.: unidades do material utilizadas (kg, m, m2 etc.).
- Classificação: define se é mão de obra (MO) ou material (MAT).

- Qtd/Coef: quantidade ou coeficiente do material ou mão de obra.
- Preço Unit. (R\$): preço do material ou mão de obra.
- Preço Total (R\$): valor do total do preço dos materiais e da mão de obra.
- Consumo: consumo total de materiais e mão de obra.

3.6 Reposição dos Materiais da moradia no período de 40 anos

Segundo a Norma ABNT 15575-1, (2008), recomenda-se que a Vida Útil do Projeto (VUP) mínima para as diversas partes da edificação é de 40 anos (Figura 49).

O período de 40 anos é o que a norma recomenda com o intuito de compatibilizar a construção de habitações de interesse social (HIS), visando garantir, por um prazo razoável, a utilização em condições aceitáveis do edifício habitacional.

Por estes motivos este foi o período selecionado para a análise. O tempo de substituição ou manutenção dos materiais na edificação são os recomendados pela norma e os quais estão especificados na Tabela 14.

Figura 49. - Desempenho ao longo do tempo dos materiais que compõem a edificação.
Fonte: ABNT 15575-1.

Tabela 14. - Vida útil do projeto (VUP) recomendados na norma ABNT 15575-1, (2008).

Exemplos de Vida Útil do Projeto (VUP)			
Parte da edificação	Exemplos	VUP anos	
Estrutura principal	Fundações, elementos estruturais (pilares, vigas, lajes e outros), paredes estruturais, estruturas periféricas, contenções e arrimos	≥40	≥60
Estruturas auxiliares	Muros divisórios, estrutura de escadas externas	≥20	≥30
Vedação externa	Paredes de vedação externas, painéis de fachada, fachadas-cortina	≥20	≥60
Vedação interna	Paredes e divisórias leves internas, escadas internas, guarda-corpos	≥20	≥30
Cobertura	Estrutura da cobertura e coletores de águas pluviais embutidos	≥20	≥30
	Telhamento	≥13	≥20
	Calhas de beiral e coletores de águas pluviais aparentes, subcoberturas facilmente substituíveis	≥4	≥6
	Rufos, calhas internas e demais complementos (de ventilação, iluminação, vedação)	≥8	≥12
	Revestimento de piso, parede e teto: de argamassa, de gesso, cerâmicos, pétreos, de tacos e assoalhos e sintéticos	≥13	≥20
Revestimento interno aderido	Revestimentos de pisos: têxteis, laminados ou elevados; lambris; forros falsos	≥8	≥12
Revestimento de fachada aderido e não aderido	Revestimento, molduras, componentes decorativos e cobre-muros	≥20	≥30
Piso externo	Pétreo, cimentados de concreto e cerâmico	≥13	≥20
Pintura	Pinturas internas e papel de parede	≥3	≥4
	Pinturas de fachada, pinturas e revestimentos sintéticos texturizados	≥8	≥12
Impermeabilização manutenível apenas com a quebra dos revestimentos	Componentes de juntas e rejuntamentos; mata-juntas, sancas, golas, rodapes e demais componentes de arremate.	≥8	≥12
	Impermeabilização de caixa d'água, jardineiras, áreas externas com jardins, coberturas não utilizáveis, calhas e outros	≥20	≥30
Impermeabilização manutenível sem quebra de revestimentos	Impermeabilização de caixa d'água, jardineiras, áreas externas com jardins, coberturas não utilizáveis, calhas e outros	≥4	≥6
Esquadrias externas (de fachada)	Janelas (componentes fixos e móveis), portas-balcão, gradis, grades de proteção, cobogós, brises. Incluso complementos de acabamento como peitoris, soleiras, pingadeiras e ferragens de manobra e fechamento	≥20	≥30
Esquadrias internas	Portas e grades internas, janelas para áreas internas, boxes de banho	≥8	≥12
	Portas externas, portas corta-fogo, portas e gradis de proteção a espaços internos sujeitos a queda > 2 m	≥13	≥20
	Complementos de esquadrias internas, como ferragens, fechaduras, trilhos, folhas mosquiteiras, alisares e demais complementos de arremate e guarnição	≥4	≥6
	Tubulações e demais componentes (inclui registros e válvulas) de instalações hidrossanitários, de gás, de combate a incêndio, de águas pluviais, elétricos	≥20	≥30
Instalações prediais embutidas em vedações e manuteníveis apenas por quebra das vedações ou dos revestimentos (inclusive forros falsos e pisos elevados não-acessíveis)	Reservatórios de água não facilmente substituíveis, redes alimentadoras e coletores, fossas sépticas e negras, sistemas de drenagem não acessíveis e demais elementos e componentes de difícil manutenção e ou substituição	≥13	≥20
	Componentes desgastáveis e de substituição periódica, como gaxetas, vedações, guarnições e outros	≥3	≥4
	Tubulações e demais componentes	≥8	≥12
Instalações aparentes ou em espaços de fácil acesso	Aparelhos e componentes de instalações facilmente substituíveis como louças, torneiras, sifões, engates flexíveis e demais metais sanitários, sprinklers, mangueiras, interruptores, tomadas, disjuntores, luminárias, tampas de caixas, fiação e outros	≥13	≥20
	Reservatórios de água	≥4	≥6
Equipamentos funcionais manuteníveis e substituíveis	Médio custo de manutenção	≥8	≥12
	Alto custo de manutenção	≥13	≥20
	Equipamentos de recalque, pressurização, aquecimento de água, condicionamento de ar, filtragem, combate a incêndio e outros		
	Equipamentos de calefação, transporte vertical, proteção contra descargas atmosféricas e outros	≥13	≥20

3.7 Quantificação da Energia Incorporada

Uma vez quantificados os materiais utilizados na envolvente da edificação utilizando as tabelas TCPO, é possível fazer o cálculo da energia incorporada nestes materiais. Para este cálculo foi utilizada a seguinte metodologia:

A energia incorporada foi calculada utilizando-se a fórmula de Holloway; Pullen, (2007); em que propõem a soma dos resultados da multiplicação da quantidade do material pelo coeficiente de energia incorporada de mesmo material e somando todos os resultados obtidos de essa operação. A fórmula é a seguinte:

$$E = m_1e_1 + m_2e_2 + m_3e_3...$$

Onde E é o total da energia incorporada, m_1 é a massa do material 1, e_1 é o coeficiente de energia incorporada do material 1.

Para este cálculo foram utilizados os coeficientes propostos por Tavares, (2006), Graf; Tavares, (2010), Lobo, (2010). Para materiais no Brasil, alguns destes valores são apresentados nas tabelas 15 e 16.

Tabela 15. - Coeficientes de Energia Incorporada de materiais de construção no Brasil. Fonte: (TAVARES, SERGIO FERNANDO, 2006).

Materiais	EE (MJ/kg)	EE (MJ/m³)
Aço - laminado CA50A 1	30,00	235500,00
Alumínio lingote 1	98,20	265140,00
Alumínio anodizado	210,00	567000,00
Alumínio reciclado - extrudado1	17,30	46710,00
Areia	0,05	80,00
Argamassa - mistura	2,10	3906,00
Borracha natural - latex	69,00	63480,00
Borracha sintética	135,00	160650,00
Brita	0,15	247,50
Cal virgem	3,00	4500,00
Cerâmica - bloco de 8 furos 1	2,90	4060,00
Cerâmica - branca	25,00	52075,00
Cerâmica – revest, monoqueima1	5,10	10456,66
Cerâmica porcelanato	13,00	27300,00
Cerâmica - telha	5,40	5,40
Cimento Portland 1	4,20	8190,00
Cobre	75,00	669975,00
Concreto - bloco de vedação	1,00	2300,00
Concreto simples	1,20	2760,00
Fibra de vidro	24,00	768,00
Fibrocimento - telha	6,00	9600,00
Fio termoplástico	83,00	201690,00
Gesso	4,00	5720,00
Granito - aparelhada	2,00	5400,00
Lã mineral	19,00	2090,00
Latão	80,00	682400,00

Madeira - aparelhada seca forno	3,50	2100,00
Madeira - aparelhada seca ar livre	0,50	300,00
Madeira - laminada colada	7,5	4875,00
Madeira - MDF 9	9,00	5850,00
Mármore	1,00	2550,00
Placa de gesso	4,50	4500,00
Poliamida - nylon	125,00	143750,00
Poliestireno expandido	112,00	4480,00
Polietileno de alta densidade	95,00	90250,00
Polipropileno	83,80	92180,00
Poliuretano	74,00	44400,00
Solo-cimento - bloco 0	0,60	1020,00
Solvente - tolueno	67,90	74690,00
Telha de vidro	23,13	55512,00
Tinta acrílica	61,00	79300,00
Tinta óleo	98,10	127530,00
Tinta PVA latex	65,00	84500,00
Tubo - PVC	80,00	104000,00
Vermiculita	1,37	167,14
Vidro plano	18,50	46250,00

Tabela 16. - Coeficientes de Energia Incorporada de materiais de construção no Brasil. Fonte: (GRAF; TAVARES, SERGIO FERNANDO, 2010).

MATERIAIS	EE (MJ/kg)	EE (MJ/m³)	Densidade (kg/m³)
Aço - chapa galvanizada	33,80	265330,00	7850
Aço - chapa dobrada	30,00	235500,00	7850
Aço - laminado CA 50A	30,00	235500,00	7850
Aço - reciclado	12,50	-	-
Acrílico	80,00	-	-
Água	0,02	20,00	1000
Alumínio lingote	98,20	265140,00	2700
Alumínio anodizado	210,00	567000,00	2700
Alumínio reciclado - extrudado	17,30	-	-
Alumínio reciclado - anodizado	42,90	-	-
Areia	0,05	75,75	1515
Argamassa - mistura	2,10	3906,00	1860
Asfalto	51,00	107865,00	2115
Batente - madeira aparelhada	3,50	2100	600
Borracha natural - latex	69,00	63480,00	920
Borracha sintética	135,00	160650,00	1190
Brita	0,15	247,50	1650
Cal virgem	3,00	4500,00	1500
Carpete	50,00	-	-
Cêra	52,00	-	-
Cerâmica - azulejo	6,20	12400,00	2000
Cerâmica - bloco de 8 furos	2,90	4060,00	1400
Cerâmica - branca	25,00	52075,00	2000
Cerâmica - piso esmaltado	5,00	10000,00	2000
Cerâmica – revest, biqueima	6,20	12400,00	2000
Cerâmica – revest, monoqueima	5,10	10200,00	2000
Cerâmica porcelanato	13,00	27300,00	2100
Cerâmica - refratária	32,40	-	-
Cerâmica - telha	5,40	10260,00	1900
Chapa de compensado	8,00	4400,00	550
Chumbo lingote	21,00	238140,00	11340
Cimento Portland	4,20	8190,00	1950
Cobre	75,00	669975,00	8933
Concreto armado	3,10	-	-

Aço - chapa galvanizada	33,80	265330,00	7850
Aço - chapa dobrada	30,00	235500,00	7850
Aço - laminado CA 50A	30,00	235500,00	7850
Aço - reciclado	12,50	-	-
Acrílico	80,00	-	-
Água	0,02	20,00	1000
Alumínio lingote	98,20	265140,00	2700
Alumínio anodizado	210,00	567000,00	2700
Alumínio reciclado - extrudado	17,30	-	-
Alumínio reciclado - anodizado	42,90	-	-
Areia	0,05	75,75	1515
Argamassa - mistura	2,10	3906,00	1860
Asfalto	51,00	107865,00	2115
Batente - madeira aparelhada	3,50	2100	600
Borracha natural - latex	69,00	63480,00	920
Borracha sintética	135,00	160650,00	1190
Brita	0,15	247,50	1650
Cal virgem	3,00	4500,00	1500
Carpete	50,00	-	-
Cêra	52,00	-	-
Cerâmica - azulejo	6,20	12400,00	2000
Cerâmica - bloco de 8 furos	2,90	4060,00	1400
Cerâmica - branca	25,00	52075,00	2000
Cerâmica - piso esmaltado	5,00	10000,00	2000
Cerâmica - revest, biqueima	6,20	12400,00	2000
Cerâmica - revest, monoqueima	5,10	10200,00	2000
Cerâmica porcelanato	13,00	27300,00	2100
Cerâmica - refratária	32,40	-	-
Cerâmica - telha	5,40	10260,00	1900
Chapa de compensado	8,00	4400,00	550
Chumbo lingote	21,00	238140,00	11340
Cimento Portland	4,20	8190,00	1950
Cobre	75,00	669975,00	8933
Concreto armado	3,10	-	-
Concreto bloco	1,00	2000,00	2000
Concreto simples	1,20	2760,00	2300
Dobradiça - ferro	40,00	314800,00	7870
Fechaduras	55,00	467500,00	8500
Ferro fundido	32,80	246000,00	7500
Fibra de vidro	24,00	768,00	32
Fibrocimento - telha	6,00	11520,00	1920
Fio termoplástico	83,00	201690,00	2430
Gesso	4,00	3200,00	800
Gesso acartonado	6,10	-	-
Granito - aparelhada	2,00	5400,00	2700
Lã mineral	19,00	2090,00	110
Latão	80,00	682400,00	8530
Madeira - aparelhada seca forno	3,50	2100,00	600
Madeira - aparelhada seca ar livre	0,50	300,00	600
Madeira - laminada colada	7,50	4875,00	650
Madeira - MDF	9,00	9000,00	1000
Mármore	1,00	2680,00	2680
Marmorite	0,48	-	-
Palha	0,24	31,20	130
Papel	18,54	17242,20	930
Papel kraft	37,70	-	-
Papel de parede	36,40	-	-
Placa de gesso	4,50	4500,00	1000

Poliamida - nylon	125,00	143750,00	1150
Poliestireno expandido	112,00	6160,00	55
Polietileno de alta densidade	95,00	90250,00	950
Polipropileno	83,80	92180,00	1100
Poliuretano - espuma	74,00	2590,00	35
Porta - madeira aparelhada	3,50	2275,00	650
Prata	128,20	1346100,00	10500
Selante - formaldeído	80,00	120000,00	1500
Solo-cimento - bloco	0,60	1020,00	1700
Solvente - tolueno	67,90	74690,00	1100
Telha de vidro	23,13	55512,00	2400
Tinta acrílica	61,00	79300,00	1.3 kg/l
Tinta óleo	98,10	127530,00	1.3 kg/l
Tinta PVA latex	65,00	84500,00	1.3 kg/l
Torneiras e registros	95,00	-	-
Tubo - PVC	80,00	104000,00	1300
Tubo de ferro galvanizado	33,80	-	-
Vermiculita	1,37	167,14	122
Vidro plano	18,50	46250,00	2500
Vidro - blindex	26,20	-	-
Vinil	47,00	-	-
Zinco	51,00	364140,00	7140

3.8 As simulações térmicas da Moradia para o cálculo do consumo energético operacional.

O programa no qual foram desenvolvidas as simulações térmicas e energéticas dos casos de estudo é o *Energy Plus*. Este programa é especialmente desenhado para fazer este tipo de simulações.

3.8.1 Escolha dos períodos de simulações

Para a definição do período de análise foi utilizada a norma ABNT 15575-1, (2008), a qual propõe como tempo de vida útil de 40 anos para uma edificação de habitação de interesse social.

Os períodos de simulação realizados foram de um ano e quarenta anos, utilizando os arquivos climáticos das cidades propostas para a simulação.

Também se utilizaram as normas e ABNT NBR 15220-1, (2003) e ABNT NBR 15220-2, (2003) que se referem à análise do comportamento térmico, utilizando as recomendações de esta norma para o cálculo das características térmicas dos materiais.

Para a análise do comportamento térmico por meio de simulações da edificação utilizaram-se as recomendações da norma ABNT NBR 15575-1, (2008).

3.8.2 Modelagem da Edificação.

Foram modelados os volumes das edificações no software Google Sketchup utilizando o plug-in *Openstudio*. Na geração deste modelo serão caracterizadas as superfícies como: paredes, telhados, forros etc. (Figuras 50-58).

Ao terminar o desenho deste modelo no Google Sketch-Up utilizando o plug-in “OpenStudio”, este gerará um arquivo com terminação “idf” que é o arquivo que se utilizara no software Energy Plus e que já contém as características volumétricas e de materiais da célula de teste. Foi neste arquivo que se colocaram os demais dados necessários para realizar as simulações requeridas.

A seguir, são descritos os procedimentos para a criação das zonas nas quais foram divididas a edificação, com o intuito de avaliar termicamente cada espaço que compõe a mesma. Posteriormente foram ingressadas as características térmicas dos materiais para depois realizar as simulações térmicas no software EnergyPlus.

Como se observa na figura 50, a primeira etapa é fazer o desenho da planta arquitetônica da edificação, na qual posteriormente serão levantadas as zonas térmicas que compõem o projeto.

Figura 50. -Planta da Edificação na qual foram levantadas as zonas para a simulação energética.

Na figura 51, pode-se observar a primeira zona para a realização da simulação. Esta zona corresponde à habitação um da planta arquitetônica.

Figura 51. - Volume do dormitório 1 realizado com o plug-in Open Studio.

Na figura 52 é possível observar a zona que corresponde à sala da moradia, em que o volume aparece composto pelas portas e janelas.

Figura 52. – Volume da Sala realizado com o plug-in Open Studio.

Na figura 53 se observa o volume da cozinha levantado no Google Sketchup utilizando o plug-inOpen Studio.

Figura 53. – Volume da cozinha realizado com o plug-in Open Studio.

Na Figura 54 se pode observar o volume do banheiro criado com a ferramenta Open Studio no software Google Sketchup

Figura 54. – Volume correspondente ao banheiro realizado com a ferramenta Open Studio.

Na figura 55 é possível observar a zona de circulação do projeto de moradia em análise.

Figura 55. – Volume da zona de circulação realizado com o plug-in Open Studio.

Na figura 56 pode-se observar a zona que corresponde à habitação 2 do projeto da moradia em análise.

Figura 56. – Volume do dormitório2 realizado com o plug-in Open Studio.

Na figura 57 pode-se observar o projeto de moradia em análise composto por todas as zonas térmicas criadas para sua simulação térmica.

Figura 57. – Modelo como todos os volumes que o compõem.

Na figura 58 se observa o projeto da moradia, o qual está geo-referenciado na zona onde foi construída na cidade de São Carlos.

Figura 58. – Modelo Geo-referenciado na foto satelital e localizado na imagem do Google Earth.

Parâmetros utilizados na Simulação no Energy Plus

A seguir são descritos os parâmetros utilizados para a simulação do projeto em análise. A simulação compreende varias etapas, como a definição e caraterísticas dos materiais, localização, ocupação, equipamentos etc.

3.8.3 Composição dos elementos construtivosda edificação.

A seguir são descritas as caraterísticas dos materiais que compõem os elementos construtivos da edificação em analise. Na Figura 59 se observa a composição dos diferentes elementos.

Figura 59. - Figura com a composição demateriaisde cada elemento da edificação.

As caraterísticas térmicas dos materiais que compõem os diferentes elementos da edificação se descrevem na tabela 17. As caraterísticas térmicas foram calculadas pelo departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Rio Grande do Sul, e o arquivo está disponível na seguinte direção eletrônica: <http://www.mecanica.ufrgs.br/lafrig/downloads.htm>.

Tabela 17.–Caraterísticas Térmicas dos materiais que compõem os elementos construtivos da edificação (dados utilizados na simulação)

Elemento	Material	Rugosi- dade	Espessur- a	Conduti- vidade	Densidade	Calor específico	Absortan- cia Térmica	Absortan- cia Solar	Absorta- n-cia Visível
Telhado	Telha Cerâmica	Medium Rough	0.001	4.55	2000	920			
	Telha Fibrocimento	Medium Rough	0.007	0.65	1800	840	0.9	0.65	0.7
	F05 Ceiling air space resistance	Resistência Térmica m ² -k/w 0,18							
	Laje 8 cm	Medium Rough	0.08	0.17	640.73	830	0.9	0.65	0.65
	Gesso 1 cm	Smooth	0.001	0.16	784.9	830	0.9	0.2	0.2
Parede Externa Interna	Reboco Areia 1 cm	Smooth	0.01	0.8	1681.9	830	0.9	0.2	0.2
	Bloco Concreto Furado 10 cm	Medium Rough	0.1	0.38	1041.2	830	0.9	0.2	0.2
	Tijolo Furado 10 cm	Medium Smooth	0.1	0.51	1121.29	830	0.9	0.2	0.2
	Reboco Areia 1 cm	Smooth	0.01	0.8	1681.9	830	0.9	0.2	0.2
Piso	Lajota 3 mm	Medium Smooth	0.003	1.8	1922.21	830	0.9	0.6	0.6
	Laje Piso	Rough	0.1	1.75	2400	1000	0.9	0.4	0.4
	Terra 30 cm	Rough	0.3	0.17	1041.2	830	0.9	0.7	0.7
Vidro		Very Smooth	0.005	1	2500	840	0.9	0.7	0.7
Porta Madeira		Rough	0.025	0.12	450	1340	0.9	0.2	0.2

3.8.3 Simulation Parameters.

A seguir são descritos os parâmetros utilizados nas simulações termo-energéticas realizadas no software Energy Plus.

Foram simulados 4 casos diferentes:

- Telhado Cerâmico-Parede Cerâmica
- Telhado Cerâmico-Parede Bloco
- Telhado Fibrocimento-Parede Cerâmica
- Telhado Fibrocimento-Parede Bloco.

Version

Como pode ser observado na Figura 60, a versão do Energy Plus utilizada foi a 7.1, a mais atualizada até o momento (Figura 52).

Field	Units	Obj1
Version Identifier		7.1

Figura 60. Nesta figura pode-se observar a versão do programa de simulação Energy Plus

Simulation Control

Nesta seção foram definidos os controles da simulação, em que foi possível fazer o cálculo por zonas e por sistemas, bem como a simulação por períodos específicos de tempo ou a utilização do período do arquivo climático. Para este trabalho, foi selecionado a simulação com o período do arquivo climático (Figura 61).

Field	Units	Obj1
Do Zone Sizing Calculation		No
Do System Sizing Calculation		No
Do Plant Sizing Calculation		No
Run Simulation for Sizing Periods		No
Run Simulation for Weather File Run Periods		Yes

Figura 61.- Parâmetros utilizados na seção de “SimulationControl”.

Building

O nome da simulação é de 4 zonas. Na seção do “terrain” foi colocada à opção de “City”, uma vez que a edificação é simulada dentro de cidades, sendo que os demais valores são carregados por defeito na hora de escolher esta opção (Figura 62).

Field	Units	Obj1
Name		4zonas
North Axis	deg	0
Terrain		City
Loads Convergence Tolerance Value		0,04
Temperature Convergence Tolerance Value	deltaC	0,4
Solar Distribution		FullInteriorAndExterior
Maximum Number of Warmup Days		25
Minimum Number of Warmup Days		6

Figura 62. - Características na simulação da Edificação.

Surface Convection Algorithm

Nesta secção é seleccionado o algoritmo que o software ira utilizar na simulação. O algoritmo seleccionado foi o “CeilingDiffuser”, o qual corresponde a uma convecção natural simples, como pode ser observado na Figura 63.

Field	Units	Obj1
Algorithm		CeilingDiffuser

Figura 63. Seleção da solução analítica para o algoritmo do balanço do calor numa zona.

Zone Air Heat Balance Algorithm

Foi seleccionado o algoritmo que é recomendado e vem carregado por default pelo próprio software, este é o algoritmo por “aproximação de diferenças finitas de terceira ordem” (Figura 64).

Field	Units	Obj1
Algorithm		ThirdOrderBackwardDifference

Figura 64. – Algoritmo para a simulação de balanço de calor por zonas.

Timestep

Nesta secção do software se selecciona o numero de registros de temperatura por hora que se desejam nos resultados. O valor numero 4 corresponde a registros de temperatura de 15 em 15 minutos (Figura 65).

Field	Units	Obj1
Number of Timesteps per Hour		4

Figura 65.- Numero de repetições em uma hora.

LocationandClimate

Site: Location

Nesta secção são inseridos os dados de: Latitude, Longitude, zona horaria, elevação da cidade da qual se está utilizando o arquivo climático para realizar a simulação. Na Figura 66 se refere à cidade de São Carlos e a figura 67 a cidade de Belém.

Field	Units	Obj1
Name		Sao Carlos
Latitude	deg	-22,02
Longitude	deg	-47,89
Time Zone	hr	-3
Elevation	m	863

Figura 66.- Localizacao da cidade de São Carlos.

Field	Units	Obj1
Name		Belem
Latitude	deg	-1,4
Longitude	deg	-48,5
Time Zone	hr	-3
Elevation	m	16

Figura 67. – Localização da cidade de Belém.

Run Period

Aqui foi selecionado o período que se deseja simular, sendo que no caso específico desta pesquisa foram simulados dois períodos: 1 e 40 anos (Figura 68).

Field	Units	Obj1
Name		ano
Begin Month		1
Begin Day of Month		1
End Month		12
End Day of Month		31
Day of Week for Start Day		Sunday
Use Weather File Holidays and Special Days		No
Use Weather File Daylight Saving Period		Yes
Apply Weekend Holiday Rule		No
Use Weather File Rain Indicators		Yes
Use Weather File Snow Indicators		No
Number of Times Runperiod to be Repeated		1
Increment Day of Week on repeat		
Start Year		

Figura 68. –Interfase onde é selecionado o período ou tempo que se pretende simular.

Site: Ground Temperature: Building Surface

Aqui são ingressadas as temperaturas do solo. Na Figura 69 se observam os dados da temperatura do solo da cidade de São Carlos, SP, e na Figura 70 se observam os dados de temperatura da cidade de Belém PA.

Field	Units	Obj1
January Ground Temperature	C	22,66
February Ground Temperature	C	22,21
March Ground Temperature	C	21,33
April Ground Temperature	C	20,51
May Ground Temperature	C	18,96
June Ground Temperature	C	18,14
July Ground Temperature	C	17,93
August Ground Temperature	C	18,35
September Ground Temperature	C	19,32
October Ground Temperature	C	20,52
November Ground Temperature	C	21,69
December Ground Temperature	C	22,46

Figura 69.- Temperaturas mensais do solo ingressadas no Energy Plus. As temperaturas deste gráfico correspondem a cidade de São Carlos, SP:

Field	Units	Obj1
January Ground Temperature	C	26,86
February Ground Temperature	C	26,88
March Ground Temperature	C	26,82
April Ground Temperature	C	26,72
May Ground Temperature	C	26,49
June Ground Temperature	C	26,31
July Ground Temperature	C	26,2
August Ground Temperature	C	26,17
September Ground Temperature	C	26,24
October Ground Temperature	C	26,39
November Ground Temperature	C	26,58
December Ground Temperature	C	26,75

Figura 70. - Gráfico com as temperaturas mensais do solo da cidade de Belém do Pará.

Schedules

Schedule Time Limits

Aqui são inseridos, os valores máximos e mínimos permitidos e o tipo de unidade a ser utilizada. No programa foram utilizadas criadas e utilizadas o “schedule” de “Temperatura” e de “Exemplo” (Figura 71).

Field	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9
Name	Any Number	Fraction	Temperature	On/Off	Control Type	Humidity	Number	Temperatura	Exemplo
Lower Limit Value	0		-60	0	0	10		0	0
Upper Limit Value	1		200	1	4	90		40	1000
Numeric Type		CONTINUOUS	CONTINUOUS	DISCRETE	DISCRETE	CONTINUOUS		Continuous	Continuous
Unit Type								Temperature	Dimensionless

Figura 71.- Gráfico dos schedules utilizados na simulação.

Schedule Compact

Nesta seção foram programados os schedules ou horários necessários para a simulação como: climatização, numero de pessoas, ocupação, luzes, infiltração etc (Figura 72).

- Ocupação: no caso desta pesquisa se simulou sem ocupação segundo as recomendações da norma ABNT NBR 15575-1, (2008), onde a norma recomenda fazer a simulação térmica sem as cargas térmicas por ocupação.
- Climatização: aqui foram inseridos os valores de temperatura para ligar ou desligar os sistemas ativos de controle de ambiente interno. Calculadas segundo a norma ASHRAE 55, (2004).
- Infiltração: neste item se seguiu a recomendação da norma ABNT NBR 15575-1, (2008) onde especifica que para simulações se precisa de uma troca de ar por hora.

Field	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Name	Always On	Always Off	Climatizado	Infiltração	Infiltração 2	People	Ocupação	Lights
Schedule Type Limits Name	Fraction	Fraction	Temperatura	Exemplo	Exemplo	Exemplo	Exemplo	Exemplo
Field 1	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
Field 2	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 08:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 08:00	Until: 06:00
Field 4	1	0	26,7	1	117	117	25	0
Field 5			Until: 16:00				Until: 14:00	Until: 18:00
Field 6			26,7				1	1
Field 7			Until: 24:00				Until: 16:00	Until: 24:00
Field 8			26,7				25	0
Field 9							Until: 18:00	
Field 10							5	
Field 11							Until: 24:00	
Field 12							1	

Figura 72. – Grafico dos Schedules a serem utilizados nas simulações da moradia.

Surface Construction Elements

Material

Como se observa na Figura 73, nesta parte são inseridos os nomes e as características físicas dos materiais que compõem a envolvente arquitetônica da edificação e que foram utilizados na simulação. As características térmicas dos materiais utilizados nesta pesquisa foram especificadas na Tabela 15.

Field	Units	Obj11	Obj12	Obj13	Obj14	Obj15	Obj16	Obj17	Obj18	Obj19	Obj20	Obj21	Obj22	Obj23
Name		Piso	Tel Fibrocimento	Forro	Argamassa	Isolante	Madeira	Tijolo	Vidroio	Telha Ceramica	Concreto	REBOCO COM AREA 1 CM	TIJOLO FURADO 10 CM	CHAPA GALVANIZADA 1,6 MM
Roughness		Rough	MediumRough	Rough	Rough	Rough	Rough	Rough	VerySmooth	MediumRough	MediumRough	Smooth	MediumSmooth	Smooth
Thickness	m	0,1	0,007	0,1	0,025	0,025	0,025	0,05	0,005	0,001	0,1	0,01	0,1	0,0016
Conductivity	W/m-K	1,75	0,65	1,05	1,15	0,45	0,12	0,9	1	4,55	1,75	0,8	0,51	45,31
Density	kg/m3	2400	1800	1087	2000	200	450	1600	2500	2000	2300	1681,9	1121,29	7833,02
Specific Heat	J/kg-K	1000	840	920	1000	750	1340	920	840	920	1000	830	830	500
Thermal Absorptance		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,0001	0,9	0,9	0,9	0,9
Solar Absorptance		0,4	0,65	0,4	0,4	0,7	0,2	0,7	0,7		0,7	0,2	0,2	0,23
Visible Absorptance		0,4	0,7	0,4	0,4	0,7	0,2	0,7	0,7		0,7	0,2	0,2	0,23

Figura 73.- Grafico dos materiais utilizados na simulação assim como as características térmicas dos mesmos.

Material: Airgap

Aqui são descritas as características da resistência do ar nas paredes e no telhado. Estes valores estão determinados pelo programa de simulação como se observa na Figura 74.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		F04 Wall air space resistance	F05 Ceiling air space resistance
Thermal Resistance	m ² -K/W	0,15	0,18

Figura 74.- Gráfico com as características da resistencia do ar nas paredes e na telhado.

Construction

Uma vez criados os materiais e suas características térmicas, é preciso fazer a construção ou composição dos elementos construtivos que compõem a edificação. Neste item do software são seleccionados os materiais inseridos anteriormente.

O exemplo da Figura 75 corresponde à simulação do caso de Parede de Bloco e Telhado Cerâmico.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
Name		Exterior Floor	Interior Floor	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Roof	Interior Ceiling	Exterior Window	Interior Window	Exterior Door	Interior Door
Outside Layer		TERRA 30 CM	TERRA 30 CM	Reboco Areia 1 cm	Reboco Areia 1 cm	Telha Ceramica	Fôrro	Clear 3mm	Clear 3mm	Madeira	Madeira
Layer 2		Piso	Piso	Bloco Concreto	Bloco Concreto	F05 Ceiling air space resistance	Gesso 1 CM				
Layer 3		Lajota Piso 3 mm	Lajota Piso 3 mm	Furado 10 cm	Furado 10 cm	Laje 8 cm					
Layer 4				Reboco Areia 1 cm	Reboco Areia 1 cm	Gesso 1 CM					

Figura 75. - Gráfico onde se apresenta a composição dos elementos construtivos que compõem a edificação.

Thermal Zone and Surfaces

Zone

Aqui são criadas as zonas que compõem a edificação. Estas zonas térmicas já são determinadas desde a criação da edificação no Plug-in Open Studio para o Google Sketch-Up. A edificação foi dividida em 6 zonas: Habitação 1, Habitação 2, Sala, Corredor, Cozinha, Banheiro. Figura 76.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Habitação 1	Habitação 2	Sala	Corredor	Cocina	Banheiro
Direction of Relative North	deg	0	0	0	0	0	0
X Origin	m	6,519981	6,271847	-0,424434	3,480512	-0,335062	-0,218696
Y Origin	m	-0,731079	7,426132	0,150044	7,833642	3,062578	8,427363
Z Origin	m	0	0	0	0	0	0
Type							
Multiplier		1	1	1	1	1	1
Ceiling Height	m						
Volume	m ³						
Floor Area	m ²						
Zone Inside Convection Algorithm							
Zone Outside Convection Algorithm		TARP	TARP	TARP	TARP	TARP	TARP
Part of Total Floor Area							

Figura 76. – Gráfico das zonas que compoem a edificacao a ser simulada.

Internal Gains

Nas simulações realizadas nesta pesquisa seguiram-se as recomendações realizadas pela norma ABNT NBR 15575-1, (2008). As especificações constam no anexo A da

norma, onde consta que nas simulações térmicas não devem ser levadas em conta as cargas internas provocadas por ocupação e por equipamentos internos.

Na mesma norma específica para simulações térmicas, a troca de volume do ar para simulação deve ser de uma por hora.

Zone Airflow

Zone Infiltration: Design Flow Rate

Aqui são inseridas as características de infiltração de cada zona da edificação a ser simulada. O schedule neste caso é o de infiltração e o método de calculo utilizado do design flow rate foi o de Flow/Zone ou “infiltração por zona” (Figura 77).

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Ventilação Hab1	Ventilação Hab2	Vent Corr	Vent Sala	Vent Cocina	Vent Banheiro
Zone or ZoneList Name		Habitação 1	Habitação 2	Corredor	Sala	Cocina	Banheiro
Schedule Name		Infiltração	Infiltração	Infiltração	Infiltração	Infiltração	Infiltração
Design Flow Rate Calculation Method		Flow/Zone	Flow/Zone	Flow/Zone	Flow/Zone	Flow/Zone	Flow/Zone
Design Flow Rate	m3/s	0,01	0,011	0,0056	0,012	0,005	0,004
Flow per Zone Floor Area	m3/s-m2						
Flow per Exterior Surface Area	m3/s-m2						
Air Changes per Hour	1/hr	1	1	1	1	1	1
Constant Term Coefficient		1	1	1	1	1	1
Temperature Term Coefficient		0	0	0	0	0	0
Velocity Term Coefficient		0	0	0	0	0	0
Velocity Squared Term Coefficient		0	0	0	0	0	0

Figura 77. – Gráfico das diferentes zonas que compõem a edificação.

Air changes per hour: Segundo a norma ABNT NBR 15220-1, (2003), o numero de trocas por hora deve ser de uma.

Design flow rate: foi calculado da seguinte forma:

Volume da zona= Lado x Lado x Altura

Design flow rate em uma troca por hora = Volume/3600 s

HAVC Templates

HAVC Template: Termostat

Nesta seção são inseridas as temperaturas do termostato, calculadas com o software ClimateConsultan5.4 (<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/>), o qual utiliza o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55, (2004) para calcular as temperaturas de conforto de acordo com os arquivos climáticos.

A temperatura de conforto do termostato para São Carlos é de 26,7º C e para Belém é de 28,8º C. Isso significa que quando a temperatura do ar interna da edificação supere esses valores, ventilação mecânica e o ar condicionado serão ligados (Figura 78).

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Constant Setpoint Thermostat	Climatizado
Heating Setpoint Schedule Name		Climatizado	
Constant Heating Setpoint	C	20,3	20,3
Cooling Setpoint Schedule Name			
Constant Cooling Setpoint	C	26,7	26,7

Figura 78. – Gráfico Com as temperaturas do termostato.

HAVC Template: Zone

Aqui foram configuradas as características de cada zona, onde é selecionado o “schedule” a ser utilizado e a temperatura do termostato. É preciso fazer um por cada zona criada anteriormente como: habitação 1, habitação 2, sala etc.

Os outros valores são carregados pelo próprio software. Na Figura 79 pode ser observado o “template” que corresponde a Habitação 1.

Field	Units	Obj1
Zone Name		Habitação 1
Template Unitary System Name		Aire Acondicionado
Template Thermostat Name		Climatizado
Supply Air Maximum Flow Rate	m3/s	autosize
Zone Heating Sizing Factor		
Zone Cooling Sizing Factor		
Outdoor Air Method		Flow/Person
Outdoor Air Flow Rate per Person	m3/s	0,00944
Outdoor Air Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2	
Outdoor Air Flow Rate per Zone	m3/s	
Supply Plenum Name		
Return Plenum Name		
Baseboard Heating Type		None
Baseboard Heating Availability Schedule Name		
Baseboard Heating Capacity	W	autosize

Figura 79. – Gráfico com o “template” da zona da habitacao 1.

HAVC Template: System: Unitary

Como se observa na Figura 80, nesta secção são inseridos os seguintes dados:

Schedule: Climatizado o qual são as temperaturas do termostato propostas (26,7°C e 28,8°C).

Controlzone: corresponde a zona que se pretende climatizar ou ventilar.

Supply fan operating modeschedule name: é selecionado o “schedule” de “climatizado” o qual está configurado para que quando a temperatura de conforto máxima seja atingida a ventilação mecânica será ligada e esta funcionara ate a temperatura diminuir.

Cooling Coil Availability Shedule: é selecionado o “schedule” de “climatizado” o qual está configurado para ligar a climatização da zona quando a temperatura de conforto é superada.

Os demais valores são carregados pelo próprio software. Nesta secção foi desabilitada a opção de calefação uma vez que não foi um dos objetivos desta pesquisa.

Field	Units	Obj1
Name		Aire Acondicionado
System Availability Schedule Name		Climatizado
Control Zone or Thermostat Location Name		Habituação 1
Supply Fan Maximum Flow Rate	m3/s	autosize
Supply Fan Operating Mode Schedule Name		Climatizado
Supply Fan Total Efficiency		0,7
Supply Fan Delta Pressure	Pa	600
Supply Fan Motor Efficiency		0,9
Supply Fan Motor in Air Stream Fraction		1
Cooling Coil Type		SingleSpeedDX
Cooling Coil Availability Schedule Name		Climatizado
Cooling Design Supply Air Temperature		12,8
Cooling Coil Capacity	W	autosize
Cooling Coil Rated Sensible Heat Ratio		autosize
Cooling Coil Rated COP	W/W	3
Heating Coil Type		Electric
Heating Coil Availability Schedule Name		
Heating Design Supply Air Temperature		50
Heating Coil Capacity	W	autosize
Gas Heating Coil Efficiency		0,8
Gas Heating Coil Parasitic Electric Load	W	
Maximum Outdoor Air Flow Rate	m3/s	autosize
Minimum Outdoor Air Flow Rate	m3/s	autosize

Figura 80. – Gráfico do “templatesistemunitary” no qual é feita a configuração para a ventilação mecânica e para a climatização do ambiente ou zona”.

Zone HVAC Controls and Thermostats

Thermostat Setpoint: Single Cooling

Como se observa na Figura 81, é colocado o nome que neste caso foi Termostato casa e foi selecionado o schedule climatizado no qual foram configuradas as temperaturas de conforto para ligar e desligar a ventilação e climatização das zonas.

Field	Units	Obj1
Name		Termostato casa
Setpoint Temperature Schedule Name		Climatizado

Figura 81. – Gráfico onde é controlada a configuração do termostato para ligar e desligar de acordo com as temperaturas.

Output reporting

Aqui são configurados os arquivos de saída do programa ou resultados das simulações.

As configurações são realizadas dependendo do que se pretende avaliar. No caso desta pesquisa foi configurado para ter resultados do consumo energético por ventilação e por climatização nos períodos de 1 e 40 anos.

Output: VariableDictionary

Este é o formato dos arquivos gerados pelo Energy Plus como se observa na Figura 82

Field	Units	Obj1
Key Field		IDF
Sort Option		

Figura 82. – Interfase da seção onde é seleccionada o tipo de arquivo de saída.

Output Schedules

Aqui é seleccionado como se pretende que seja à saída dos dados em questões do tempo. No caso desta pesquisa e como se observa na Figura 83, foi configurado como o Timestep assim os valores serão gerados de 15 em 15 minutos.

Field	Units	Obj1
Key Field		Timestep

Figura 83. – Interfase da seção onde se faz a configuração dos dados de saída, neste caso os casos serão de 15 em 15 minutos.

Output Table:summaryreports

Aqui são solicitadas as tabelas dos resultados que se pretendem gerar com a simulação. Como pode ser observado na Figura 84, nesta pesquisa foram solicitados os seguintes dados de saída:

- Performance anual do comportamento do prédio (Annual Building Utility Performance Summary)

- Usos Finais de consumo energético por mês (End Use Energy Consumption Electricity Montly)
- Sumario do desempenho da envolvente. (Envelope Summary)
- Medição do Consumo de Energia (Energy Meters)

Field	Units	Obj1
Report 1 Name		AnnualBuilding UtilityPerforman ceSummary
Report 2 Name		EndUseEnergyCon sumptionElectricity Monthly
Report 3 Name		EnvelopeSummary
Report 4 Name		EnergyMeters

Figura 84. –Interfase com as configurações das saídas de resultados que se esperam da simulação.

Output Contol:Table:Style

Tem-se a opção de escolher como se pretende que seja o formato dos resultados. Foi selecionado “Commaand HTML” pelo que serão gerados dois arquivos. Um será para visualizar em Excel y outro para visualizar os dados como uma pagina web. Figura 85

Field	Units	Obj1
Column Separator		CommaAndHT
Unit Conversion		JtoGJ

Figura 85. – Interfase onde é selecionado o formato de saída e as unidades dos arquivos gerados pelo Energy Plus.

Output: Variable

Nesta etapa são escolhidos os resultados que se esperam da simulação. Como se observa na figura 86, se solicitaram dados de saída como: temperatura externa, temperatura interna do ar, consumo elétrico por ventilação, consumo elétrico por climatização.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Key Value		*	*	*	*
Variable Name		Outdoor Dry Bulb	Zone Mean Air Temperature	Fan Electric Consumption	DX Cooling Coil Electric Consumption
Reporting Frequency		Hourly	Hourly	Hourly	Monthly
Schedule Name					

Figura 86. – Interfase do software onde são selecionados os dados de saída da simulação.

Output Diagnostics

Como se observa na Figura 87, o software oferece a opção para identificar e apresentar os possíveis erros que podem ocorrer na simulação. Foi selecionada esta opção.

Field	Units	Obj1
Key 1		DisplayExtraWarnings
Key 2		☐

Figura 87. – Interfase onde é selecionada a opção para identificar e mostrar os possíveis erros da simulação.

Capítulo IV

4 Resultados

Uma vez que foram calculadas as quantidades dos materiais, a energia incorporada nestes e também obtidos os resultados das simulações realizadas, se elaboraram gráficos, onde se utilizaram planilhas de Excel, com o intuito de facilitar a leitura e interpretação dos resultados.

Os valores obtidos pelo gasto energético provocado durante 40 anos foram comparados com os gastos calculados do consumo energético dos materiais construtivos para determinar em que parte deste ciclo se consome maior quantidade de energia.

A apresentação dos resultados será realizada na seguinte ordem:

Quantidade de materiais

São os resultados das quantidades dos materiais construtivos que compõem a envolvente arquitetônica da edificação para posteriormente calcular a energia incorporada. Como se tem mencionado anteriormente foram utilizadas as TCPO (TCPO 13, 2008) para o cálculo.

Análise da energia incorporada:

Os resultados do cálculo da energia incorporada dos materiais construtivos utilizados na envolvente de cada caso analisado, comparando-os entre si para conhecer e determinar que moradia apresentou o maior consumo de energia, assim como a que apresentou o menor consumo.

Análise das Simulações:

Os resultados das simulações do comportamento térmico e gasto energético dos casos analisados foram comparados e avaliados da seguinte forma:

Período de medições de um ano: foram comparados os resultados obtidos dos casos analisados durante este período de simulações conhecendo o desempenho individual de cada exemplo.

Período 40 anos: ao ter os resultados das simulações dos casos de estudo estes foram comparados para identificar as diferenças existentes entre o consumo energético neste período de tempo.

4.1 Quantificação dos Materiais e Calculo da Energia Incorporada Inicial e com Renovações em 40 anos

A seguir são apresentadas as tabelas com os materiais que compreendem o projeto de moradia analisado. Em cada tabela é especificado o tipo de material, a quantidade e o valor de energia incorporada.

Na secção 4.1 são apresentadas as tabelas dos cálculos e valores de energia incorporada nos materiais construtivos dos casos analisados.

Nas secções de 4.3 e 4.4 são apresentados os resultados totais de cada caso analisado. Nessas secções são comparados e discutidos os resultados apresentados na secção 4.1.

4.1.1 Locação da Obra

Tabela 18. – Tabela com a quantidade de materiais requeridos para realizar a locação da obra. Também estão inclusos os valores de energia incorporada para a locação da obra.

Código	Descrição	Un.	Clas.	Qt/d/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Energia Incorporada
04222.8.1.1	ALVENARIA estrutural com blocos de concreto, 14 x 19 x 39 cm, espessura da parede 14 cm, juntas de 10 mm com argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar traço 1:0,25:3 - tipo 3 -			113,88						Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)
01270.0.40.1	Pedreiro	h	M.O.	0,8	0,00	0,00	91,104			
01270.0.45.1	Servente	h	M.O.	0,934	0,00	0,00	106,36392			
02060.3.2.2	Areia lavada tipo média	m³	MAT.	0,016348	0,00	0,00	1,86171024	80,00		148,94
02065.3.2.1	Cal hidratada CH III	kg	MAT.	0,8174	0,00	0,00	93,085512		3,00	279,26
02065.3.5.1	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	MAT.	6,5124	0,00	0,00	741,632112		4,20	3114,85
04222.3.1.1	Bloco de concreto estrutural - bloco inteiro 14 x 19 x 39 - resistência: 4,5 MPa - para receber revestimento (altura: 190 mm / comprimento: 390 mm / largura: 140 mm)	un	MAT.	12,9	0,00	0,00	1469,052		1,00	15865,76
					Total s/ Taxas(Unit.):	0		Tota (MJ)		19408,81
					Valor LS:	0,00				
					Valor BDI:	0,00				
					Valor Total c/ Taxas:	0				

4.1.2 Alvenaria

Alvenaria de Vedação de Bloco Cerâmico e Bloco de Concreto

Tabela 19. – Tabela com a quantidade de materiais requeridos para a alvenaria de vedação de bloco cerâmico assim como os valores de energia incorporada para esta parte da edificação.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Energia Incorporada
ALVENARIA de vedação com blocos cerâmico furados 9 x 19 x 19 cm (furos horizontais), espessura da parede 9 cm, juntas de 12 mm com argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar traço 1:2:8 - tipo 1 -			113,88						Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)
Pedreiro	h	M.O.	1	0,00	0,00	113,88			
Servente	h	M.O.	1,135	0,00	0,00	129,25			
Areia lavada tipo média	m³	MAT.	0,01647	0,00	0,00	1,88	80,00		150,05
Cal hidratada CH III	kg	MAT.	2,457	0,00	0,00	279,80		3,00	839,41
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	MAT.	2,457	0,00	0,00	279,80		4,20	1175,17
Bloco cerâmico furado de vedação 9 x 19 x 19 (altura: 190 mm / comprimento: 190 mm / largura: 90 mm)	un	MAT.	25,7	0,00	0,00	2.926,72		2,90	18672,45
			Total s/ Taxas(Unit.):		0			Tota (MJ)	20837,08
			LS(%):0,00	Valor LS:	0,00				
			BDI(%):0,00	Valor BDI:	0,00				
			Valor Total c/ Taxas:		0				

Tabela 20. - Tabela com a quantidade de materiais requeridos para a alvenaria de vedação de bloco cerâmico assim como os valores de energia incorporada para esta parte da edificação.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Energia Incorporada
ALVENARIA estrutural com blocos de concreto, 14 x 19 x 39 cm, espessura da parede 14 cm, juntas de 10 mm com argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar traço 1:0,25:3 - tipo 3 -			113,88						Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)
Pedreiro	h	M.O.	0,8	0,00	0,00	91,104			
Servente	h	M.O.	0,934	0,00	0,00	106,36392			
Areia lavada tipo média	m³	MAT.	0,016348	0,00	0,00	1,86171024	80,00		148,94
Cal hidratada CH III	kg	MAT.	0,8174	0,00	0,00	93,085512		3,00	279,26
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	MAT.	6,5124	0,00	0,00	741,632112		4,20	3114,85
Bloco de concreto estrutural - bloco inteiro 14 x 19 x 39 - resistência: 4,5 MPa - para receber revestimento (altura: 190 mm / comprimento: 390 mm / largura: 140 mm)	un	MAT.	12,9	0,00	0,00	1469,052		1,00	15865,76
			Total s/ Taxas(Unit.):		0			Tota (MJ)	19408,81
			LS(%):0,00	Valor LS:	0,00				
			BDI(%):0,00	Valor BDI:	0,00				
			Valor Total c/ Taxas:		0				

Embasamento

Tabela 21. – Tabela com a quantidade de materiais requeridos e a quantidade de energia incorporada no embasamento.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Energia Incorporada
ALVENARIA de embasamento com tijolo comum, empregando argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar, traço 1:2:8			2						Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)
Pedreiro	h	M.O.	7	0,00	0,00	14,00			
Servente	h	M.O.	9,85	0,00	0,00	19,70			
Areia lavada tipo média	m³	MAT.	0,3477	0,00	0,00	0,70	80,00		55,632
Cal hidratada CH III	kg	MAT.	51,87	0,00	0,00	103,74		3,00	311,22
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	MAT.	51,87	0,00	0,00	103,74		4,20	435,708
Tijolo maciço cerâmico 5,7 x 9 x 19 (altura: 57 mm / comprimento: 190 mm / largura: 90 mm)	un	MAT.	795	0,00	0,00	1.590,00		2,9	5072,1
			Total s/ Taxas(Unit.):		0			Tota (MJ)	5874,66
			LS(%):0,00	Valor LS:	0,00				
			BDI(%):0,00	Valor BDI:	0,00				
			Valor Total c/ Taxas:		0				

4.1.3 Fundação

Armadura

Tabela 22. – Tabela com a quantidade de materiais requeridos e a quantidade de energia incorporada da fundação da edificação.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Energia Incorporada
ARMADURA de aço para vigas, CA-50, corte e dobra na obra			178,00						Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)
Ajudante de armador	h	M.O.	0,093	0,00	0,00	16,554			
Armador	h	M.O.	0,093	0,00	0,00	16,554			
Espaçador circular de plástico para pilares, fundo e laterais de vigas, lajes, pisos e estacas (cobrimento: 30 mm)	un	MAT.	7,3	0,00	0,00	1299,4			
Barra de aço CA-50 3/8" (bitola: 10,00 mm / massa linear: 0,617 kg/m)	kg	MAT.	1,1	0,00	0,00	195,8		30,00	5874,00
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	MAT.	0,02	0,00	0,00	3,56		30,00	106,80
			Total s/ Taxas(Unit.):		0				
			LS(%):0,00	Valor LS:	0,00				
			BDI(%):0,00	Valor BDI:	0,00				
			Valor Total c/ Taxas:		0			Total (MJ)	5980,80

Broca

Tabela 23. – Tabela com a quantidade de materiais requeridos e a energia incorporada na fundação da edificação.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Energia Incorporada
BROCA DE CONCRETO ARMADO, controle tipo "C", brita 1 e 2, fck=13,5 Mpa, Ø 20 cm			44,00				Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)		
Ajudante	h	M.O.	0,0096084	0,00	0,00	0,4227696			
Servente	h	M.O.	1,6884	0,00	0,00	74,2896			
Areia lavada tipo média	m³	MAT.	0,0289508	0,00	0,00	1,2738352	80,00		101,91
Pedra britada 1	m³	MAT.	0,0065626	0,00	0,00	0,2887544	247,50		71,47
Pedra britada 2	m³	MAT.	0,0196878	0,00	0,00	0,8662632	247,50		214,40
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	MAT.	8,8234	0,00	0,00	388,2296		4,20	1630,56
Barra de aço CA-25 1/4" (bitola: 6,30 mm / massa linear: 0,245 kg/m)	kg	MAT.	0,63	0,00	0,00	27,72		30,00	831,60
Energia elétrica	kW	MAT.	0,0144126	0,00	0,00	0,6341544			2,27
Betoneira, motor elétrico monofásico, potência 2 HP, capacidade 400 l - aquisição	un	EQ.AQ.	0,0000154887408	0,00	0,00	0,00006815045952			
			Total s/ Taxas(Unit.):		0				
			LS(%) : 0,00	Valor LS:	0,00				
			BDI(%) : 0,00	Valor BDI:	0,00		Total (MJ)		2852,21
			Valor Total c/ Taxas:		0				

Concreto

Tabela 24. – Tabela com a quantidade de materiais requeridos e a energia incorporada na concretagem da fundação.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Energia Incorporada
CONCRETO estrutural virado em obra , controle "A", consistência para vibração, brita 1 e 2, fck 18 MPa			2,55				Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)		
Ajudante	h	M.O.	0,306	0,00	0,00	0,7803			
Servente	h	M.O.	6	0,00	0,00	15,3			
Areia lavada tipo média	m³	MAT.	0,915	0,00	0,00	2,33325	80,00		186,66
Pedra britada 1	m³	MAT.	0,209	0,00	0,00	0,53295	247,50		131,91
Pedra britada 2	m³	MAT.	0,627	0,00	0,00	1,59885	247,50		395,72
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	MAT.	290	0,00	0,00	739,5		4,20	3105,90
Energia elétrica	kW	MAT.	0,459	0,00	0,00	1,17045			4,21
Betoneira, motor elétrico monofásico, potência 2 HP, capacidade 400 l - aquisição	un	EQ.AQ.	0,0000493722	0,00	0,00	0,00012578436			
			Total s/ Taxas(Unit.):		0		Total (MJ)		3824,39
			LS(%) : 0,00	Valor LS:	0,00				
			BDI(%) : 0,00	Valor BDI:	0,00				
			Valor Total c/ Taxas:		0				

Forma viga baldrame

Tabela 25. – Tabela com a quantidade de materiais requeridos e a energia incorporada na viga baldrame.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Energia Incorporada
FÔRMA de madeira para fundação, com tábuas e sarrafos, 8 aproveitamentos			25,50				Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)		
Ajudante de carpinteiro	h	M.O.	0,352	0,00	0,00	8,976			
Carpinteiro	h	M.O.	1,40825	0,00	0,00	35,910375			
Desmoldante de fôrmas para concreto	l	MAT.	0,1	0,00	0,00	2,55			
Barra de aço CA-50 3/8" (bitola: 10,00 mm / massa linear: 0,617 kg/m)	kg	MAT.	0,11	0,00	0,00	2,805		30,00	84,15
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48 mm / diâmetro: 3,00 mm)	kg	MAT.	0,0225	0,00	0,00	0,57375		30,00	17,21
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	MAT.	0,1	0,00	0,00	2,55		30,00	76,50
Sarrafo 1 x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	MAT.	0,46875	0,00	0,00	11,953125	300,00		6,60
Tábua (seção transversal: 1 x 12 " / tipo de madeira: pinus)	m²	MAT.	0,1625	0,00	0,00	4,14375	300,00		31,08
			Total s/ Taxas(Unit.):		0		Total (MJ)		215,54
			LS(%) : 0,00	Valor LS:	0,00				
			BDI(%) : 0,00	Valor BDI:	0,00				
			Valor Total c/ Taxas:		0				

Impermeabilização

Tabela 26. – Tabela com a quantidade de materiais requeridos e a energia incorporada na impermeabilização.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Energia Incorporada
IMPERMEABILIZAÇÃO de alicerce com tinta betuminosa em parede de 1 1/2 tijolo			42,50						Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)
Servente	h	M.O.	0,4	0,00	0,00	17			
Tinta betuminosa	l	MAT.	0,5	0,00	0,00	21,25		17,30	367,63
			Total s/ Taxas(Unit.):		0		Total (MJ)		367,63
			LS(%):-0,00	Valor LS:	0,00				
			BDI(%):-0,00	Valor BDI:	0,00				
			Valor Total c/ Taxas:		0				

4.1.4 Estrutura

Armadura Pilares

Tabela 27. - Tabela com a quantidade de materiais requeridos e a quantidade de energia incorporada na armadura dos pilares.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Energia Incorporada
ARMADURA de aço para pilares, CA-50, corte e dobra na obra			117						Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)
Ajudante de armador	h	M.O.	0,062	0,00	0,00	7,25			
Armador	h	M.O.	0,062	0,00	0,00	7,25			
Espaçador circular de plástico para pilares, fundo e laterais de vigas, lajes, pisos e estacas (cobrimento: 30 mm)	un	MAT.	4,7	0,00	0,00	549,90			
Barra de aço CA-50 1/2" (bitola: 12,50 mm / massa linear: 0,963 kg/m)	kg	MAT.	1,1	0,00	0,00	128,70		30,00	3861,00
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	MAT.	0,02	0,00	0,00	2,34		30,00	70,20
			Total s/ Taxas(Unit.):		0		Tota (MJ)		3931,20
			LS(%):-0,00	Valor LS:	0,00				
			BDI(%):-0,00	Valor BDI:	0,00				
			Valor Total c/ Taxas:		0				

Concreto dos Pilares

Tabela 28. –Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada no concreto dos pilares.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Energia Incorporada
CONCRETO estrutural virado em obra , controle "B", consistência para vibração, brita 1, fck 20 MPa			1,17						Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)
Ajudante	h	M.O.	0,306	0,00	0,00	0,36			
Servente	h	M.O.	6	0,00	0,00	7,02			
Areia lavada tipo média	m³	MAT.	0,853	0,00	0,00	1,00	80,00		79,84
Pedra britada 1	m³	MAT.	0,836	0,00	0,00	0,98		247,50	242,08
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	MAT.	336	0,00	0,00	393,12		4,20	1.651,10
Energia elétrica	kW	MAT.	0,459	0,00	0,00	0,54			1,94
Betoneira, motor elétrico monofásico, potência 2 HP, capacidade 400 l - aquisição	un	EQ.AQ.	0,0000493272	0,00	0,00	0,00			
			Total s/ Taxas(Unit.):		0		Tota (MJ)		1974,97
			LS(%):-0,00	Valor LS:	0,00				
			BDI(%):-0,00	Valor BDI:	0,00				
			Valor Total c/ Taxas:		0				

Formas dos Pilares

Tabela 29. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada nas formas dos pilares.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coeff.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Energia Incorporada
FÔRMA de madeira maciça para pilares, com tábuas e sarrafos			40,1						Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)
Ajudante de carpinteiro	h	M.O.	0,64	0,00	0,00	25,66			
Carpinteiro	h	M.O.	2,562	0,00	0,00	102,74			
Desmoldante de fôrmas para concreto	l	MAT.	0,1	0,00	0,00	4,01			
Arame galvanizado (bitola: 12 BWG)	kg	MAT.	0,18	0,00	0,00	7,22		33,80	243,97
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48 mm / diâmetro: 3,00 mm)	kg	MAT.	0,15	0,00	0,00	6,02		30,00	180,45
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	MAT.	0,2	0,00	0,00	8,02		30,00	240,60
Pontaletes 3 x 3" (altura: 75,00 mm / largura: 75,00 mm)	m	MAT.	3,2	0,00	0,00	128,32	300,00		216,51
Sarrafo 1 x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	MAT.	2,7	0,00	0,00	108,27	300,00		60,90
Tábua (seção transversal: 1 x 12" / tipo de madeira: pinus)	m²	MAT.	1,45	0,00	0,00	58,15	300,00		436,09
			Total s/ Taxas(Unit.):		0			Tota (MJ)	1378,51
			LS(%) :0,00	Valor LS:	0,00				
			BDI(%) :0,00	Valor BDI:	0,00				
			Valor Total c/ Taxas:		0				

Vigas

Armadura

Tabela 30. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada na armadura.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coeff.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Energia Incorporada
ARMADURA de aço para vigas, CA-50, corte e dobra na obra			202						Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)
Ajudante de armador	h	M.O.	0,093	0,00	0,00	18,79			
Armador	h	M.O.	0,093	0,00	0,00	18,79			
Espaçador circular de plástico para pilares, fundo e laterais de vigas, lajes, pisos e estacas (cobrimento: 30 mm)	un	MAT.	7,3	0,00	0,00	1.474,60			
Barra de aço CA-50 3/8" (bitola: 10,00 mm / massa linear: 0,617 kg/m)	kg	MAT.	1,1	0,00	0,00	222,20		30,00	6666,00
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	MAT.	0,02	0,00	0,00	4,04		30,00	121,20
			Total s/ Taxas(Unit.):		0				
			LS(%) :0,00	Valor LS:	0,00				
			BDI(%) :0,00	Valor BDI:	0,00				
			Valor Total c/ Taxas:		0				
								Total (MJ)	6544,80

Concreto Estrutural

Tabela 31. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada no concreto estrutural.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coeff.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Energia Incorporada
CONCRETO estrutural virado em obra , controle "A", consistência para vibração, brita 1 e 2, fck 25 MPa			2,02						Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)
Ajudante	h	M.O.	0,306	0,00	0,00	0,62			
Servente	h	M.O.	6	0,00	0,00	12,12			
Areia lavada tipo média	m³	MAT.	0,867	0,00	0,00	1,75	80,00		140,11
Pedra britada 1	m³	MAT.	0,209	0,00	0,00	0,42		247,50	104,49
Pedra britada 2	m³	MAT.	0,627	0,00	0,00	1,27		247,50	313,47
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	MAT.	349	0,00	0,00	704,98		4,20	2960,92
Energia elétrica	kW	MAT.	0,459	0,00	0,00	0,93			3,35
Betoneira, motor elétrico monofásico, potência 2 HP, capacidade 400l - aquisição	un	EQ.AQ.	0,0000493272	0,00	0,00	0,000094214952			
			Total s/ Taxas(Unit.):		0			Total (MJ)	3522,33
			LS(%) :0,00	Valor LS:	0,00				
			BDI(%) :0,00	Valor BDI:	0,00				
			Valor Total c/ Taxas:		0				

Formas

Tabela 32. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada nas formas.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Energia Incorporada
FÔRMA com chapa compensada resinada, e=12 mm, para pilares/vigas/lajes, incluso contraventamentos/escoramentos com pontaletes 7,5 x 7,5 cm			34,96				Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)		
Ajudante de carpinteiro	h	M.O.	0,444	0,00	0,00	15,52			
Carpinteiro	h	M.O.	1,776	0,00	0,00	62,09			
Chapa compensada resinada (comprimento: 2200 mm / espessura: 12 mm / largura: 1100 mm)	m²	MAT.	1,25	0,00	0,00	43,70	4875,00		2535
Desmoldante de fôrmas para concreto	l	MAT.	0,06	0,00	0,00	2,10			
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48 mm / diâmetro: 3,00 mm)	kg	MAT.	0,2	0,00	0,00	6,99		30,00	209,76
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	MAT.	0,1	0,00	0,00	3,50		30,00	104,88
Prego 15 x 15 com cabeça (comprimento: 34,5 mm / diâmetro: 2,40 mm)	kg	MAT.	0,05	0,00	0,00	1,75		30,00	52,44
Pontalete 3 x 3" (altura: 75,00 mm / largura: 75,00 mm)	m	MAT.	6	0,00	0,00	209,76	300,00		354,00
Sarrafo 1 x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	MAT.	8,25	0,00	0,00	288,42	300,00		162,27
Tábua 1 x 6" (espessura: 25 mm / largura: 150 mm)	m	MAT.	0,5	0,00	0,00	17,48	300,00		19,50
			Total s/ Taxas(Unit.):		0		Total (MJ)		3437,85
			LS(%):0,00	Valor LS:	0,00				
			BDI(%):0,00	Valor BDI:	0,00				
			Valor Total c/ Taxas:		0				

Laje Pré-moldada

Tabela 33. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada na laje pré-moldada.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Energia Incorporada
LAJE PRÉ-FABRICADA comum para piso ou cobertura, intereixo 38 cm, e=12 cm (capeamento 4 cm e elemento de enchimento 8 cm)			51,7				Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)		
Ajudante	h	M.O.	0,0123	0,00	0,00	0,64			
Carpinteiro	h	M.O.	0,73	0,00	0,00	37,74			
Armador	h	M.O.	0,15	0,00	0,00	7,76			
Pedreiro	h	M.O.	0,44	0,00	0,00	22,75			
Servente	h	M.O.	1,88	0,00	0,00	97,20			
Areia lavada tipo média	m³	MAT.	0,0489	0,00	0,00	2,53	80,00		202,25
Pedra britada 1	m³	MAT.	0,0111	0,00	0,00	0,57		247,50	142,03
Pedra britada 2	m³	MAT.	0,0332	0,00	0,00	1,72		247,50	424,82
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	MAT.	15	0,00	0,00	775,50		4,20	3257,10
Barra de aço CA-50 1/4" (massa linear: 0,245 kg/m / bitola: 6,30 mm)	kg	MAT.	1,89	0,00	0,00	97,71		30,00	2931,39
Laje pré-fabricada convencional para piso ou cobertura (espessura: 80 mm / peso próprio: 205 kgf/m² / sobrecarga: 150 kgf/m² / vão livre: 3,50 m)	m²	MAT.	1	0,00	0,00	51,70			1961,07
Prego 18 x 27 com cabeça (diâmetro: 3,40 mm / comprimento: 62,1 mm)	kg	MAT.	0,03	0,00	0,00	1,55		30,00	46,53
Pontalete 3a. construção (seção transversal: 3x3 " / tipo de madeira: cedro)	m	MAT.	1,71	0,00	0,00	88,41	300,00		149,19
Sarrafo 1 x 4" (altura: 100 mm / espessura: 25 mm)	m	MAT.	0,97	0,00	0,00	50,15	300,00		37,62
Tábua (seção transversal: 1 x 12 " / tipo de madeira: cedrinho)	m	MAT.	0,56	0,00	0,00	28,95	300,00		67,23
Energia elétrica	kW	MAT.	0,01845	0,00	0,00	0,95			3,42
Betoneira, motor elétrico monofásico, potência 2 HP, capacidade 400 l - aquisição	un	EQ.AQ.	0,00000198276	0,00	0,00	0,00			
			Total s/ Taxas(Unit.):		0		Tota (MJ)		9222,65
			LS(%):0,00	Valor LS:	0,00				
			BDI(%):0,00	Valor BDI:	0,00				
			Valor Total c/ Taxas:		0				

4.4.5 Revestimento

Chapisco

Tabela 34. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada no chapisco.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Valor EI	Duração	Trocas
CHAPISCO para parede interna ou externa com argamassa de cimento e areia sem peneirar traço 1:3, e=5 mm			208,50								
Pedreiro	h	M.O.	0,1	0,00	0,00	20,85					
Servente	h	M.O.	0,15	0,00	0,00	31,275					
Areia lavada tipo média	m³	MAT.	0,0061	0,00	0,00	1,27185	80,00		101,75		
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	MAT.	2,43	0,00	0,00	506,655		4,20	2127,95		
			Total s/ Taxas(Unit.):			0					
			LS(%)=0,00			Valor LS:					
			BDI(%)=0,00			Valor BDI:				13,00	3,08
			Valor Total c/ Taxas:			0					
							Total (MJ)		2229,70		6867,47

Reboco

Tabela 35. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada no reboco.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Valor EI	Duração	Trocas
EMBOÇO para parede interna com argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar traço 1:2:8, e = 20 mm			208,50								
Pedreiro	h	M.O.	0,6	0,00	0,00	125,1					
Servente	h	M.O.	0,8	0,00	0,00	166,8					
Areia lavada tipo média	m³	MAT.	0,0244	0,00	0,00	5,0874	80,00		406,99		
Cal hidratada CH III	kg	MAT.	3,64	0,00	0,00	758,94		3,00	2276,82		
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	MAT.	3,64	0,00	0,00	758,94		4,20	3187,55		
			Total s/ Taxas(Unit.):			0					
			LS(%)=0,00			Valor LS:					
			BDI(%)=0,00			Valor BDI:				13,00	3,08
			Valor Total c/ Taxas:			0					
							Total (MJ)		5871,36		18083,79

Azulejo

Tabela 36. -Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada no azulejo.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Valor EI	Duração	Trocas
AZULEJO assentado com argamassa pré-fabricada de cimento colante, juntas a prumo			38,00								
Azeleijista	h	M.O.	0,36	0,00	0,00	13,68					
Servente	h	M.O.	0,2	0,00	0,00	7,6					
Azulejo cerâmico esmaltado liso (comprimento: 150 mm / largura: 150 mm)	m²	MAT.	1,1	0,00	0,00	41,8	64,57		2699,03		
Argamassa pré-fabricada de cimento colante para assentamento de peças cerâmicas	kg	MAT.	4,4	0,00	0,00	167,2		0,05	8,36	13,00	3,08
			Total s/ Taxas(Unit.):			0					
			LS(%)=0,00			Valor LS:					
			BDI(%)=0,00			Valor BDI:					
			Valor Total c/ Taxas:			0					
							Total (MJ)		2707,39		8338,75

Pintura Externa

Tabela 37. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada na pintura externa.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Valor EI	Duração	Trocas
PINTURA COM TINTA LÁTEX ACRÍLICA em parede externa, com duas demãos, sem massa corrida			79,00								
Ajudante de pintor	h	M.O.	0,35	0,00	0,00	27,65					
Pintor	h	M.O.	0,4	0,00	0,00	31,6					
Líquido preparador de superfícies lata 18l	l	MAT.	0,12	0,00	0,00	9,48		21,56	204,39		
Lixa para superfície madeira/massa (grana: 100)	un	MAT.	0,25	0,00	0,00	19,75					
Tinta látex acrílica (tipo de acabamento: FOSCO)	l	MAT.	0,17	0,00	0,00	13,43		46,15	619,79	8,00	5,00
			Total s/ Taxas(Unit.):			0					
			LS(%)=0,00			Valor LS:					
			BDI(%)=0,00			Valor BDI:					
			Valor Total c/ Taxas:			0					
							Total (MJ)		824,18		4120,92

Pintura Interna

Tabela 38. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada na pintura interna.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m³)	CEI (MJ/kg)	Valor de E	Duração	Trocas
PINTURA COM TINTA LÁTEX PVA em parede interna, com duas demãos, sem massa corrida			170,50								
							Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)				
Ajudante de pintor	h	M.O.	0,35	0,00	0,00	59,675					
Pintor	h	M.O.	0,4	0,00	0,00	68,2					
Selador base PVA para pintura látex	l	MAT.	0,12	0,00	0,00	20,46		21,56	441,12		
Lixa para superfície madeira/massa (grana: 100)	un	MAT.	0,25	0,00	0,00	42,625					
Tinta látex PVA (tipo de acabamento: FOSCO)	l	MAT.	0,17	0,00	0,00	28,985		46,15	1337,66	3,00	13,33
			Total s/ Taxas(Unit.):			0		Total (MJ)	1778,78		23717,00
			LS(%):0,00			Valor LS:					
			BDI(%):0,00			Valor BDI:					
			Valor Total c/ Taxas:			0					

Pintura Portas

Tabela 39. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada na pintura das portas.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m³)	CEI (MJ/kg)	Valor de E	Duração	Trocas
PINTURA COM TINTA ESMALTE em esquadria de madeira, com duas demãos, sem massa corrida			30,24								
							Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)				
Ajudante de pintor	h	M.O.	0,35	0,00	0,00	10,584					
Pintor	h	M.O.	0,4	0,00	0,00	12,096					
Fundo nivelador para madeira (cor: branco fosco)	l	MAT.	0,13	0,00	0,00	3,9312		21,56	84,76		
Aguarrás mineral	l	MAT.	0,04	0,00	0,00	1,2096		31,36	37,93		
Esmalte sintético para madeiras e metais (tipo de acabamento: ACETINADO)	l	MAT.	0,16	0,00	0,00	4,8384		69,58	336,66		
Lixa para superfície madeira/massa (grana: 100)	un	MAT.	0,4	0,00	0,00	12,096				8,00	5,00
			Total s/ Taxas(Unit.):			0		Total (MJ)	459,35		2296,73
			LS(%):0,00			Valor LS:					
			BDI(%):0,00			Valor BDI:					
			Valor Total c/ Taxas:			0					

4.1.6 Janelas

Sala

Tabela 40. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada na janela da sala.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m³)	CEI (MJ/kg)	Valor de E	Duração	Trocas
JANELA de alumínio padronizada, colocação e acabamento, de correr, com quatro folhas, sem bandeira, dimensões 1,20 x 1,50 m, com vidro liso			1,00								
							Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)				
Pedreiro	h	M.O.	1,8	0,00	0,00	1,8					
Servente	h	M.O.	0,825	0,00	0,00	0,825					
Areia lavada tipo média	m³	MAT.	0,00578	0,00	0,00	0,00578	80,00		0,46		
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	MAT.	2,33	0,00	0,00	2,33		4,20	9,79		
Caixilho de alumínio padronizado de correr, sem bandeira, 4 fls: 2 fixas e 2 de correr, vidro liso (altura: 1,20 m / largura: 1,50 m)	un	MAT.	1	0,00	0,00	1	132,57		132,57	20,00	1,50
			Total s/ Taxas(Unit.):			0		Total (MJ)	142,82		214,23
			LS(%):0,00			Valor LS:					
			BDI(%):0,00			Valor BDI:					
			Valor Total c/ Taxas:			0					

Habitacões

Tabela 41. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada nas janelas das habitações.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m³)	CEI (MJ/kg)	Valor de E	Duração	Trocas
JANELA de alumínio padronizada, colocação e acabamento, veneziana, com três folhas, dimensões 1,00 x 1,20 m, com vidro liso			2,00								
							Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)				
Pedreiro	h	M.O.	1,2	0,00	0,00	2,4					
Servente	h	M.O.	0,54	0,00	0,00	1,08					
Areia lavada tipo média	m³	MAT.	0,0053	0,00	0,00	0,0106	80,00		0,85		
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	MAT.	2,13	0,00	0,00	4,26		4,20	17,89		
Caixilho de alumínio padronizado venez. 3fls - 1 palhetada e 1 vidro liso de correr (altura: 1,00 m / largura: 1,20 m)	un	MAT.	1	0,00	0,00	2	132,57		265,14	20,00	1,50
			Total s/ Taxas(Unit.):			0		Total (MJ)	283,88		425,82
			LS(%):0,00			Valor LS:					
			BDI(%):0,00			Valor BDI:					
			Valor Total c/ Taxas:			0					

Banheiro

Tabela 42. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada na janela do banheiro.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m³)	CEI (MJ/kg)	Valor de EI	Duração	Trocas
JANELA de alumínio padronizada, colocação e acabamento, basculante (vitro) com duas seções, dimensões 0,60 x 1,20 m, com vidro cancelado			1,00				Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)				
Pedreiro	h	M.O.	0,65	0,00	0,00	0,65					
Servente	h	M.O.	0,3	0,00	0,00	0,3					
Areia lavada tipo média	m³	MAT.	0,00309	0,00	0,00	0,00309	80,00		0,25		
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	MAT.	1,26	0,00	0,00	1,26		4,20	5,29		
Caixilho de alumínio padronizado basculante, com 2 seções: 6 basc. e 2 fixa, vidro cancelado (altura: 0,60 m / largura: 1,20 m)	un	MAT.	1	0,00	0,00	1	132,57		132,57	8,00	5,00
			Total s/ Taxas(Unit.):			0	Total (MJ)			138,11	690,55
			LS(%)=0,00			0,00					
			BDI(%)=0,00			0,00					
			Valor Total c/ Taxas:			0					

Cozinha

Tabela 43. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada na janela da cozinha.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m³)	CEI (MJ/kg)	Valor de EI	Duração	Trocas
JANELA de alumínio padronizada, colocação e acabamento, basculante (vitro) com duas seções, dimensões 0,60 x 1,20 m, com vidro cancelado			1,00				Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)				
Pedreiro	h	M.O.	0,65	0,00	0,00	0,65					
Servente	h	M.O.	0,3	0,00	0,00	0,3					
Areia lavada tipo média	m³	MAT.	0,00309	0,00	0,00	0,00309	80,00		0,25		
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	MAT.	1,26	0,00	0,00	1,26		4,20	5,29		
Caixilho de alumínio padronizado basculante, com 2 seções: 6 basc. e 2 fixa, vidro cancelado (altura: 0,60 m / largura: 1,20 m)	un	MAT.	1	0,00	0,00	1	132,57		132,57	8,00	5,00
			Total s/ Taxas(Unit.):			0	Total (MJ)			138,11	690,55
			LS(%)=0,00			0,00					
			BDI(%)=0,00			0,00					
			Valor Total c/ Taxas:			0					

4.1.7 Piso

Contra Piso

Tabela 44. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada no contra piso.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m³)	CEI (MJ/kg)	Valor de EI	Duração	Trocas
LASTRO DE CONCRETO (contra-piso) não estrutural impermeabilizado (espessura: 6 cm)			44,00				Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)				
Ajudante	h	M.O.	0,01836	0,00	0,00	0,80784					
Pedreiro	h	M.O.	0,4	0,00	0,00	17,5					
Servente	h	M.O.	1,16	0,00	0,00	51,04					
Areia lavada tipo média	m³	MAT.	0,04062	0,00	0,00	1,78728	80,00		142,98		
Pedra britada 1	m³	MAT.	0,01578	0,00	0,00	0,69432	247,50		171,84		
Pedra britada 2	m³	MAT.	0,0369	0,00	0,00	1,6236	247,50		401,84		
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	MAT.	13,2	0,00	0,00	580,8		4,20	2439,36		
Aditivo hidrófugo	l	MAT.	0,132	0,00	0,00	5,808					
Energia elétrica	kW	MAT.	0,02754	0,00	0,00	1,21176			4,36		
Betoneira, motor elétrico monofásico, potência 2 HP, capacidade 400 l - aquisição	un	EQ.AQ.	0,000002959632	0,00	0,00	3,000130223808				13,00	3,08
			Total s/ Taxas(Unit.):			0	Total (MJ)			3160,39	9733,99
			LS(%)=0,00			0,00					
			BDI(%)=0,00			0,00					
			Valor Total c/ Taxas:			0					

Piso

Tabela 45. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada no piso.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m³)	CEI (MJ/kg)	Valor de E	Duração	Trocas
PISO CERÂMICO esmaltado 30 x 30 cm, assentado com argamassa pré-fabricada de cimento colante			44,00								
Ladrilhinha	h	M.O.	0,44	0,00	0,00	19,36					
Servente	h	M.O.	0,22	0,00	0,00	9,68					
Piso cerâmico esmaltado liso brilhante (comprimento: 300 mm / espessura: 8 mm / largura: 300 mm / resistência a abrasão: 3)	m²	MAT.	1,19	0,00	0,00	52,36	52,80		2764,61		
Argamassa pré-fabricada de cimento colante para assentamento de peças cerâmicas	kg	MAT.	4,4	0,00	0,00	193,6		0,05	9,68	13,00	3,08
			Total s/ Taxas(Unit.):		0		Total (MJ)		2774,29		8544,81
			LS(%) :0,00		0,00						
			BDI(%) :0,00		0,00						
			Valor Total c/ Taxas:		0						

4.1.8 Portas

Tabela 46. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada nas portas.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m³)	CEI (MJ/kg)	Valor de E	Duração	Trocas
PORTA interna de madeira, colocação e acabamento , de uma folha com batente, guarnição e ferragem, 0,80 x 2,10 m			6,00								
Ajudante de carpinteiro	h	M.O.	3,75	0,00	0,00	22,5					
Carpinteiro	h	M.O.	3,75	0,00	0,00	22,5					
Pedreiro	h	M.O.	1,4	0,00	0,00	8,4					
Servente	h	M.O.	1,4	0,00	0,00	8,4					
Areia lavada tipo média	m³	MAT.	0,0106	0,00	0,00	0,0636	80,00		5,09		
Cal hidratada CH III	kg	MAT.	1,72	0,00	0,00	10,32		3,00	30,96		
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	MAT.	1,72	0,00	0,00	10,32		4,20	43,34		
Prego 16 x 24 com cabeça (comprimento: 55 mm / diâmetro: 2,70 mm)	kg	MAT.	0,25	0,00	0,00	1,5		30,00	45,00		
Parafuso madeira cabeça chata fenda simples - zincado branco (comprimento: 90 mm / diâmetro: 6,1 mm)	un	MAT.	8	0,00	0,00	48		2,79	133,92		
Taco de madeira para instalação de portas e janelas (altura: 60 mm / espessura: 15 mm / largura: 50 mm / tipo de madeira: peroba)	un	MAT.	6	0,00	0,00	36		1,08	38,88		
Batente de madeira para porta de 1 folha - vão de ate 0,90 x 2,10m (espessura: 35 mm / largura: 140 mm / perímetro: 5,40 m / tipo de madeira: PEROBA)	un	MAT.	1	0,00	0,00	6		2100,00	55,57		
Guarnição de madeira para porta 1 folha - vão de até 0,90 x 2,10 m (espessura: 10 mm / largura: 50 mm / tipo de madeira: PEROBA)	un	MAT.	2	0,00	0,00	12		2100,00	5,36		
Porta lisa de madeira encaixada (altura: 2,10 m / espessura: 35 mm / largura: 0,80 m / tipo de madeira: IMBUÍA)	un	MAT.	1	0,00	0,00	6		6,30	37,80		
Fechadura completa para porta interna em latão (encaixe: 40 mm / extremidades testa e contra testa: retas / tipo de fechadura: gorge / tipo de guarnição: espelho / tipo de maçaneta: alavanca)	un	MAT.	1	0,00	0,00	6		11,60	69,60		
Dobradiça de ferro para porta - leve pino solto (altura: 3 " / largura: 2 1/2 ")	un	MAT.	3	0,00	0,00	18		13,95	251,10	8,00	5,00
			Total s/ Taxas(Unit.):		0		Total (MJ)		716,61		3583,07
			LS(%) :0,00		0,00						
			BDI(%) :0,00		0,00						
			Valor Total c/ Taxas:		0						

4.1.9 Telhado

Fibrocimento

Cumeeira

Tabela 47. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada na cumeeira de fibrocimento.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m³)	CEI (MJ/kg)	Valor de E	Duração	Trocas
CUMEEIRA articulada de fibrocimento para telha perfil ondulado e=4mm			9,20								
Ajudante de telhadista	h	M.O.	0,08	0,00	0,00	0,736					
Telhadista	h	M.O.	0,08	0,00	0,00	0,736					
Cumeeira para telha de fibrocimento - articulada para telha tipo vogatex e fibrotex	un	MAT.	2,22	0,00	0,00	20,424		4,19	85,58	13,00	3,08
			Total s/ Taxas(Unit.):		0		Total (MJ)		85,58		263,59
			LS(%) :0,00		0,00						
			BDI(%) :0,00		0,00						
			Valor Total c/ Taxas:		0						

Estrutura

Tabela 48. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada na estrutura para as telhas de fibrocimento.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Valor de EI	Duração	Trocas
ESTRUTURA de madeira para telha estrutural de fibrocimento , ancorada em laje ou parede			62,24								
Ajudante de carpinteiro	h	M.O.	0,38	0,00	0,00	23,6512					
Carpinteiro	h	M.O.	0,19	0,00	0,00	11,8256					
Prego 18 x 27 com cabeça (diâmetro: 3,40 mm / comprimento: 62,1 mm)	kg	MAT.	0,008	0,00	0,00	0,49792		30,00	14,94		
Madeira (tipo de madeira: peroba)	m³	MAT.	0,0085	0,00	0,00	0,52904	2100,00		1110,98	20,00	2,00
			Total s/ Taxas(Unit.):		0		Total (MJ)		1125,92		2251,84
			LS(%) :0,00	Valor LS:	0,00						
			BDI(%) :0,00	Valor BDI:	0,00						
			Valor Total c/ Taxas:		0						

Telhas

Tabela 49. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada nas telhas de fibrocimento.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Valor de EI	Duração	Trocas
COBERTURA com telha de fibrocimento , uma água, perfil ondulado, e = 4 mm, altura 24 mm, largura útil 450 mm, largura nominal 500 mm, Inclinação 27%			62,24								
Ajudante de telhadista	h	M.O.	0,14	0,00	0,00	8,7136					
Telhadista	h	M.O.	0,14	0,00	0,00	8,7136					
Telha de fibrocimento ondulada - tipo vogatex e fibrotex (comprimento: 1220 mm / espessura: 4 mm / largura nominal: 506 mm / largura útil: 450 mm / vão livre: 1,15 m)	m²	MAT.	1,19	0,00	0,00	74,0656	11520,00		3412,94		
Arruela plástica para prego 18x27 (diâmetro maior: 16,00 mm / espessura: 3,00 mm)	un	MAT.	2,88	0,00	0,00	179,2512				13,00	3,08
			Total s/ Taxas(Unit.):		0		Total (MJ)		3412,94		10511,86
			LS(%) :0,00	Valor LS:	0,00						
			BDI(%) :0,00	Valor BDI:	0,00						
			Valor Total c/ Taxas:		0						

Cerâmico.

Cumeeira

Tabela 50. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada na cumeeira cerâmica.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m3)	CEI (MJ/kg)	Valor de EI	Duração	Trocas
EMBOÇAMENTO de cumeeira para telha cerâmica com argamassa de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar, no traço 1:2:9			9,20								
Pedreiro	h	M.O.	0,5	0,00	0,00	4,6					
Servente	h	M.O.	0,52	0,00	0,00	4,784					
Areia lavada tipo média	m³	MAT.	0,0025	0,00	0,00	0,023	80,00		1,84		
Cal hidratada CH III	kg	MAT.	0,324	0,00	0,00	2,9808		3,00	8,94		
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	MAT.	0,324	0,00	0,00	2,9808		4,20	12,52		
Cumeeira para telha cerâmica tipo espigão	un	MAT.	3	0,00	0,00	27,6		3,10	85,56	13,00	3,08
			Total s/ Taxas(Unit.):		0		Total (MJ)		108,86		334,96
			LS(%) :0,00	Valor LS:	0,00						
			BDI(%) :0,00	Valor BDI:	0,00						
			Valor Total c/ Taxas:		0						

Tabela 51. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada na estrutura para as telhas cerâmicas.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (Mj/m³)	CEI (Mj/kg)	Valor de EI	Duração	Trocas
ESTRUTURA de madeira para telha cerâmica ou de concreto, vão de 3 a 7 m			62,24								
Ajudante de carpinteiro	h	M.O.	1,25	0,00	0,00	77,8					
Carpinteiro	h	M.O.	1,25	0,00	0,00	77,8					
Prego 18x 27 com cabeça (diâmetro: 3,40 mm / comprimento: 62,1 mm)	kg	MAT.	0,13	0,00	0,00	8,0912		30,00	242,74		
Ferragem para telhados tipo chapa de emenda de ferro (largura: 4" / peso: 0,57 kg / comprimento: 500 mm / espessura: 1/4")	kg	MAT.	0,19	0,00	0,00	11,8256		31,00	366,59		
Madeira (tipo de madeira: peroba)	m³	MAT.	0,03	0,00	0,00	1,8672	2100,00		3921,12	20,00	2,00
			Total s/ Taxas (Unit.):		0		Total (Mj)		4530,45		9060,90
			LS(%):0,00	Valor LS:	0,00						
			BDI(%):0,00	Valor BDI:	0,00						
			Valor Total c/ Taxas:		0						

Tabela 52. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada nas telhas cerâmicas.

Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)	Consumo	CEI (MJ/m³)	CEI (MJ/kg)	Valor de EI	Duração	Trocas
COBERTURA com telha cerâmica tipo plan, inclinação 35%			62,24								
Ajudante de telhadista	h	M.O.	1,5	0,00	0,00	93,36					
Telhadista	h	M.O.	0,75	0,00	0,00	46,68					
Telha cerâmica plan	un	MAT.	28	0,00	0,00	1742,72					
			Total \$/ Taxas(Unit.):		0			8,06	14046,3232	13,00	3,08
			LS(%)=0,00	Valor LS:	0,00			Total (MJ)	14046,3232		43219,45
			BDI(%)=0,00	Valor BDI:	0,00						
			Valor Total \$/ Taxas:		0						

Tabela 53. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada na instalação elétrica.

Material	Quantidade	Valor	Total	Duração	Trocas
Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)					
eletroduto corrugado (conduíte)					
3/4" = 16m	16	52,00	832,00		
1/2" = 70m	70	40,00	2800,00		
1" = 9m	9	64,00	576,00		
Cabo/Fio					
1,5mm2 = 103m	103	9,58	986,74		
2,5mm2 = 230m	230	15,98	3675,40		
6mm2 = 30m	30	38,38	1151,40		
10mm2 = 31m	31	64,08	1986,48		
1 barramento tipo pente 6mm2	1	80,00	80,00		
2 disjuntores 63A	2	12,75	25,50		
1 disjuntor bifásico com proteção IDR 60A	1	25,50	25,50		
1 disjuntor bifásico 32A	1	25,50	25,50		
3 disjuntores 10A	3	12,75	38,25		
1 disjuntor 20A	1	12,75	12,75		
Fita isolante = 2 rolos de 20m	20				
14 tomadas 10A	14	0,80	11,20		
4 interruptores simples	4	0,80	3,20		
1 interruptor de 2 teclas (1 simples e 1 para	1	0,80	0,80		
1 interruptor paralelo	1	0,80	0,80		
1 interruptor + tomada	1	0,80	0,80		
1Espelho para tomada do chuveiro	1				
22 caixinhas 4"x2" de PVC ou metálica	22	14,40	316,80		
6 luminárias de teto	6	17,68	106,08		
2 luminárias de parede	2	17,68	35,36		
8 caixinhas octagonal 4"	8	20,00	160,00		
1 poste padrão CPFL	1				
1 quadro de força para 16 disjuntores em P1	1				
4 conectores de pressão para fio 10mm2	4	56,00	224,00		
1 haste para aterramento	1	96,48	96,48		
1 caixa de visita para o aterramento	1				
	Total	13171,04		4	10

Hidráulica

Tabela 54. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada na instalação hidráulica.

Consumo	CEI (MJ/m ³)	CEI (MJ/kg)	Valor de EI	Duração	Trocas
Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)					
35,70	3,20		114,24		
1,00	0,00		0,00		
1,00	7,75		7,75		
1,00	7,75		7,75		
1,00	7,75		7,75		
2,00	3,10		6,20		
1,00	250,00		250,00		
1,00	0,00		0,00		
1,00	501,76		501,76		
1,00	9,59		9,59		
1,00	0,00		0,00		
1,00	0,00		0,00		
1,00	20,00		20,00		
1,00	61,30		61,30		
5,00	4,00		20,00		
6,00	4,00		24,00		
5,00	4,00		20,00		
2,00	0,00		0,00		
2,00	4,00		8,00		
2,00	4,00		8,00	13	3,08
Total (MJ)			1066,34		3281,05

Sanitária

Tabela 55. - Tabela com as quantidades de materiais e a energia incorporada na instalação sanitária.

Sanitária	Consumo	CEI (MJ/m ³)	CEI (MJ/kg)	Valor de EI	Duração	Trocas
Tavares (2006), Tavares et al (2010), Lobo (2010)						
tubo 100	18,00	4,00		72,00		
tubo 75	2,60	4,00		10,40		
tubo 50	6,00	4,00		24,00		
Caixa Sifonada 150	2,00	40,00		80,00		
joelho 100	1,00	4,00		4,00		
joelho 75	2,00	4,00		8,00		
joelho 50	2,00	4,00		8,00		
ralo sifonado 100	1,00	40,00		40,00		
luva 50	1,00	4,00		4,00		
luva 75	1,00	4,00		4,00		
tubo de cola	2,00	0,00		0,00		
lixa 100	3,00	0,00		0,00		
Válvula de retenção	1,00	7,16		7,16		
bacia cx acoplada	1,00	80,00		80,00		
válvula para lavatório	1,00	4,00		4,00		
válvula para pia	1,00	4,00		4,00		
sifão para lavatório	1,00	15,50		15,50		
sifão para pia	1,00	15,50		15,50		
massa plá 1 lata	1,00	0,00		0,00		
massa cal: 5 barrinha	5,00	0,00		0,00	13,00	3,08
Total (MJ)				380,56		1170,95

4.2 Validação do modelo de Simulação.

Segundo (JUDKO *et al.*, 2001) a validação pode ser realizada com três diferentes métodos. Para simulações realizadas com softwares de simulação termo-energética, estes métodos de validação, foram adotados pela norma ASHRAE 140, (2004).

A seguir se descrevem os diferentes tipos de validação (JUDKO *et al.*, 2001):

- Validação Analítica: onde os resultados são comparados a uma solução analítica ou a uma solução numérica conhecida ou aceita.

- Validação Empírica: onde os resultados são comprados com resultados obtidos em células de teste ou testes feitos em laboratórios.
- Validação Comparativa: comparando os resultados com os de versões diferentes softwares ou outros programas de simulação que são considerados melhor validados.

Para a validação da simulação deste trabalho foi utilizado o método empírico, onde os resultados do comportamento térmico da simulação foram comparados com os resultados experimentais do comportamento térmico de uma célula de teste.

As características térmicas inseridas no software de simulação são as mesmas que as que foram utilizadas nos materiais propostos na moradia em análise.

Os resultados experimentais e das simulações foram comparados em um dia e em um episódio experimental de acordo a metodologia de análise proposta por Vecchia (1997).

A seguir são apresentadas os gráficos dos resultados experimentais e das simulações.

Na Figura 88 podemos observar o gráfico do dia 29 de abril, o qual foi o dia mais quente do período, e por este motivo este dia foi selecionado para comparar os resultados experimentais e da simulação. O dia escolhido foi o dia mais quente do período, pois o que se pretende é a análise térmica em situações de calor.

No gráfico se percebe que a curva de temperatura experimental e a curva de temperatura simulada são muito similares. Também é possível observar que a curva dos valores de temperatura da simulação atingiram o valor máximo de 25,84 °C. uma hora antes que o valor máximo de 25,74 °C registrado no experimento.

Nos valores mínimos das temperaturas, se apresentaram poucas diferenças entre a temperatura simulada e a temperatura experimental. Na simulação o valor mínimo registrado foi de 17,53 °C e na simulação o valor mínimo registrado foi de 18 °C.

Figura 88. - Gráfico dos valores de temperatura externa, da temperatura interna medida e da temperatura interna simulada no software Energy Plus de uma célula de teste.

Radiação Solar Global

Na Figura 89 se observa o gráfico da radiação solar direta, em que pode-se perceber que teve vários dias de nebulosidade. Os dias com nebulosidade correspondem aos dias com atuação de frentes frias na zona onde foram realizadas as medições experimentais. Os dias com maior nebulosidade foram 20-21 de abril, 30-02 de maio e 13 de maio.

Figura 89. – Gráfico da Radiação Solar medida durante o período experimental.

Temperatura Externa

Na Figura 90 se apresenta o gráfico da temperatura do ar externa do período experimental da zona onde foram realizadas as medições. No gráfico se percebe a atuação de frentes frias pois ocorre a queda das temperaturas.

Os dias que apresentaram menor amplitude térmica assim como menores valores de temperaturas durante o dia foram o dia 20 de abril, dos dias 30-06 de maio, que coincidem com os dias em que se teve nebulosidade.

De acordo com os gráficos de Radiação e Temperatura é possível identificar a passagem das frentes frias.

Figura 90. – Gráfico da temperatura externa do ar medida durante o período experimental.

Simulação e Experimento

Na Figura 91 são apresentados os resultados das temperaturas de ar internas obtidas experimentalmente (linha azul) e nas simulações (linha vermelha). Nos quadros foram marcados os dias em que se apresentaram as maiores diferenças entre estas temperaturas.

Considera-se importante remarcar, que estas diferenças se apresentaram na fase do domínio das massas polares que atuaram na zona nos dias: 20-21 de abril, 30-04 de maio e 12-14 de maio.

Nos dias 20-24 se apresentou uma maior amplitude térmica entre os valores de temperaturas mínimos e máximos registrados. Nestes dias também se apresentou uma maior diferença entre as temperaturas mínimas registradas dos valores da simulação e da experimentação.

Nas fases de prenuncio, avanço e tropicalização os valores das temperaturas geradas pela simulação são similares aos valores registrados experimentalmente, apresentando poucas diferenças como pode ser observado na Figura 89.

Figura 91. - Gráfico dos valores da temperatura interna medida experimentalmente e dos valores de temperatura interna simulada no software Energy Plus.

Na Figura 92 é apresentado o gráfico do desvio standard dos valores experimentais e a curva dos valores de simulação.

Em cor vermelha estão representadas as medias máximas, as medias e as medias mínimas a cada 30 minutos. Pode-se observar também que o desvio standard nos lapsos de tempo de 30 em 30 minutos é muito similar durante os 48 valores de temperatura. Isto sugere que existe uma incidência de erro que pode ser provocada por causa dos seguintes fatores:

- Fatores ambientais
- Fatores de Calibração de Equipamento
- Fator de Resolução do Equipamento

Na linha azul podem ser observadas a media dos valores obtidos na simulação com um erro relativo de 4,92% nos 38 dias de experimento e simulação.

Com este gráfico pode se perceber como os valores de temperatura interna obtida com as simulações realizadas no software Energy Plus estão dentro do desvio standard calculado com os valores obtidos experimentalmente.

Figura 92. - Gráfico que apresenta o desvio standard das medições experimentais em relação às simulações durante o período de medição e simulação.

O desvio standard foi calculado com a seguinte formula

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Onde:

σ = desvio padrão

$\sum_{i=1}^N$ = Somatória

N = numero de medições

$\bar{x}$ = media dos valores experimentais

x_i = valor experimental

Pode-se observa na Figura 93, o erro relativo do horário do período de medições. Os maiores erros relativos foram apresentados desde as 9 am. até as 11:30 am., superando o +/- 5% de erro. O valor mais elevado do erro é as 10 am., pelo que é neste horário onde se apresentam as maiores diferenças entre as temperaturas do experimento e da simulação.

Figura 93. Gráfico que apresenta os valores das medias do erro relativo por horário, obtidos do período de medições e simulação.

O erro relativo foi calculado da seguinte forma:

$$\text{Erro Relativo} = \left(\frac{VE - VS}{VE} \right) * 100$$

Onde:

VE= valor obtido experimentalmente

VS= valor obtido na simulação

Na Figura 94 pode se observar o desvio standard da simulação em relação aos valores experimentais. É possível observar que os pontos de dispersão dos valores médios estão dentro dos intervalos de confiança e estes seguem a pendente da reta.

Figura 94. - Gráfico do desvio standard experimental das temperaturas experimentais e simuladas durante o período de medições

O desvio standard foi calculado da seguinte forma:

$$\beta_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

$$\beta_0 = \bar{y} - \beta_1 \bar{x}$$

β_1 = Intercepto com o eixo.

x_i = Simulação

y_i = Experimento

β_0 = Pendente da reta

N = quantidade de pontos ou observações.

De acordo com os dados expostos anteriormente os resultados mostraram poucas diferenças entre os valores das simulações com um erro máximo de 4,92 %. Estes dados validam o modelo de simulação para a moradia analisada.

4.3 Energia Incorporada e Consumo Energético de cada caso analisado

A seguir são apresentados os resultados obtidos dos cálculos da energia incorporada nos materiais construtivos que compõem a envolvente arquitetônica assim como os resultados do consumo pela climatização e ventilação provocada pelo comportamento térmico do edifício.

Os resultados são apresentados em tabelas e gráficos elaborados em planilhas de Excel. A apresentação dos resultados será realizada na seguinte ordem:

- Bloco concreto-Telha Cerâmica
- Bloco Concreto-Telha Fibrocimento
- Bloco Cerâmico-Telha Fibrocimento
- Bloco Cerâmico-Telha Cerâmica

4.3.1 Bloco Concreto -Telha Cerâmica.

Na tabela 56 se apresentam os consumos de energia incorporada por seção. O valor do consumo inicial foi de 121546,68 MJ e com renovações foi ate 226153,89 MJ o que equivale a 86,06 % a mais do consumo inicial.

No consumo energético inicial o elemento que apresentou o maior valor de energia incorporada foi a estrutura com 30012,31 MJ. No consumo energético no período de 40 anos o elemento que teve mais energia incorporada foi o revestimento com um valor de 63424,66 MJ, isto por causa das renovações realizadas para a manutenção da edificação.

As diferenças apresentadas nos valores de energia incorporada são provocadas pelas renovações dos materiais, mas alguns dos elementos não precisaram de renovações, uma vez que a vida útil de estes foi maior ao período analisado.

Tabela 56. - Tabela com as quantidades de energia incorporada nos diferentes elementos da edificação.

Concreto- Cerâmica	Consumo Inicial	Consumo 40 anos
Locação da obra	71,51	71,51
Alvenaria Bloco	25283,47	25283,47
Estrutura	30012,31	30012,31
Fundação	13240,57	13240,57
Janelas	560,1	2021,15
Piso	5934,68	18278,80
Portas	716,61	3583,07
Revestimento	13870,76	63424,66
Telhado Cerâmico	18685,63	52615,31
Elétrica	13171,04	13171,04
Hidráulica	1446,90	4452,00
Total (MJ)	121546,68	226153,89

Como se observa na Figura 95, no consumo inicial a estrutura foi o elemento que apresentou maior consumo energético com 24% do total, seguido pela alvenaria de bloco. No período de 40 anos estes valores mudaram e o elemento que teve mais energia incorporada foi o revestimento com 28 % de participação sobre o valor total seguido pelo consumo do telhado cerâmico com 23%.

Figura 95. –Gráficos do consumo inicial de energia incorporada e do consumo com renovações realizadas no período de 40 anos do caso Bloco Concreto- Telha Cerâmica.

4.3.1.1 Consumo por comportamento térmico na cidade de Belém

Na Figura 96 se apresenta o consumo mensal por ventilação. O mês que apresentou o menor consumo de energia foi fevereiro com 3,94 kWh e o mês que apresentou o maior consumo foi outubro com 34,23 kWh.

Também se percebe que existiu consumo energético em todos os meses do ano, sendo mais elevado nos meses de maio até dezembro.

Figura 96. – Gráfico do consumo de energia mensal para ventilação do caso Bloco Concreto-Telha Cerâmica.

Na Figura 97 se observa o consumo mensal por climatização. O mês que apresentou o menor consumo foi fevereiro com 39,54 kWh valor que supera o consumo máximo por ventilação. O mês que apresentou o maior consumo foi outubro com 345,22 kWh. Os maiores consumos se apresentaram do mês de maio até o mês dezembro.

Nos gráficos de consumo energético por ventilação e climatização apresentados anteriormente, se pode observar que existiu consumo em todos os meses do ano, existindo variações nos valores do consumo.

Figura 97. – Gráfico do consumo mensal de energia para climatização do caso Bloco Concreto-Telha Cerâmica.

Na figura 98 se apresentam os valores do consumo energético anual por ventilação e por climatização da edificação. O consumo anual por climatização foi de 9,28 GJ e por ventilação foi de 0,92 GJ.

Figura 98. – Gráfico do consumo energético anual por ventilação e climatização do caso Bloco Concreto-Telha Cerâmica.

Na Figura 99 se apresenta o consumo total no período de 40 anos da moradia por ventilação e climatização. O valor do consumo por ventilação foi de 36,84 GJ e o valor de consumo por climatização foi de 371,18 GJ o que representa 10 vezes o valor do consumo por ventilação durante este período.

Figura 99. – Gráfico do consumo energético por ventilação e climatização da edificação durante o período de 40 anos do caso Concreto-Cerâmica.

4.3.1.2 Consumo por comportamento térmico na cidade de São Carlos

Na Figura 100 se apresenta o consumo energético mensal por ventilação na cidade de São Carlos. Uma vez comparados os valores de consumo entre as duas cidades, é possível perceber que em São Carlos o consumo energético é menor que o apresentado na cidade de Belém.

Também nesta cidade se apresentaram 3 meses nos quais não se teve consumo por ventilação, estes meses foram: maio, junho e julho. Os outros meses tiveram consumo energético.

O período que apresentou um maior consumo energético foi de setembro até fevereiro, mas o mês que teve o maior valor de consumo em relação aos outros foi o mês de outubro com 22,05 kWh.

Figura 100. – Gráfico do consumo energético mensal por ventilação do caso Bloco Concreto-Telha Cerâmica.

Na Figura 101 se apresenta o consumo energético mensal por climatização do edifício analisado. Neste caso também não teve consumo nos meses de maio, junho e julho assim como o mês que apresentou o maior consumo em relação aos outros meses foi outubro com um valor de 133,08 kWh.

Figura 101. – Gráfico do consumo energético mensal por climatização do caso Bloco Concreto-Telha Cerâmica.

Na Figura 102 se pode observar o consumo energético anual por ventilação e climatização provocado pelo comportamento térmico da envolvente arquitetônica da moradia. O consumo por ventilação foi de 0,17 GJ e o valor de consumo por climatização foi de 1,00 GJ.

Figura 102. – Gráfico do consumo energético anual por ventilação e climatização do caso Bloco Concreto-Telha Cerâmica.

Na Figura 103 se apresenta o consumo energético total por ventilação e por climatização no período de 40 anos. O consumo energético por ventilação foi de 6,64 GJ que equivale a 16% do valor do consumo energético por climatização foi de 39,99 GJ.

Figura 103. – Gráfico do consumo energético por ventilação e climatização da edificação analisada durante o período de 40 anos do caso Bloco Concreto-Telha Cerâmica.

4.3.2 Bloco Concreto – Telha Fibrocimento

Na Tabela 57 se apresenta a energia incorporada inicial e a energia incorporada após as renovações no período de 40 anos. Na energia incorporada inicial o elemento que teve maior consumo foi a estrutura com 30012,31 MJ seguida pela alvenaria com 25283,47 MJ.

No período com renovações em 40 anos, o revestimento foi o que teve o maior valor com 63424,66 MJ seguido pela estrutura como um valor de 30012,31 MJ. O consumo total da energia incorporada inicial foi de 108932,39 MJ em um ano e de 186565,87 MJ em quarenta anos. Pelo que tem uma diferença entre o consumo inicial e o consumo em quarenta anos é de 71,27 %.

Tabela 57. - Tabela com as quantidades de energia incorporada nos diferentes elementos da edificação.

Concreto- Fibrocimento	Consumo Inicial	Consumo 40 anos
Locação da obra	71,51	71,51
Alvenaria Bloco	25283,47	25283,47
Estrutura	30012,31	30012,31
Fundação	13240,57	13240,57
Janelas	560,1	2021,15
Piso	5934,68	18278,80
Portas	716,61	3583,07
Revestimento	13870,76	63424,66
Telhado Fibrocimento	4624,44	13027,29
Elétrica	13171,04	13171,04
Hidráulica	1446,90	4452,00
Total	108932,39	186565,87

Na Figura 104 se observam os gráficos a energia incorporada inicial e a energia incorporada em 40 anos. Na energia incorporada inicial o elemento que com maior porcentagem de participação foi a estrutura com 28 % seguido pela alvenaria com 23 %.

No período de 40 anos estes valores mudaram, sendo o revestimento o elemento que teve maior quantidade de energia incorporada após as renovações com 34% seguido pela estrutura com 16 % do valor total.

Figura 104. – Gráficos do consumo inicial de energia incorporada e com o consumo das renovações realizadas no período de 40 anos do caso Bloco Concreto-Telha Fibrocimento

4.3.2.1 Consumo por comportamento térmico na cidade de Belém

Como pode ser observado na Figura 105, em relação ao consumo por ventilação, os meses que tiveram maior consumo energético foram de maio a dezembro, sendo que o valor máximo foi atingido no mês de outubro com um valor de 30,57 kWh.

O período com menor consumo foi nos meses de fevereiro, março e abril e o mês que teve o menor consumo foi fevereiro com 3,23 kWh.

Figura 105. – Gráfico do consumo energético mensal por ventilação da edificação analisada do caso Bloco Concreto-Telha Fibrocimento.

Na Figura 106 se observa o consumo energético mensal por climatização. Como observado no consumo por ventilação, o período com maior consumo foi de maio a dezembro sendo o mês de outubro o que teve o maior consumo com 308,48 kWh.

O período com menor consumo foi de janeiro a abril, sendo o mês de fevereiro o que teve o menor valor de consumo, com o valor de 32,47 kWh.

Figura 106. - Gráfico do consumo energético mensal por climatização do caso Bloco Concreto-Telha Fibrocimento.

Na Figura 107 se observam os valores anuais de consumo energético por ventilação com um valor de 0,82 GJ e climatização com um valor de 8,22 GJ. O valor de ventilação equivale a um 10% do valor por climatização.

Figura 107. - Gráfico do consumo energético anual por ventilação e climatização do caso Bloco Concreto-Telha Fibrocimento.

Na Figura 108 se observa o consumo energético no período de 40 anos por ventilação e climatização. O valor por ventilação foi de 32,61 GJ e o valor por climatização foi de 328,73 GJ. O valor por ventilação equivale a 10 % do valor por climatização.

Figura 108. - Gráfico do consumo energético por ventilação e climatização da edificação durante o período de 40 anos do caso Bloco Concreto-Telha Fibrocimento.

4.3.2.2 Consumo comportamento térmico cidade de São Carlos

Na Figura 109 se observa o consumo energético mensal por ventilação da edificação. O mês que teve o maior consumo energético foi outubro com um valor de 20,16 kWh, dentro do período com maior consumo, do mês de setembro até o mês de fevereiro. Nos meses de maio junho e julho na teve nenhum consumo energético.

Figura 109. - Gráfico do consumo de energia mensal para ventilação do caso Bloco Concreto-Telha Fibrocimento.

Na Figura 110 se observa o consumo energético anual pela climatização da edificação, com o mês de outubro com maior consumo (121,64 kWh). O período com maior consumo foi do mês de setembro ao mês de fevereiro. Nos meses de maio, junho e julho não teve nenhum consumo.

Figura 110. - Gráfico do consumo de energia mensal para climatização do caso Bloco Concreto-Telha Fibrocimento.

Na Figura 111 se apresenta o consumo energético anual da edificação por ventilação com um valor de 0,14 GJ e com um valor de 0,86 GJ por climatização. O valor do consumo por ventilação equivale ao 16 % do consumo por climatização.

Figura 111. - Gráfico do consumo energético anual por ventilação e climatização do caso Bloco Concreto-Telha Fibrocimento.

Na Figura 112 se apresenta o gráfico do consumo energético no período de 40 anos. O valor do consumo por ventilação foi de 5,71 GJ e o valor do consumo por climatização foi de 34,38 GJ. O valor do consumo por ventilação equivale ao 16 % do consumo por climatização.

Figura 112. - Gráfico do consumo energético por ventilação e climatização da edificação durante

4.3.3 Bloco Cerâmico – Telha Fibrocimento

Na tabela 58 se apresentam os consumos de energia incorporada por secção, o valor do consumo inicial foi de 108913,66MJ e com renovações foi de 187994,06MJ o que equivale a 72,61% a mais do consumo inicial.

No consumo energético inicial o elemento que apresentou o maior valor de energia incorporada foi a estrutura com 30012,31 MJ. No consumo energético no período de 40 anos o elemento que teve mais energia incorporada foi o revestimento com um valor de 63424,66 MJ, isto por causa das renovações realizadas para a manutenção da edificação.

As diferenças apresentadas nos valores de energia incorporada são provocadas pelas renovações dos materiais, mas alguns dos elementos não precisaram de renovações, uma vez que a vida útil de estes foi maior ao período analisado.

Tabela 58. - Tabela com as quantidades de energia incorporada nos diferentes elementos da edificação.

Cerâmico-Fibrocimento	Consumo Inicial	Consumo 40 anos
Localização da obra	71,51	71,51
Alvenaria Cerâmica	26711,64	26711,66
Estrutura	30012,31	30012,31
Fundação	13240,57	13240,57
Janelas	560,1	2021,15
Piso	5934,68	18278,80
Portas	716,61	3583,07
Revestimento	13870,76	63424,66
Telhado Fibrocimento	4624,44	13027,29
Elétrica	13171,04	13171,04
Hidráulica	1446,90	4452,00
Total	108913,66	187994,06

Como se observa na Figura 113, no consumo inicial a estrutura foi o elemento que apresentou maior consumo energético com 27% do total, seguido pela alvenaria cerâmica com 24%. No período de 40 anos estes valores mudaram e o elemento que teve a maior quantidade de energia incorporada foi o revestimento com 34 % de participação sobre o valor total seguido pelo consumo da estrutura com 16%.

Figura 113. - Gráficos do consumo inicial de energia incorporada e do consumo com renovações realizadas no período de 40 anos do caso TijoloCerâmico-Telha Fibrocimento.

4.3.3.1 Consumo comportamento térmico cidade de Belém

Na Figura 114 se apresenta o consumo mensal por ventilação, sendo que o mês que apresentou o menor consumo de energia foi fevereiro com 3,22 kWh e o mês que apresentou o maior consumo foi outubro com 30,73 kWh.

Houve consumo energético em todos os meses do ano, sendo mais elevado nos meses de maio ate dezembro.

Figura 114. – Gráfico do consumo de energia mensal para ventilação do caso Tijolo Cerâmico-Telha de Fibrocimento.

Na Figura 115 se observa o consumo mensal por climatização, com o mês que apresentou o menor consumo fevereiro, com 32,38 kWh valor que supera o valor de consumo por ventilação. O mês que apresentou o maior consumo foi outubro com 310,09 kWh. Os maiores consumos se apresentaram do mês de maio até o mês dezembro.

Nos gráficos de consumo energético por ventilação e climatização apresentados anteriormente, se pode observar que existiu consumo em todos os meses do ano.

Figura 115. – Gráfico do consumo energético mensal por climatização do caso Tijolo Cerâmico-Telha Fibrocimento.

Na figura 116 se apresentam os valores do consumo energético anual por ventilação e por climatização da edificação. O consumo anual por climatização foi de 8,25 GJ e por ventilação foi de 0,82 GJ.

Figura 116. - Gráfico do consumo energético anual por ventilação e climatização do caso Tijolo Cerâmico-Telha Fibrocimento.

Na Figura 117 se apresenta o consumo total no período de 40 anos da moradia por ventilação e climatização. O valor do consumo por ventilação foi de 32,72 GJ e o valor de consumo por climatização foi de 329,90 GJ o que representa 10 vezes o valor do consumo por ventilação durante este período.

Figura 117. - Gráfico do consumo energético por ventilação e climatização da edificação durante o período de 40 anos do caso Tijolo Cerâmico-Telha Fibrocimento.

4.3.3.2 Consumo comportamento térmico cidade de São Carlos

Na Figura 118 se apresenta o consumo energético mensal por ventilação na cidade de São Carlos. Uma vez comparados os valores de consumo entre as duas cidades, é possível perceber que em São Carlos o consumo energético é menor que o apresentado na cidade de Belém.

Também nesta cidade se apresentaram 3 meses nos quais não se teve consumo por ventilação: maio, junho e julho. Os outros meses apresentaram consumo energético.

O período que apresentou um maior consumo energético foi de setembro até fevereiro, mas o mês que teve o maior valor de consumo em relação aos outros foi o mês de outubro como 20,29 kWh.

Figura 118. – Gráfico do consumo de energia mensal para ventilação do caso Tijolo Cerâmico-Telha Fibrocimento.

Na Figura 119 se apresenta o consumo energético mensal por climatização do edifício analisado. Neste caso também não teve consumo nos meses de maio, junho e julho assim como o mês que apresentou o maior consumo em relação aos outros meses foi outubro com um valor de 122,42 kWh.

Figura 119. – Gráfico do consumo de energia mensal para climatização do caso Tijolo Cerâmico-Telha Fibrocimento.

Na Figura 120 se pode observar o consumo energético anual por ventilação e climatização provocado pelo comportamento térmico da envolvente arquitetônica da moradia. O consumo por ventilação foi de 0,14 GJ e o valor de consumo por climatização foi de 0,87 GJ.

Figura 120. - Gráfico do consumo energético anual por ventilação e climatização do caso Tijolo Cerâmico-Telha Fibrocimento.

Na Figura 121 se apresenta o consumo energético total por ventilação e por climatização no período de 40 anos. O consumo energético por ventilação foi de 5,46 GJ que equivale a 16% do valor do consumo energético por climatização, que foi de 34,64 GJ.

Figura 121. - Gráfico do consumo energético por ventilação e climatização da edificação durante o período de 40 anos do caso Tijolo Cerâmico-Telha Fibrocimento.

4.3.4 Bloco Cerâmico – Telha Cerâmica

Na Tabela 59 se apresenta a energia incorporada inicial e a energia incorporada após as renovações no período de 40 anos. Na energia incorporada inicial o elemento que teve maior consumo foi a estrutura com 30012,31 MJ seguida pela alvenaria cerâmica com 26711,64 MJ.

No período com renovações em 40 anos foi o revestimento o que teve o maior valor com 63424,66 MJ seguido pelo telhado cerâmico como um valor de 52615,31 MJ. O consumo total da energia incorporada inicial foi de 122974,85 MJ e de 227582,08 MJ pelo que representa o 85,06 % de incremento sobre o valor inicial.

Tabela 59. - Tabela com as quantidades de energia incorporada nos diferentes elementos da edificação.

Cerâmico-Cerâmica	Consumo Inicial	Consumo 40 anos
Locação da obra	71,51	71,51
Alvenaria Cerâmica	26711,64	26711,66
Estrutura	30012,31	30012,31
Fundação	13240,57	13240,57
Janelas	560,1	2021,15
Piso	5934,68	18278,80
Portas	716,61	3583,07
Revestimento	13870,76	63424,66
Telhado Cerâmico	18685,63	52615,31
Elétrica	13171,04	13171,04
Hidráulica	1446,90	4452,00
Total	122974,85	227582,08

Na Figura 122 se observam os gráficos a energia incorporada inicial e a energia incorporada em 40 anos. Na energia incorporada inicial o elemento que com maior porcentagem de participação foi a estrutura com 24 % seguido pela alvenaria com 21 %.

No período de 40 anos estes valores mudaram, sendo o revestimento o elemento que teve maior quantidade de energia incorporada após as renovações com 28% seguido pelo telhado cerâmico 23% do valor total.

Figura 122. - Gráficos do consumo inicial de energia incorporada e do consumo com renovações realizadas no período de 40 anos do caso Tijolo Cerâmico-Telha Cerâmica.

4.3.4.1 Consumo comportamento térmico cidade de Belém

Como pode ser observado na Figura 123, sobre consumo por ventilação, os meses que tiveram maior consumo energético foram de maio a dezembro, sendo o mês com maior consumo, outubro com um valor de 34,38 kWh.

O período com menor consumo foi nos meses de fevereiro, março e abril e o mês que teve o menor consumo foi fevereiro com 3,92 kWh.

Figura 123. – Gráfico do consumo de energia mensal para ventilação do caso Tijolo Cerâmico-Telha Cerâmica.

Na Figura 124 se observa o consumo energético mensal por climatização. De igual forma que no consumo por ventilação, o período com maior consumo foi de maio a dezembro sendo o mês de outubro o que teve o maior consumo com 346,74 Kwh.

O período com menor consumo foi de janeiro a abril, sendo o mês de fevereiro o que teve o menor valor de consumo sendo de 39,35 kWh.

Figura 124. – Gráfico do consumo energético mensal por climatização do caso Tijolo Cerâmico-Telha Cerâmica.

Na Figura 125 se observam os valores anuais de consumo energético por ventilação com um valor de 0,92 GJ e climatização com um valor de 9,30 GJ. O valor de ventilação equivale a um 10% do valor por climatização.

Figura 125. - Gráfico do consumo energético anual por ventilação e climatização do caso Tijolo Cerâmico-Telha Cerâmica.

Na Figura 126 se observa o consumo energético no período de 40 anos por ventilação e climatização. O valor por ventilação foi de 36,93 GJ e o valor por climatização foi de 372,10 GJ. O valor por ventilação equivale a 10 % do valor por climatização.

Figura 126. - Gráfico do consumo energético por ventilação e climatização da edificação durante o período de 40 anos do caso Tijolo Cerâmico-Telha Cerâmica.

4.3.4.2 Consumo comportamento térmico cidade de São Carlos

Na Figura 127 se observa o consumo energético mensal por ventilação da edificação, com o mês com maior consumo energético outubro, com um valor de 21,90 kWh, dentro do período com maior consumo (mês de setembro até o mês de fevereiro). Nos meses de maio, junho e julho na teve nenhum consumo energético.

Figura 127. – Gráfico do consumo de energia mensal para ventilação do caso Tijolo Cerâmico-Telha Cerâmica.

Na Figura 128 se observa o consumo energético anual pela climatização da edificação. O mês que teve o maior consumo foi outubro com 132,17 kWh. O período com maior consumo foi do mês de setembro ao mês de fevereiro. Nos meses de maio, junho e julho não teve nenhum consumo.

Figura 128. – Gráfico do consumo de energia mensal para climatização do caso Tijolo Cerâmico-Telha Cerâmica.

Na Figura 129 se apresenta o consumo energético anual da edificação por ventilação com um valor de 0,16 GJ e um valor de 0,98 GJ por climatização. O valor do consumo por ventilação equivale a 16 % do consumo por climatização.

Figura 129. - Gráfico do consumo energético anual por ventilação e climatização do caso Tijolo Cerâmico-Telha Cerâmica.

Na Figura 130 se apresenta o gráfico do consumo energético no período de 40 anos. O valor do consumo por ventilação foi de 6,51 GJ e o valor do consumo por climatização foi de 39,22 GJ. O valor do consumo por ventilação equivale ao 16 % do consumo por climatização.

Figura 130. - Gráfico do consumo energético por ventilação e climatização da edificação durante o período de 40 anos do caso Tijolo Cerâmico-Telha Cerâmica.

4.4 Resultados Totais

4.4.1 Da energia Incorporada.

Na Figura 131 se pode observar que dos casos analisados o que apresentou o maior valor de energia incorporada inicial foi o Tijolo Cerâmico-Telha Cerâmica, com 122,22 GJ. O que teve o menor valor de energia incorporada foi caso do Bloco Cerâmico-Telha Fibrocimento.

Figura 131. - Gráfico do consumo de energia incorporada inicial nos quatro casos analisados.

Na Figura 132 se observa a energia incorporada dos quatro casos analisados no período de 40 anos. O caso que teve o maior consumo foi o de Tijolo Cerâmico-Telha Cerâmica com 227,58 GJ. O que teve o menor valor foi o Bloco Concreto-Telha Fibrocimento com 186,57 GJ, sendo este o mais eficiente na questão da energia incorporada dos quatro casos analisados.

Figura 132. – Gráfico da energia incorporada no período de 40 anos dos quatro casos analisados.

4.4.2 Dos consumos anuais e no período de 40 anos.

Como se observa na Figura 133, os casos que apresentaram o maior consumo energético nas cidades de Belém como em São Carlos foram o Tijolo Cerâmico-Telha Cerâmica e Bloco Concreto-Telha Cerâmica. Os que apresentaram o menor consumo por climatização e ventilação foram os de Bloco de Concreto-Telha de Fibrocimento, e Tijolo Cerâmico-Telha Fibrocimento. Assim, estes foram os mais eficientes no consumo por ventilação no período de um ano.

Figura 133. . Gráfico do consumo energético por ventilação dos 4 casos analisados no período de 1 ano nas cidades de Belém e São Carlos.

Como se observa na Figura 134 os casos que tiveram o maior consumo energético por climatização nas cidades de Belém e São Carlos foram o Bloco Concreto-Telha Cerâmica e Bloco Cerâmico-Telha Cerâmica. Os que tiveram os menores consumos energéticos foram o Bloco Concreto-Telha Fibrocimento e Tijolo Cerâmico-Telha Fibrocimento, sendo estes mais eficientes no período de um ano.

Figura 134. –Gráfico do consumo energético por climatização dos casos analisados no período de 1 ano nas cidades de Belém e São Carlos.

Na Figura 135 se observam os consumos por ventilação dos quatro casos analisados durante o período quarenta anos. O caso que teve o maior consumo foi o de TijoloCerâmico-Telha Cerâmica.

Dos casos analisados o que apresentou o menor valor de energia consumida durante o período de quarenta anos por ventilação foi o de bloco de concreto-Telha de Fibrocimento pelo que este se mostrou como o mais eficiente dos casos analisados.

Figura 135. . Gráfico do consumo energético por ventilação dos casos analisados no período de 40 anos nas cidades de Belém e São Carlos.

Na Figura 136 se observam os valores de consumo energético por climatização durante o período de quarenta anos nos quatro casos analisados. O caso que teve o maior consumo foi o de Tijolo Cerâmico-Telha Cerâmica, e o que teve o menor valor de consumo foi o caso de Bloco de Concreto- Telha de Fibrocimento, sendo este o mais eficiente dos casos analisados durante este período.

Figura 136. – Gráfico do consumo energético por climatização durante o período de 40 anos nas cidades de Belém e São Carlos.

4.5 Correlação das variáveis analisadas

Uma vez tendo todos os resultados dos modelos analisados, foram correlacionados os valores para conhecer a relação entre estas variáveis.

As variáveis correlacionadas foram: energia incorporada nos materiais que compõem a envolvente arquitetônica e a energia consumida pelo comportamento térmico dessa envolvente.

A correlação foi calculada como a fórmula do coeficiente de correlação de Pearson, a qual é expressada da seguinte forma:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y}$$

Onde:

σ_{XY} é a covariância de (X,Y)

σ_X é a desvio standard de X

σ_Y é a desvio standard de Y

Os valores da correlação compreendem entre -1 que significa uma correlação negativa perfeita ou inversa e 1 que significa uma correlação positiva perfeita. Quanto mais próximo de 1 fiquem os coeficientes, mais forte é a correlação entre as variáveis analisadas.

Na Tabela 60 se apresenta o exemplo de um dos cálculos da correlação. O cálculo corresponde a variável de Energia Incorporada Inicial com a variável de Consumo Energético por ventilação em 40 anos.

Tabela 60. – Exemplo do cálculo da correlação entre as variáveis analisadas de energia incorporada e energia consumida por climatização.

Energia Incorporada	Consumo Energético			
X	Y	X ²	Y ²	x*y
108932,39	239,43	11866265591,11	57326,7249	26081682,14
121546,68	278,28	14773595419,02	77439,7584	33824010,11
108913,66	241,17	11862185334,60	58162,9689	26266707,38
122974,85	273,00	15122813732,52	74529	33572134,05
462367,58	1031,88	53624860077,25	267458,4522	119744533,68
115591,90	257,97	44728829,62	316,09215	
X/4	Y/4			
		6687,96	17,77898057	116892,2669
		118905,14	Correlação	0,98307162

A seguir se apresenta a Tabela 61 a qual contém correlação estatística das variáveis analisadas. É possível observar que todos os coeficientes ficaram muito próximos de 1, o que significa uma correlação linear positiva.

Das variáveis analisadas a que teve o menor valor de coeficiente de correlação foi a variável de energia incorporada inicial, correlacionada com os consumos energéticos por ventilação e climatização nos diferentes períodos na cidade de São Carlos.

A que teve o coeficiente de correlação mais próximo a 1 foi a variável de energia incorporada final, correlacionados com os consumos por ventilação e climatização nos diferentes períodos na cidade de Belém.

Tabela 61. – Tabela dos coeficientes de correlação das variáveis analisadas divididas em: consumos, períodos e cidades analisadas.

		Cidade			
Tipo de Consumo	Períodos	Belém		São Carlos	
		Energia Incorporada Inicial	Energia Incorporada Final	Energia Incorporada Inicial	Energia Incorporada Inicial
Consumo Ventilação	1 ano	0,997	0,999	0,983	0,991
	40 anos	0,997	0,999	0,983	0,991
Consumo Climatização	1 ano	0,997	0,999	0,983	0,991
	40 anos	0,997	0,999	0,983	0,991

Os valores apresentados na Tabela 58 indicam que dos quatro casos analisados os materiais que tiveram mais energia incorporada foram os que também provocaram maior consumo energético pelo comportamento térmico destes.

Dos casos analisados, no item de energia incorporada inicial da edificação, os elementos que consumiram mais energia foram as estruturas e as vedações. Nesta etapa, os elementos que apresentaram maiores valores foram as vedações e a estrutura, o que enfatiza a necessidade de aprimorar os processos de fabricação dos materiais que compõem estes elementos para diminuir seu impacto energético e ambiental.

Com as renovações durante o período de 40 anos, os elementos construtivos que consumiram a maior quantidade de energia foram os revestimentos e os telhados, isto provocado pelas numero de renovações necessárias para aumentar o tempo de vida útil destes.

Dos casos analisados, incluindo a mudança dos materiais construtivos, os que tiveram o menor valor de energia incorporada foram de Tijolo Cerâmico-Telha Fibrocimento e Bloco Concreto-Telha Fibrocimento, sendo este ultimo o que apresentou o menor valor.

No consumo energético nos períodos de 1 e 40 anos também foram os casos de Tijolo Cerâmico-Telha Fibrocimento e Bloco Concreto-Telha Fibrocimento os que tiveram os menores valores de consumo. Este ultimo apresentou o menor valor de consumo energético dos quatro casos analisados nos períodos de 1 e 40 anos.

No caso do Bloco Concreto-Telha Fibrocimento este se mostrou como o mais eficiente, apresentando os menores valores de energia incorporada e de energia consumida pelo comportamento térmico da edificação.

De acordo com os resultados da correlação entre as variáveis analisadas, ao ser calculada a energia incorporada inicial com o consumo em 1 e 40 anos, o coeficiente de correlação entre as variáveis ficou entre 0,983 e 0,999 o que indica uma correlação direta entre estas variáveis.

Capítulo V

5 Conclusões

Na presente pesquisa, se buscou contribuir no aspecto do impacto energético e ambiental, devido à necessidade da diminuição destes, já que representam 50 % dos impactos a nível mundial.

Estes impactos levam a necessidade da procura de melhores alternativas para a área da edificação, procurando a eficiência dos materiais e da parte operacional da edificação.

Isso leva a necessidade da avaliação das diferentes fases da edificação. No caso específico deste trabalho se analisou o impacto energético da envolvente arquitetônica assim como o impacto energético operacional por motivos térmicos, que no caso da norma (ABNT NBR 15575-1, 2008) recomenda seja de 40 anos. Assim como também se analisou a correlação das variáveis analisadas.

5.1 Dos Objetivos

Do objetivo geral se conclui que é possível que o consumo energético da edificação na etapa operacional em um período de 40 anos seja maior que o consumo energético inicial e com renovações dos materiais da envolvente arquitetônica. Uma vez que nos diferentes casos analisados, foi a cidade de Belém apresentou maiores valores do consumo energético pelo comportamento térmico em relação aos valores de energia incorporada no período de 40 anos. A cidade de São Carlos teve um consumo energético consideravelmente menor em relação à cidade de Belém.

A cidade de São Carlos que corresponde à zona bio-climática numero quatro, o consumo operacional calculado nas simulações não foi maior que o consumo de energia incorporada inicial nem com renovações, isto porque o clima da cidade não é tão desfavorável para o comportamento térmico da moradia analisada. Tiveram-se situações de desconforto o que provocou consumo energético por ventilação e climatização, mas este não foi o suficiente para superar o consumo de energia incorporada dos materiais da envolvente arquitetônica.

Na cidade de Belém, a qual esta localizada na zona bio-climática numero oito, tem um clima que incide de uma maior forma no comportamento térmico da edificação

superando a temperatura de conforto proposta de 28,6 °C. Isso provocou um maior consumo energético operacional para ventilação e climatização. No período de 40 anos este consumo foi maior que o consumo de energia incorporada inicial e com renovações nos casos analisados.

Nas duas cidades analisadas, foi o exemplo de Bloco Concreto-Telha de Fibrocimento o que se mostrou ser o mais eficiente dos quatro casos analisados, e o caso de Bloco Cerâmico-Telha Cerâmica como o que registrou os maiores valores em energia incorporada e consumo energético pelo comportamento da envolvente arquitetônica.

Dos materiais

Dos materiais utilizados tiveram vários que precisavam ser trocados, segundo a recomendação da norma, alguns a partir dos 3 anos e outros a 10, 15, 20 anos etc. Um exemplo são os revestimentos como as tintas das paredes, as quais tem um tempo de vida útil muito curto o que incrementa consideravelmente a energia incorporada na edificação. Também alguns itens das instalações tem uma vida útil curta de acordo com a norma o que representa o mesmo problema.

Pelo que considerasse necessário incrementar o tempo de vida útil dos materiais diminuindo desta forma a energia incorporada pelo número de renovações realizado durante o tempo de vida útil da edificação.

Do período de 40 anos

O período de 40 anos se considera curto como tempo de vida útil de uma edificação determinado pela norma ABNT NBR 15575-1, (2008), uma vez que tendo um maior tempo de vida útil, se obteria uma maior eficiência energética, assim como também aumento de vida útil nos materiais da edificação pelo que isto levaria a um número de renovações menor.

Se for incrementado o tempo de vida útil da edificação sem incrementar o tempo de vida útil dos materiais, levaria a um maior número de renovações dos materiais incrementando também a energia incorporada da edificação pelo que seria uma medida contraproducente.

Do consumo

Neste aspecto pode ser diminuído o consumo operacional utilizando aparelhos para ventilar ou climatizar que apresentem menor consumo de energia ou mais eficientes, e também materiais que tenham um comportamento térmico adequado ou conveniente as características climáticas da zona na qual será construída a edificação.

Dos objetivos específicos

A contribuição principal é a análise do consumo energético da envolvente arquitetônica em relação ao comportamento térmico provocado pela mesma envolvente, tendo como resultado a necessidade da diminuição da energia incorporada dos materiais que compõem os elementos construtivos, assim como a melhora do comportamento térmico da envolvente a qual está relacionada a as características térmicas dos materiais, contribuindo com a diminuição do impacto energético e ambiental da edificação.

Dos exemplos analisados, o que mostrou menor consumo energético foi o Bloco de concreto e Telhas de fibrocimento. Nos gráficos também é possível observar como também nos casos analisados foram estes materiais o que apresentaram menor consumo energético operacional por comportamento térmico, sendo assim o que se apresentou como o mais eficiente dos casos analisados.

A análise de correlação estatística mostrou uma correlação linear positiva muito forte o que indica que os materiais que apresentaram uma maior energia incorporada, apresentaram também um maior consumo energético. Isto remarca a necessidade de criar materiais com menor consumo energético para sua fabricação e que apresentem um bom comportamento térmico para melhorar o desempenho de estes na fase operacional da edificação.

Por tanto, de acordo aos resultados obtidos e identificando uma correlação entre estas variáveis, concluiu-se que se o objetivo é uma eficiência energética na edificação, é preciso ter materiais eficientes que gerem baixo impacto energético e ambiental na sua manufatura o que contribuirá em edificações eficientes termicamente que também geraram baixo impacto ambiental.

Pelo que dar ênfases as análises de energia incorporada assim como conforto térmico e consumo energético dos materiais levará a uma otimização das variáveis identificando os principais problemas desde a industrialização ate a edificação e operação do edifício visando sempre à eficiência em todas as etapas estudadas.

O exposto anteriormente se traduz em que quanto mais energia se consuma no processo de fabricação, mais energia será requerida para manter confortável o espaço

que é limitado por estes materiais. Isto mostra a importância de por atenção na fabricação dos materiais, tendo como objetivo diminuir a energia na produção dos materiais para construção, uma vez que os resultados obtidos dos exemplos analisados se pode utilizar menos energia para ter espaços mais confortáveis.

5.3 Sugestões em trabalhos futuros

De acordo aos resultados obtidos neste trabalho e as experiências vividas no mesmo se recomendam a seguintes sugestões para futuras pesquisas.

- Aprofundar no estudo a análise dos resultados do comportamento térmico das simulações contra os resultados experimentais em dias típicos, períodos de análise e períodos anuais, obtendo assim um melhor reconhecimento do erro que se possa apresentar entre estas duas.

- Avaliar o consumo térmico e energético nas demais zonas bio-climáticas do Brasil, as quais se especificam nas Normas NBR 15220.

- Avaliar o desempenho luminoso no consumo energético das moradias no período de 40 anos.

- Avaliar a relação das variáveis do consumo de energia inicial e consumo de energia operacional segundo o comportamento térmico da envolvente em edifícios de escritórios.

- Avaliar a eficiência das estratégias bio-climáticas mais citadas na literatura e seu impacto na redução do consumo energético da edificação.

- Avaliar as diferenças dos coeficientes de correlação estatística das variáveis de energia incorporada e consumo energético em diferentes períodos de tempo.

Bibliografia

ADALBERTH, K. *Energy use during the Life Cycle of Buildings: a Method*, Building and Environment, Vol. 32, No. 4, pp. 321-329, Great Britain 1997a.

ADALBERTH, K. *Energy use during the Life Cycle of Single Unit Dwellings: Examples*. Building and Environment, Vol. 32, No. 4, pp. 321-329, Great Britain 1997b.

ALBUQUERQUE A. (2006). *Integração de conceitos bioclimáticos ao projeto Arquitetônico. Filosofia*. Universidade Federal De Santa Catarina. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/publicacoes> .Acesso em: 18 de Maio do 2012

ALCORN, A. *Embodied Energy and Co2 Coefficients For Nz Building Material*. Centre for Building Performance, n. March, 2003.

ARQUITECTURA E INTERIORES. *Proceso de Certificación LEED*. Disponível em: <http://www.aei-col.com/cms/front_content.php?idcat=129>. Acesso em: 28 maio. 2012.

ASHRAE 140. *Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs* Approved by the ASHRAE Standards Committee on June. Atlanta: [s.n.]. Disponível em: <www.ashrae.org/.../2004715124811_347.pdf>. , 2004

ASHRAE 55. *Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2004. v. 2004p. 28

AULICIEMS, A.; SZOLOKAY, S. *Thermal Confort Plea Note 3*. Passive and Low Energy, Architecture International& University of Queensland.1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR15220-1:desempenho térmico de edificações: parte 1: definições, símbolos e unidades*. Rio de Janeiro, 2003.

_____. ABNT NBR 15220-2. 15220-Desempenho térmico de edificações-Parte 2: *Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, p. 1-21, 2003.

_____. ABNT NBR 15220-3. 15220-Desempenho térmico de edificações-Parte 3: *Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações*

unifamiliares de interesse. Associação Brasileira de Normas Técnicas–www. abnt. ..., 2003.

_____. ABNT NBR 15575-1. ABNT 15575 Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 1: *Requisitos Gerais*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, p. 52, 2008.

AROSTEGUI J. (a). *Exigencias mínimas de habitabilidad Térmica*. 1990. I Encontro Nacional do Ambiente Construído (ENCAC). Disponível em: CD do evento.

AROSTEGUI J. (b). *Ayuda al proyectista en sus decisiones tempranas para una arquitectura térmicamente confortable*. II Encontro Nacional do Ambiente Construído (ENCAC). Disponível em: CD do Evento. 1993.

ARINI J. MANSUR A. *Em busca da nova energia*. Revista Época. Edição 571. Editora Globo. Brasil. 2009.

BARDOU P, ARZOUMANIAN V. *Sol y Arquitectura*. Editora Gustavo Gili, S. A., Barcelona 1980.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. *Balanco Energético Nacional 2009 – Ano base 2008: Resultados Preliminares* Rio de Janeiro: EPE, 2009 48 pp. 17 il; 14,8 cm. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br>, Último acesso em: 30/09/2009.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. *Estatística e Análise do Mercado de Energia Elétrica*- Boletim Mensal (mês base dezembro 2007). Rio do Janeiro. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>, Último acesso em: 26/08/2009.

BREEAM. *BREEAM ES*. Disponível em: <<http://www.breeam.es/certificar-proyectos>>. Acesso em: 11 abr. 2012.

BUDYCO M. I. *Climate and life*. International geophysics series 18. Library of Congress. USA. 1974. Disponível em: <http://books.google.com.br>. Último acesso em: 09/10/2009.

CASBEE. *Welcome to the CASBEE web-site!!* Disponível em: <<http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/methodE.htm>>. Acesso em: 16 maio. 2012.

CHUNG, W. *Comparison of two sustainable building assessment tools applied to Holmen project in Stockholm*. Master of Science Thesis, Royal Institute of, p. 1-48, 2005.

ClimateConsultant versão 5.4. <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/>. Acesso em 11 de dezembro do 2012.

Climate Tool 2011 Autodesk. <http://www.autodesk.com.br>. Acesso em 16 abril do 2012.

COLE, J. Green building challenge 2002: *GBTool user manual*. International Initiative for a Sustainable Built, n. February, 2002.

CONCEPT BIO. *HQE® approach*. Disponível em: <<http://www.concept-bio.eu/hqe-approach.php>>. Acesso em: 10 abr. 2012.

DesignBuilder. Características: simulación y diseño. Disponível em: <http://www.designbuilder.es>. Acesso em 11 de Janeiro do 2013

DIXIT, M. K.; FERNÁNDEZ-SOLÍS, J. L.; LAVY, S.; CULP, C. H. *Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review*. Energy and Buildings, v. 42, n. 8, p. 1238-1247, ago 2010.

DOCHERTY, M. e SZOLOKAY S. *Climate Analysis Plea Note 5*. Passive and Low Energy, Architecture International & University of Queensland, 1999.

EGAN, M. D. *Concepts in thermal comfort*. New Jersey, Prentice-Hall Inc. 1975. ISBN 0-13-166447-6.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA-EPE. *Estatística e Análise Do Mercado De Energia Elétrica Boletim Mensal (Mês-Base : Dezembro 2007) Série Estatística E Análise Do Mercado De Energia Elétrica Boletim mensal (mês-base : dezembro 2007)*. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/BoletimMensal/Forms/EPEBoletimMensal.aspx>>. , 2007

Fay, M., Treloar, G., & Iyer-Raniga, U. (2000). *Life-cycle energy analysis of buildings: a case study*. *Building Research & Information*, 28(1), 31–36. Disponível em <http://eprints.utas.edu.au/8219/>. Acesso em 06 Janeiro 2013

FOWLER, K. Sustainable building rating systems summary. Contract, n. July 2006, 2006.

GAZULLA C. *Análisis de ciclo de vida de cuatro sistemas de rehabilitación de cubiertas*. 2005. Disponível em: <http://www.csostenible.net>, Último acesso em: 07/10/2009.

GBC BRASIL. *Green Building Council Brasil*. Disponível em: <<http://www.gbcbrazil.org.br/?p=certificacao>>. Acesso em: 28 maio. 2012.

GEIGER R. ARON R. TODHUNTER P. *The Climate near the ground*. Rowman & Littlefield Publishers Inc. Oxford, United Kingdom. 2003. Disponível em: <http://books.google.com.br>. Último acesso em: 09/10/2009.

GIVONI B. *Solar Control & Shading Devices*. Princeton, N.J.: Princeton University Press. 1957.

GIVONI B. *DESIGN WITH CLIMATE. Bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton, N.J.: Princeton University Press. 1963. ISBN: 84-252-1488-2.

GIVONI B. *Man, Climate and Architecture*. London, Applied Science Publishers LTD, 1976.

GRAF, H. F.; TAVARES, SERGIO FERNANDO. *Energia incorporada dos materiais de uma edificação padrão brasileira residencial*. 1o Congresso de Inovação, Tecnologia e Sustentabilidade, v. 1, 2010.

GRUN, Roberto. *Apagão cognitivo: a crise energética e sua sociologia*. Dados [online]. 2005, vol.48, n.4, pp. 891-928. ISSN 0011-5258. doi: 10.1590/S0011-52582005000400005.

Disponível em: www.scielo.com, Último acesso em: 20/07/2009

HEED. Home Energy Efficient Design. University of California. Disponível em: <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/heed/>. Acesso em: 14 de Janeiro do 2013.

HOLLOWAY, D.; PULLEN, S. *The Environmental Impacts of Residential Development : Case Studies of 12 Estates in Sydney Linkage Partner : Landcom The Environmental Impacts of Residential Development : Case Studies of 12 Estates in Sydney*. . [S.l.: s.n.]. Disponível em: <www.fbe.unsw.edu.au/cf/.../FinalLandcomEnergyandWaterReport.pdf>. , 2007

HOMES, S.; ASSOCIATION, S. H. H. *Sustainable Homes: Embodied Energy in Residential Property Development: a Guide for Registered Social Landlords*. [S.l.]: Hastoe Housing Association, 1999.

HYDE, R. *Climatic Houses*. [S.l.: s.n.], 2008. v. 161p. 477

ICE, E.; PROF, B.; HAMMOND, G. *et al.* *A BSRIA guide Embodied Carbon The Inventory of Carbon and*. BSRIA ed. [S.l.]: University of Bath, 2011.

International Energy Agency (IEA), *Quantifying the Effects of Market Failures in the End-Use of Energy. American Council for Energy Efficient Economy 2006*. Disponível em: http://s3.amazonaws.com/zanran_storage/www.aceee.org/ContentPages/4790329.pdf.

Consultado em: 08 de Agosto de 2011

International Standard Organisation ISO 14040. (2006). ISO 14040 2006. (International Standard, Ed.) (2006th-07-01 ed., Vol. 2006, p. 20). Disponível em: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:ISO+14040#7>. Acesso em: 03 de Janeiro do 2013

ISO 14044. (2006). ISO 14044 2006. (International Standard., Ed.) (2006th-07-01 ed., Vol. 2006, p. 46). Disponível em: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:ISO+14040#7>. Acesso em: 03 de Janeiro do 2013

JOHN, V.M. *Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. São Paulo, 2000. 102p. Tese livre docência – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/>. Último acesso em: 06/10/2009.

JUDKO, R.; NEYMARK, J.; & ASSOCIATES, J. N. *The BESTEST Method for Evaluating and Diagnosing Building Energy Software*. p. 175-192, 2001.

KOTTEN, M., J. GRIESER, C. BECK, B. RUDOLF, AND F. RUBEL, (2006). *World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated*. Meteorol.Z., 15, 259-263

LACOMBA, Ruth. *Manual de Arquitetura Solar*. México: Trillas, 1991. ISBN 968-24-3614-1.

LAMBERTS R. TRIANA M. *Projeto Tecnologias para Construção Habitacional mais Sustentável: Estado da Arte*. 2007. Disponível em: <http://www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br/>. Último acesso em 06/10/2009.

LAFRIG, *Materiais de Construção*. Engenheira Mecânica da Universidade do Rio grande do Sul. <http://www.mecanica.ufrgs.br/lafrig/downloads.htm>. Último acesso em 30 de novembro do 2012.

LEANDRO M. *BioclimaticArchitecture*. Disponível em: <http://www.geocities.com/ResearchTriangle/Facility/8776/indiceE.htm>, Último acesso em: 07/10/2009.

LIBRELOTTO, D.; JALALI, S. *Aplicação de uma Ferramenta de Análise do Ciclo de Vida em Edificações Residenciais* - Estudos de Caso. **International Organization**, v. 30, p. 5-20, 2008.

LICHTENBERG, R. A. *Alta qualidade ambiental aplicada ao projeto de re-habilitação residencial urbana em clima tropical úmido: a ecohouse urca*. [S.l.]: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

LOBO, F. H. R. *Inventário de emissão equivalente de dióxido de carbono e energia embutida na composição de serviços em obras públicas: estudo de caso no estado do paraná*. [S.l.]: Universidade Federal Do Paraná, 2010.

MASCARO, J.; CLARO, A., SHNEIDER, I. (1978) *A evolução dos sistemas de construção com o desenvolvimento econômico: uma visão retrospectiva*. São Paulo FAUSP, Caderno de Pesquisa.

MIGLIEVICH, J. *Eficiência Energética em Edificações, Ações Desenvolvidas*. PROCEL EDIFICA. Junho 2008. Disponível em: www.metodoeventos.com.br, Último acesso em: 08/08/2010.

MONTEIRO, C. A. DE F. (1969) *A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil (contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil)*. Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo. Série Teses e Monografias.

MONTEIRO C. A. DE F. (1973) *A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo*. Laboratório de Climatologia. Instituto de Geografia. Universidade de São Paulo.

MORILLÓN D. *Impacto del cambio ambiental global en el sector residencial*. 1999. Instituto de Ingeniería. UNAM. Disponível em: <http://www2.ine.gob.mx/> Último Acesso em: 05/10/2009

OLGYAY, A.; OLGAY, V. *Solar Control and Shading Devices*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1957. p. 201

OLGYAY, V. *Design With Climate: Bioclimatic approach to Architectural Regionalism*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1963. p. 203

OLGYAY, Victor. *Design With Climate: Bioclimatic Approach to Arquitectural Regionalism*. USA, Princeton University, 1963.

Operador Nacional de Sistema Elétrico (ONS) 2009, Disponível em: <http://www.ons.org.br> Ultimo Acesso em: 26/08/2009.

PINHEIRO, M. D. *Ambiente e Construção Sustentável*. Instituto ed. [S.l.]: Fernandes & Terceiro, 2006. p. 237

PROCEL. *Procel Edifica*. Disponível em: <http://www.eletrobras.gov.br/elb/procel/main.asp?TeamID={A8468F2A-5813-4D4B-953A-1F2A5DAC9B55}>>. Acesso em: 10 ago. 2011.

PROHAB. *Plantas Pré-aprovadas residencial deputado José Zavaglia*. Disponível em: <http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/plantas-pre-aprovadas-residencial-dep-jose-zavaglia.html>>. Acesso em: 23 fev. 2012.

PREFEITURA SÃO CARLOS, *Dados da Cidade*. Disponível em <http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/conheca-sao-carlos/115268-a-cidade-de-sao-carlos.html>, Ultimo acesso em: 21/11/11.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL), Centrais elétricas Brasileiras (Eletrobrás). *Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil, Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso – ano base 2005-, classe residencial relatório Brasil*, Julho 2007, Rio do Janeiro. Disponível em: <http://www.eletrobras.com>, Ultimo acesso em: 27/08/2009.

SECRETARIA NACIONAL DE HABITAÇÃO. *Déficit habitacional no Brasil 2007*. Brasília, 2009 129p MINISTÉRIO DAS CIDADES (MDC), Disponível em: <http://www.cidades.gov.br>, Ultimo acesso em: 02/10/2009.

SLATTER M. E SPERB M. (2000). Environmental Impact analysis of low cost housing in Brazil. Proceedings of Plea 2000, Cambridge, UK. (July 2000), James & James (Science Publishers) Ltd. Disponível em: <http://books.google.com.br>. Acesso em: 11 de Janeiro do 2013.

SZOKOLAY, S. V. *Energía Solar y Edificación*. Editorial ed. Barcelona: [s.n.], 1978. p. 196

RIVERO, Roberto. *Arquitetura e Clima: acondicionamento térmico natural*. Porto Alegre: Luzzato Editores: Ed. Da Universidade, UFRGS, 1985. ISBN 85-7025101-7

REVISTA TÉCHNE. *Avaliação ambiental*. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/133/imprime77962.asp>>. Acesso em: 4 fev. 2012.

RORIRS M. *Arquivo Climático São Carlos*. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <http://www.labeeee.ufsc.br>. Acesso em 19 dezembro 2012

SZOKOLAY, S. V. *Energía Solar y Edificación*. Barcelona, Editorial Blume, 1978. ISBN 84-7031-062-3

TAVARES, S.F., LAMBERTS, R. *Consumo de energia para construção, operação e manutenção das edificações residenciais no Brasil*. ENCAC-ELACAC.pp. 2037-2045 Alagoas, Brasil. Outubro, 2005.

TAVARES, SERGIO F; LAMBERTS, R. *Manutenção das edificações residenciais no Brasil*. n. 1, p. 2037-2045, 2005.

TAVARES, SERGIO FERNANDO. *Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras*. [s.l.]: Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

TRELOAR, G. J. *A comprehensive embodied energy analysis framework. Framework*. [S.l.]: Faculty of Science and Technology, Deakin University. Disponível em: <<http://www.deakin.edu.au/dro/eserv/DU:30023444/treloar-comprehensiveembodied-1998.pdf>>. Acesso em: 11 maio. 2011. , 1998

TCPO, *Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos*.-13 .ed.- São Paulo: Pini, 2008.

TOMASQUIM, Mauricio. *As origens da crise energética brasileira*. *Ambient.soc.* [online].2000, n.6-7, pp. 179-183. ISSN 1414-753X. doi: 10.1590/S1414-753X2000000100012.

Disponível em: www.scielo.com, Consultado em: 20 de Julho de2009.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). *International Energy Outlook 2011*. Disponível em: <http://www.eia.gov/forecasts/ieo/more_highlights.cfm#world>. Acesso em: 14 fev. 2012.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. *What LEED Is?* Disponível em: <<http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=1988>>. Acesso em: 28 maio. 2012.

VANDERLEY M. JOHN. *Critérios de sustentabilidade para seleção de materiais e componentes-uma perspectiva de sustentabilidade para países em desenvolvimento*. Disponível em: <<http://pcc2540.pcc.usp.br/Links.htm>>. Acesso em: 23 ago. 2011.

VECCHIA, F. *Clima e Ambiente Construído. Abordagem Dinâmica Aplicada ao Conforto Humano*, Brasil, Tese USP, 1997.