

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

BRUNA MELO PATURY ACCIOLY

**IMPACTO ECONÔMICO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA A UM
EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM MACEIÓ, AL**

Maceió-Al
2013

BRUNA MELO PATURY ACCIOLY

**IMPACTO ECONÔMICO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA A UM
EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM MACEIÓ, AL**

Dissertação de mestrado, apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, como requisito final para obtenção do grau de mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Salazar
Bittencourt

Maceió-AL
2013

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Fabiana Camargo dos Santos

- A171i Accioly, Bruna Melo Patury.
Impacto econômico da eficiência energética aplicada a um edifício residencial em Maceió, AL / Bruna Melo Patury Accioly. – 2013.
161 f. : il.
- Orientador: Leonardo Salazar Bittencourt.
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo : Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2013.
- Bibliografia: f. 136-144.
Apêndices: f. 145-155.
Anexos: f. 156-161.
1. Eficiência energética. 2. Edifícios residenciais – Consumo energético.
3. Edifícios residenciais – Avaliação de custos. I. Título.

CDU: 728.22:621.316

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Bruna Melo Patury Accioly

**IMPACTO ECONÔMICO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
APLICADA A UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM MACEIÓ, AL**

Dissertação de mestrado, apresentada
ao Programa de Pós-Graduação de
Arquitetura e Urbanismo da Faculdade
de Arquitetura e Urbanismo da
Universidade Federal de Alagoas,
como requisito final para obtenção do
grau de mestre em Arquitetura e
Urbanismo.

APROVADA em / / 2013

BANCA EXAMINADORA



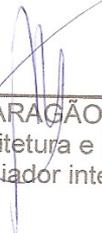
Prof. Dr. LEONARDO SALAZAR BITTENCOURT
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL
Orientador



Prof. Dr. MARCELO BEZERRA DE MELO TINOCO
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFRN
Avaliador externo



Prof. Dra. GIANNA MELO BARBIRATO
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL
Avaliadora interna



Prof. Dr. AUGUSTO ARAÇÃO DE ALBUQUERQUE
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL
Avaliador interno

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas providências tão claras em minha vida.

Aos meus pais, por toda dedicação, amor e confiança incondicionais.

Aos meus irmãos, pela presença sempre alegre.

Ao Zé, meu companheiro de todos os momentos. Agradeço o amor sincero e o incentivo em cada passo dessa caminhada.

A minha doce Vó Mel, por todo carinho.

A toda minha família, minha fortaleza.

Ao vovô Itinho (*in memoriam*), exemplo de companheiro, sempre orgulhoso dos netos.

A minha querida vó Maria (*in memoriam*), pela presença tão marcante em minha vida, ensinou-me a ter pressa em ser feliz. Saudade eterna.

A família do Zé, que já considero minha, por todo incentivo.

Ao meu orientador e incentivador, professor Léo, pela confiança, pelo carinho, por todo conhecimento compartilhado.

A professora Juliana Oliveira, por toda ajuda e paciência com tantas dúvidas nas simulações do *EnergyPLus*.

Ao grupo GECA, pelo acolhimento e troca de conhecimento.

Aos que fazem parte da Construtora Delman Sampaio, pela colaboração essencial para realização desta pesquisa.

Aos professores da banca avaliadora que enriqueceram o trabalho com as observações durante o processo de elaboração da pesquisa.

A CAPES, pelo apoio financeiro.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para realização deste trabalho.

RESUMO

O crescente consumo de energia per capita e os impactos no consumo de recursos para sua geração têm afetado todos os países. Sabe-se que as edificações representam hoje em torno de 40% da energia primária consumida no mundo. No Brasil as edificações do setor residencial são responsáveis por 23,9% do consumo. A eficiência energética pode ser adotada em projetos de edificações a fim de evitar desperdícios sem comprometer as condições ambientais adequadas ao conforto do usuário. Nos anos de 2009 e 2010, foram aprovados respectivamente, o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e o Regulamento de Edifícios Residenciais (RTQ-R). As regulamentações estabelecem uma classificação para o nível de eficiência energética de edifícios de forma a obter a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Os níveis de eficiência variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). O objetivo desta dissertação é avaliar qual o acréscimo nos custos de construção de um edifício residencial em Maceió, considerando medidas de conservação de energia aplicadas à envoltória, assim como a viabilidade do investimento. Como metodologia, adotou-se uma pesquisa documental para a definição de um edifício residencial que se constituísse em um estudo de referência e o método prescritivo do RTQ-R para a avaliação do nível de eficiência energética deste. Com base nas estratégias bioclimáticas recomendadas para a cidade de Maceió, modificações projetuais para conservação de energia foram propostas e avaliadas. Aquelas que mais elevaram o nível de eficiência da edificação foram incorporadas ao projeto original, resultando no “caso 4” com nível “A” de eficiência energética, mesmo com um sistema de aquecimento da água nível “D”. As propostas de alterações na envoltória foram quantificadas e ajustadas na planilha orçamentária do edifício a fim de se encontrar o investimento inicial necessário para sua implantação. Os consumos anuais de energia foram obtidos por meio de simulações computacionais utilizando o software *EnergyPlus*. Foram efetuados cálculos do Período de Retorno (*Pay-back*) e do Custo de Energia Conservada (CEC), que são indicadores de análise de custos. Considerando as características construtivas dos edifícios residenciais da cidade de Maceió, conclui-se que realmente há um aumento de custos de construção. Porém, tal investimento é considerado vantajoso, pois representa apenas 1,2% do orçamento original, valor considerado baixo e facilmente absorvido pelo mercado imobiliário. Além disso, os indicadores de custos apontaram a viabilidade do investimento em todos os cenários simulados, visto que, além de elevar a classificação para o nível “A”, as alterações adotadas no projeto proporcionaram considerável economia de energia elétrica ao edifício. Nesse sentido, a regulamentação para etiquetagem de edificações, tem um reflexo positivo, na medida em que possibilita o consumidor a optar por soluções mais eficientes, principalmente em um momento em que a sociedade está assimilando haver um limite de exploração dos recursos energéticos, assim como os impactos ambientais, sociais e econômicos que esta exploração pode causar.

Palavras-chave: Eficiência energética. Edifícios residenciais. Avaliação de custos.

ABSTRACT

The increasing energy consumption per capita and the impacts on resource consumption for their generation have affected all countries. It is known that the buildings now represent around 40% of the primary energy consumed in the world. In Brazil the residential buildings sector accounts for 23.9% of consumption. Energy efficiency can be adopted in the design of buildings to avoid wastage without compromising the environmental conditions suitable for user comfort. In the years 2009 and 2010 the Technical Regulation on Quality Level Energy Efficiency of Commercial Buildings, and Public Services (RTQ-C) and Regulation of Residential Buildings (RTQ-R) were approved. The regulations establish a rating for the level of energy efficiency of buildings in order to get the Label National Energy Conservation (ENCE). The levels of efficiency varies from A (more efficient) to E (less efficiently). The objective of this dissertation is to evaluate the increase in construction costs of a residential building in Maceió, considering energy conservation measures applied to the envelope as well as the viability of the investment. The methodology adopted was a documentary research for the definition of a residential building that constituted a landmark study and the prescriptive method of RTQ-R to assess its level of energy efficiency. Based on bioclimatic strategies recommended to the city of Maceió, modifications for energy conservation are proposed and evaluated. Those that more increased the efficiency level of the building were incorporated into the original design, resulting in "case 4" with "A" level of energy efficiency, even with a heating system water level "D". The proposed changes in the envelope were quantified and adjusted in the budget worksheet the building in order to find the initial investment required for its implementation. The annual consumption of energy was obtained through computer simulations using the software *EnergyPlus*. Calculations were made of Period Return (*Pay back*) and Cost of Conserved Energy (CEC), which are indicators of cost analysis. Considering the constructive characteristics of residential buildings in the city of Maceió, it is concluded that there is an increase in construction costs. However, such an investment is considered advantageous because it represents only 1.2% of the original budget, considered low value and easily absorbed by the housing market. Moreover, the cost indicators showed the feasibility of investment in all simulated scenarios, since in addition to raise the rating to "A" level, the changes adopted in the project provided considerable energy savings to the building. Accordingly, the regulation for labeling of buildings has a positive effect, in that it allows the consumer to choose more efficient solutions, especially at a time when society is assimilating be a limit exploitation of energy resources, as well as the environmental, social and economic exploitation that this may cause.

Keywords: Energy efficiency. Residential buildings. Cost evaluation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplos de edificações com pele de vidro em Maceió.....	17
Figura 2 - Exemplo de proteção solar com cobogós e brises horizontais	28
Figura 3 - Detalhe construtivo de um teto verde.....	31
Figura 4 - Centro de Educação Ambiental Votorantim - MG, de Siegbert Zanettini ..	31
Figura 5 - Carta bioclimática de Olgyay e carta adotada para o Brasil.....	34
Figura 6 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro	36
Figura 7 - Localização de Maceió no Estado de Alagoas.....	37
Figura 8 - Rosa dos ventos – frequência e velocidade dos ventos para Maceió.....	39
Figura 9 - Carta bioclimática para as cidades litorâneas do nordeste do Brasil, considerando atividade sedentária e roupas de verão. Adaptada por Bittencourt (1993) a partir do método de Szokolay.	40
Figura 10 - Carta Bioclimática com estratégias indicadas para Maceió	41
Figura 11 - Croqui da incidência do vento em uma edificação, indicando a zona de pressão positiva e a zona de pressão negativa.....	43
Figura 12 - Efeitos da localização das aberturas em paredes opostas, exemplos de ventilação cruzada	44
Figura 13 - Exemplos de três tipos de ENCE.....	53
Figura 14 - Maquete eletrônica do edifício Índico	72
Figura 15 - Localização do Edifício Índico, bairro de Jatiúca	73
Figura 16 - Oferta de vendas de apartamentos por bairro – dezembro/2010	74
Figura 17 - Edifício com revestimento preto nas fachadas “camuflando” as janelas – Edifício Castel Del Mar	77
Figura 18 - Planta de locação e cobertura do edifício Índico	78
Figura 19 - Pilotis do edifício Índico – material de divulgação	79
Figura 20 - Planta baixa do pavimento tipo do edifício Índico	80
Figura 21 - Tabela de preços de venda dos apartamentos do edifício Índico – variação de preço de acordo com a orientação (unidades habitacionais do 9º pavimento)	81
Figura 22 - Ilustração esquemática da determinação do equivalente numérico da edificação multifamiliar	84
Figura 23 - Planta baixa de um apartamento tipo do edifício Índico	85

Figura 24 - Pré-requisitos de absorvância solar, transmitância e capac. térmica	86
Figura 25 - Percentual de áreas mínimas para ventilação em relação à área de piso do ambiente.....	87
Figura 26 - Resumo dos pré-requisitos da envoltória	87
Figura 27 - Planilha de cálculo do desempenho da envoltória	88
Figura 28 - Pontuação para bonificações	90
Figura 29 - Procedimento inicial de simulação das MCE, contendo 2 blocos	92
Figura 30 - Zonas térmicas da modelagem do edifício Índico	96
Figura 31 - Conta de energia de um apartamento localizado na Jatiúca – preço da tarifa de energia elétrica	100
Figura 32 - Planta baixa do pavimento tipo: ambientes de permanência prolongada avaliados	102
Figura 33 - Frequência das ventilações predominantes de Maceió (sul, sudeste, leste e nordeste) durante as estações do ano. Adaptação da figura 08, da seção 1.1.2.2 da revisão bibliográfica desta dissertação	108
Figura 34 - Planta baixa do pavimento tipo com indicações das esquadrias modificadas	110
Figura 35 - Planta baixa do pavimento tipo indicando as alterações 1, 2 e 3 relacionadas à área de abertura para ventilação natural	113
Figura 36 - Foto e desenho esquemático do modelo de brise móvel sugerido como MCE para as suítes principais e suítes opcionais do edifício Índico	115
Figura 37 - Exemplo de telha termo-acústica sugerida como MCE para o edifício Índico.....	115
Figura 38 - Comparação entre as fach. leste do “Projeto Original” e do “Caso 4”...	120
Figura 39 - Comparação entre as fach. norte do “Projeto Original” e do “Caso 4” ..	120
Figura 40 - Comparação entre as fach. oeste do “Projeto Original” e do “Caso 4”..	121
Figura 41 - Modelo tridimensional criado no Google SketchUp (versão 8), do 1º pavimento, pavimento tipo e cobertura do “Modelo original”	127
Figura 42 - Modelo tridimensional criado no Google SketchUp (versão 8), do 1º pavimento, pavimento tipo e cobertura do “Caso 4”	127

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição do consumo de eletricidade por setores da economia.....	16
Gráfico 2 - Normais Climatológicas (temperatura do ar)	38
Gráfico 3 - Normais Climatológicas (Umidade)	38
Gráfico 4 - Quantidade de unidades habitacionais por pavimento dos edifícios analisados	76
Gráfico 5 - Ocorrência dos materiais de revestimento nas fachadas dos edifícios analisados	76
Gráfico 6 - Forma dos edifícios analisados (predominantemente horizontal, predominantemente curva e predominantemente ortogonal).....	76
Gráfico 7 - Nível de eficiência energética das envoltórias das Unid. Habitacionais	106
Gráfico 8 - Nível de eficiência da UH's (EqNumAA=2)	107
Gráfico 9 - Nível de eficiência da UH's (EqNumAA=5)	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Absortividade em função da cor	23
Tabela 2 - Condutividade de alguns materiais	24
Tabela 3 - Equivalente Numérico (EqNum) para cada nível e eficiência.....	56
Tabela 4 - Modelo de Planilha Orçamentária padrão	65
Tabela 5 - Ofertas, vendas e IVV por área útil – dezembro/2010.....	74
Tabela 6 - Trecho da tabela com as informações dos edifícios residenciais aprovados na SMCCU nos anos de 2008, 2009 e 2010	75
Tabela 7 - Média do Índice Nac. da Construção Civil do IBGE nos últimos 5 anos ..	99
Tabela 8 - Especificações de materiais do edifício residencial Índico	101
Tabela 9 - Análise de pré-requisitos - propriedades térmicas da envoltória do edifício residencial Índico.....	103
Tabela 10 - Análise de pré-requisitos - abertura mínima para ventilação natural ...	104
Tabela 11 - Análise de pré-requisitos - ventilação cruzada	104
Tabela 12 - Análise de pré-requisitos - abertura mínima para iluminação	105
Tabela 13 - Percentual de área de aber. de acordo com a tipologia da esquadria .	109
Tabela 14 - Modificações para atendimento ao pré-requisito de abertura mínima para ventilação	111
Tabela 15 - Modificações para atendimento ao pré-requisito de abertura mínima para iluminação	111
Tabela 16 - Modificações em aberturas para ventilação natural	114
Tabela 17 - Propriedades térmicas dos mat. construtivos sugeridos como MCE....	116
Tabela 18 - Resumo dos resultados dos “Blocos” de avaliações da envoltória do edifício Índico	119
Tabela 19 - Resumo dos resultados dos “Blocos” de avaliações Nível de Eficiência Energética da Edificação Multifamiliar “edifício Índico”	119
Tabela 20 - Itens da planilha orçamentária do edifício Índico, discriminados com suas respectivas participações no custo total.....	122
Tabela 21 - Intervenção na planilha orçamentária do edifício Índico no item “Paredes e painéis”	122
Tabela 22 - Intervenção na planilha orçamentária do edifício Índico no item “Revestimento de parede”	124

Tabela 23 - Intervenção na planilha orçamentária do edifício Índico no item “Esquadria de alumínio”	124
Tabela 24 - Intervenção na planilha orçamentária do ed. Índico no item “Pinturas”	125
Tabela 25 - Intervenção na planilha orçamentária do edifício Índico – acréscimo do item “brises móveis”	125
Tabela 26 - Valores totais, acrescidos e subtraídos, com a intervenção na planilha orçamentária do edifício Índico.....	126
Tabela 27 - Consumo anual de energia elétrica dos modelos simulados para cada cenário	128
Tabela 28 - Cálculo do Custo da Energia Conservada (CEC).....	129
Tabela 29 - Cálculo do tempo de retorno do investimento em MCE (Pay-back simples) considerando a tarifa de R\$ 0,50/kWh	130
Tabela 30 - Cálculo do tempo de retorno do investimento em MCE (Pay-back simples) considerando a tarifa de R\$ 0,42/kWh	130

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

BDI - Benefício e Despesas Indiretas

CA - Indicador de Consumo Relativo para Aquecimento

CCV - Custo do Ciclo de Vida

CEC - Custo de Energia Conservada

CR - Indicador de Consumo Relativo para Refrigeração

CUB - Custo Unitário Básico

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

F_s - Fator Solar

EqNumAA - Equivalente Numérico do sistema de Aquecimento de Água

EqNumAmb - Equivalente Numérico do Ambiente

EqNumEnv - Equivalente Numérico da Envoltória

EqNumEnvA - Equivalente Numérico da Envoltória para Aquecimento

EqNumEnvResfr - Equivalente Numérico da Envoltória para Resfriamento

EqNumUH - Equivalente numérico da Unidade Habitacional

GHR - Indicador de Graus Hora para Resfriamento

GLP - Gás Liquefeito de Petróleo

GN - Gás Natural

INCC – Índice Nacional da Construção Civil

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IVV - Índice de Velocidade de Vendas

LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

MCE - Medidas de Conservação de Energia

PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem

PMCMV - Programa Minha Casa Minha Vida RAC-R - Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

R_{se} - Resistência Superficial Externa

R_{si} - Resistência Superficial Interna

RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais

RTQ-C - Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

SINDUSCON/AL - Sindicato da Indústria da Construção Civil de Alagoas

SMCCU - Superintendência Municipal de Controle do Convívio Urbano

TCC - custo da MCE (R\$)

Tn - Temperatura neutra

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

UH - Unidade Habitacional Autônoma

ZB - Zona Bioclimática

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1 REFERENCIAL TEÓRICO	20
1.1 Eficiência energética em edificações	20
1.1.1 A influência da envoltória na eficiência energética do edifício.....	22
1.1.1.1 Fechamentos opacos	22
1.1.1.2 Fechamentos transparentes	25
1.1.1.3 Dispositivos de proteção solar.....	27
1.1.1.4 Coberturas.....	29
1.1.2 Arquitetura bioclimática e eficiência energética	32
1.1.2.1 Zoneamento bioclimático brasileiro	35
1.1.2.2 Perfil climático e estratégias bioclimáticas para a cidade de Maceió	37
1.1.2.3 Ventilação e sombreamento	42
1.2 Regulamentação para eficiência energética de edificações	46
1.2.1 Caracterização do setor residencial	49
1.2.2 Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética	52
1.2.2.1 Avaliação da envoltória	54
1.2.2.2 Avaliação do sistema de aquecimento de água	57
1.2.2.3 Bonificações	58
1.2.2.4 Avaliação das áreas de uso comum.....	58
1.3 Avaliação econômica	59
1.3.1 Medidas de Conservação de Energia (MCE)	60
1.3.2 Custo de construção de edificações e Planilha Orçamentária	62
1.3.3 Indicadores de Custos	66
2 METODOLOGIA	71
2.1 Escolha e caracterização do edifício residencial multifamiliar	72
2.1.1 O Edifício Residencial Índico.....	77
2.2 Avaliações do nível de eficiência energética	82
2.2.1 RTQ-R: método prescritivo	83
2.2.1.1 Classificação do nível de eficiência da envoltória	83
2.2.1.1.1 Pré-requisitos para avaliação da envoltória.....	85

2.2.1.1.2 Determinação do EqNumEnv	88
2.2.1.1.3 Bonificações	90
2.2.2 Simulação das Medidas de Conservação de Energia	91
2.3 Avaliação econômica	92
2.3.1 Impacto nos custos de construção	93
2.3.2 Indicadores de custos.....	93
2.3.2.1 Dados utilizados nas equações do Pay-back e do CEC	94
2.3.2.1.1 Valor do investimento em MCE	94
2.3.2.1.2 Energia economizada pela implementação das MCE	94
2.3.2.1.2.1 Simulação computacional	95
2.3.2.1.3 Vida útil das MCE	98
2.3.2.1.4 Taxa de desconto em base anual	99
2.3.2.1.5 Preço da tarifa de energia elétrica	99
3 RESULTADOS	101
3.1 Avaliações de eficiência energética – Método prescritivo do RTQ-R	101
3.1.1 Diagnóstico do edifício Índico.....	101
3.1.2 Estratégias projetuais como Medidas de Conservação de energia	109
3.2 Avaliação econômica	121
3.2.1 Impacto nos custos de construção	122
3.2.2 Energia economizada pela implementação das MCE	126
3.2.3 Cálculo dos indicadores de custos	129
CONSIDERAÇÕES FINAIS	132
REFERÊNCIAS	136
APÊNDICE	145
ANEXOS	156

INTRODUÇÃO

Em 1973 a crise do petróleo¹ alertou muitos governos sobre os riscos da falta deste recurso, que é a base da produção de energia em vários países. Discursos sobre as limitações dos recursos naturais e sobre a poluição ambiental, causada pela produção de energia a partir de combustíveis fósseis, motivaram a busca por fontes alternativas para a manutenção da crescente demanda por energia elétrica.

O setor da construção civil é uma das áreas com potencial para combater o desperdício energético, visto que as edificações representam em torno de 40% da energia primária consumida no mundo e que a adoção de práticas sustentáveis pode contribuir para reduzir os impactos ambientais (PROCEL, 2009).

Dentre os conceitos que compõem uma edificação sustentável, destaca-se a racionalização do uso da energia por meio da eficiência energética. Esta é adotada em projetos de edificações a fim de evitar desperdícios sem comprometer as condições ambientais adequadas ao conforto do usuário. Segundo Mascaró; Mascaró (1992), caso fossem adotadas estratégias bioclimáticas adequadas, 20 a 30% da energia consumida nos edifícios seriam suficientes para seu funcionamento.

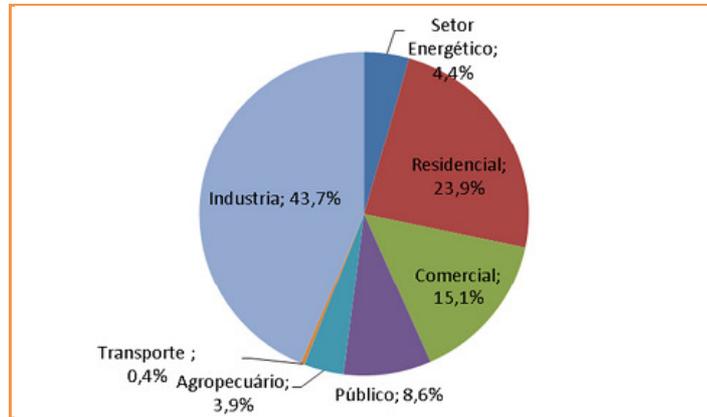
No Brasil dados recentes mostram que do total do consumo de energia elétrica, apenas as edificações do setor residencial são responsáveis por 23,9% (ver gráfico 1). Perdem apenas para o setor industrial, que representa 43,7% do consumo total, enquanto os setores comercial e público respondem a 15,1% e 8,6% respectivamente (BRASIL, 2010b).

Ainda que o setor industrial seja o que mais consome energia elétrica, ao se comparar a estrutura de uma indústria com a de uma residência, constata-se que, proporcionalmente, a residência tem um consumo de energia muito alto. Por outro

¹Período de desenfreado crescimento do preço do barril do petróleo no mercado mundial, devido a vários conflitos envolvendo os países membros da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) e Israel, determinando uma forte recessão e endividamento mundial. (SCHIPPER; MEYERS, 2005).

lado, o setor residencial é visto por pesquisadores e técnicos como um segmento com possibilidades significativas de conservação.

Gráfico 1 - Distribuição do consumo de eletricidade por setores da economia



Fonte: BRASIL, 2010b

No que diz respeito às fontes de energia, a matriz elétrica brasileira está montada majoritariamente sobre hidrelétricas (BRASIL, 2010b), que tem como vantagem a transformação limpa de um recurso energético natural. Porém, sabe-se que os locais que viabilizam a implantação de novas usinas hidrelétricas são limitados. Além disso, a construção de novas unidades causa impactos ambientais, sociais e econômicos. Possíveis inundações, deslocamento de populações, investimentos governamentais (nestes projetos e com energia desperdiçada) que poderiam ser redirecionados para necessidades mais urgentes, são alguns exemplos.

Esse quadro, aliado à constatação de que investimentos para proporcionar o uso eficiente de energia são inferiores àqueles destinados à ampliação da geração de energia (HORTA, 2007 *apud* KLUSENER, 2009), torna evidente a necessidade de conservação.

Após a crise de abastecimento de energia no ano de 2001 uma nova postura em relação ao consumo de energia começou a ser adotada no Brasil. Ocorreram iniciativas na esfera de legislações como a promulgação da Lei n.º 10.295, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (BRASIL, 2001a). O Decreto n.º 4059 (BRASIL, 2001b) regulamentou esta

Lei estabelecendo “níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética” e apontou a necessidade de “indicadores técnicos e regulamentação específica” para níveis de eficiência energética.

Em 2009 a Portaria nº 163 do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO (BRASIL, 2009), aprovou o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C. Já o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais - RTQ- R foi lançado em novembro de 2010 (PROCEL, 2010). A regulamentação estabelece uma classificação para o nível de eficiência energética de edifícios de forma a obter a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Os níveis de eficiência variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente).

Apesar das iniciativas do governo brasileiro e da contribuição de especialistas, ainda não se percebe o envolvimento dos usuários e dos profissionais do setor da construção civil de Maceió com o tema. Na cidade, podem ser encontrados exemplos de desperdício de energia elétrica proporcionado por projetos inadequados ao clima. Exemplo disso são os famosos edifícios em pele de vidro, que provavelmente tomaram como modelos partidos arquitetônicos de regiões climáticas distintas (ver figura 1).

Figura 1 - Exemplos de edificações com pele de vidro em Maceió



(a)

(b)

(c)

Fontes: (a) <http://maceio.olx.com.br/imperdivel-vendo-edf-port-ville-ii-quarto-e-sala-iid-146125961> (b) <http://imovelemalagoas.com/?mod=imoveis> e (c) <http://brazil-traveler.blogspot.com.br/2011/04/maceio-alagoas-hotel-brisa-tower.html>

O relatório do Programa de Eficiência Energética em Construções indicou que os principais motivos que impedem o crescimento das construções sustentáveis são comportamentais, organizacionais e financeiros. Aponta principalmente diferença de custos em relação às edificações convencionais (WBCSD, 2007).

Provavelmente, a aparente falta de investimentos em edificações energeticamente eficientes se deva aos mesmos motivos. Enquanto não é interessante para os investidores absorver um aumento nos custos de implantação, os consumidores tendem a optar pelas ofertas com menores preços de aquisição. De acordo com Spirn (1995) uma das características das ações humanas é a preferência por retornos em curto prazo em vez de benefícios em longo prazo.

Diante do exposto fica evidente a necessidade de se reduzir o consumo de energia, assim como o entrave que o aumento inicial dos custos representa na disseminação de uma arquitetura energeticamente eficiente. Mas, qual o custo real de um edifício residencial que contempla a questão da eficiência energética, em Maceió? E qual o tempo de retorno deste investimento?

No atual contexto de construção nacional de procedimentos para obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia, é importante que as estratégias de concepção arquitetônica sejam investigadas em conjunto com as condições econômicas para sua obtenção. Assim, esta dissertação tem por objeto a relação entre o nível de eficiência energética de um edifício residencial e o custo de medidas construtivas para conservação de energia definidas na fase de projeto arquitetônico.

Estima-se, com os resultados, contribuir com a arquitetura local, incentivando projetos de edificações mais adaptadas ao clima e com maior eficiência energética. Além do envolvimento dos profissionais e investidores, os usuários, por meio da etiquetagem, têm a possibilidade de interagir com o tema optando por edificações com menor consumo de energia.

OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta dissertação é avaliar o acréscimo nos custos de construção de um edifício residencial, em Maceió, considerando medidas de conservação de energia aplicadas à envoltória.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar estratégias projetuais como Medidas de Conservação de Energia (MCE) para a envoltória de um edifício residencial;
- Identificar o tempo de retorno financeiro de investimentos em MCE.

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este documento compõe-se de 3 seções:

Seção 1: apresentação da síntese da revisão bibliográfica realizada, a qual constitui o referencial teórico necessário para o desenvolvimento da pesquisa;

Seção 2: apresentação da metodologia proposta;

Seção 3: apresentação e discussão dos resultados da pesquisa, considerando-se os objetivos propostos;

Seção 4: Considerações finais, de acordo com os resultados encontrados, assim como recomendações para futuros estudos.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

Diante da problemática exposta, referente aos impactos causados pela geração de energia, fica evidente que uma solução eficaz, inclusive do ponto de vista econômico, é consumir menos sem abdicar do conforto. Isso significa aumentar a eficiência energética dos equipamentos que usam a energia, no caso da arquitetura, aumentar a eficiência do edifício (LOMARDO, 2011). Esta seção apresenta um referencial teórico fundamental para a compreensão do tema e para o desenvolvimento desta dissertação.

1.1 Eficiência Energética em Edificações

A eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo energético (LAMBERTS *et al.*, 2004).

De acordo com Meier *et al.* (2002), acredita-se que um edifício energeticamente eficiente deve conter elementos de três categorias:

- 1- Tecnologias energeticamente eficientes que, quando operadas corretamente, vão reduzir efetivamente o consumo de energia. Em um clima frio, por exemplo, uma edificação energeticamente eficiente deve aproveitar a insolação.
- 2- Fornecer os recursos e propriedades adequados para atender sua função. Um edifício de escritórios, por exemplo, deve fornecer cerca de 60 horas por semana de ar condicionado adequado, iluminação e equipamentos.
- 3- A edificação deve ser operada de modo eficaz. A evidência desta operação é o baixo uso de energia em relação a outros edifícios semelhantes.

Ressalta, porém, que um edifício eficiente pode não se destacar em todos esses três aspectos, mas deve compensar um valor "médio" em um aspecto, com "excelentes" valores nos outros.

Em outras palavras, o consumo de energia em edificações depende tanto dos sistemas e equipamentos que utilizam diretamente a energia para funcionar, como iluminação e ar condicionado, quanto de aspectos que interferem nestes sistemas, como as características da envoltória da edificação (CARLO, 2008a). Aqui será abordado principalmente o último aspecto, pois estas características correspondem às variáveis projetuais que estão diretamente relacionadas à prática arquitetônica.

A edificação contribui para o consumo de energia por meio das trocas térmicas entre o ambiente interno e externo. Fatores como a forma do edifício, a orientação das fachadas, as cores da envoltória, as propriedades térmicas de materiais construtivos, o tamanho, locação e o sombreamento das aberturas configuram-se como variáveis importantes no seu desempenho térmico e no consumo final de energia (GIVONI, 1994).

Não considerar tais fatores em um projeto pode representar grandes perdas ou ganhos térmicos. Um exemplo, ilustrado anteriormente (figura 1), é o uso de fachadas com "pele de vidro" sem proteção solar, em regiões de clima quente-úmido. O comportamento térmico deste tipo de fachada pode gerar desconforto ao usuário. O vidro comum, exposto ao sol, permite a passagem de radiação de solar aquecendo os elementos em seu interior que, por sua vez reemitem o calor em forma de ondas longas. Este calor fica retido e provoca a elevação da temperatura interior. Em tais situações, recorre-se frequentemente a utilização do ar condicionado, elevando o consumo de energia elétrica.

Dessa forma, é imprescindível o conhecimento da trajetória do sol para a definição do partido arquitetônico e especificação de materiais do projeto, a fim de se tratar de forma seletiva os fechamentos da envoltória. Destaca-se também a importância do conhecimento dos materiais de construção e das leis básicas de transferências de calor para que a edificação se adapte às variações climáticas do local onde está inserida.

1.1.1 A influência da envoltória na eficiência energética do edifício

De acordo com o RTQ-R, a envoltória de uma edificação pode ser definida como um conjunto de planos que separam o ambiente interno do externo, tais como fachadas, empenas, cobertura, aberturas, assim como outros elementos que os compõem. Ela pode ser entendida como a pele da edificação. Em geral, pisos e paredes em contato com o solo, no caso de ambientes localizados no subsolo (garagens e depósitos, por exemplo), são considerados partes da envoltória, entretanto, não entram na definição do RTQ-R.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2004), deve-se considerar todos os fatores que intervêm na questão das trocas de energia (luz e calor) entre os meios externo e interno através da envoltória, também denominada por outros autores como “membrana” ou “envelope”. As características dos elementos que compõem a envoltória são o ponto de partida para a determinação da eficiência energética e para a necessidade de sistemas como de aquecimento ou resfriamento. Os fechamentos transparentes e opacos que compõem a envoltória, por exemplo, se distinguem principalmente pela capacidade ou incapacidade de transmitir radiação solar para o ambiente interno.

Portanto, quando se trata da influência da envoltória na eficiência energética de edifícios, é fundamental que se atente para aspectos como a transmissão de calor entre os meios externo e interno, o comportamento térmico dos materiais e a relação da edificação com as variáveis climáticas locais.

1.1.1.1 Fechamentos Opacos

Numa edificação, sabe-se que a transmissão de calor acontece quando há diferença de temperatura entre as superfícies interior e exterior e que o sentido do fluxo é da mais quente para a mais fria. Essa transmissão de calor pode

acontecer por condução, convecção, radiação e condensação. Lamberts, Dutra e Pereira (2004) subdividem esse fenômeno em três fases:

1ª fase – Troca de calor com o meio exterior:

Nesta fase a superfície externa recebe calor do meio por convecção e radiação. A temperatura da superfície é incrementada em uma proporção que depende da resistência superficial externa (R_{se}), cujo valor é em função da velocidade do vento. Parte da radiação incidente será refletida e outra parte absorvida, dependendo respectivamente da refletividade (ρ) e da absortividade (α) dos materiais.

No RTQ-R a absortividade, ou absortância, quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre ela, é utilizada apenas para elementos opacos, com ou sem revestimento externo de vidro. Esta propriedade geralmente se relaciona à cor da superfície e uma lista de absortâncias para algumas cores e materiais pode ser encontrada no anexo A da NBR 15220-2.

De acordo com a tabela 1, um material com superfície em cor escura, por exemplo, pode ter uma absortividade de 0,7 a 0,9, significando que de 70% a 90% da energia incidente será absorvida para o interior do edifício e de 30% a 10% será refletida.

Tabela 1 - Absortividade em função da cor

Cores	α
Escuras	0,7 a 0,9
Médias (tijolos)	0,5 a 0,7
Claros	0,2 a 0,5

Fonte: adaptada de LAMBERTS et al, 2004

2ª fase – Condução através do fechamento:

A diferença de temperatura entre as superfícies externa e interna ocasiona uma troca de calor entre as duas. Esta troca térmica se dá por condução,

que acontece por contato entre moléculas dos corpos, geralmente entre os sólidos. O fluxo de calor pelo material depende da condutividade térmica (λ) propriedade relacionada à densidade do material e representa a capacidade de transmitir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo. A tabela 2 expõe o valor da condutividade térmica de alguns materiais, quanto maior a condutividade, maior o calor transmitido entre as superfícies.

Tabela 2 - Condutividade de alguns materiais

Material	Λ (W/mK)
Concreto	1,50
Tijolo	0,65
Madeira	0,14
Isopor	0,03

Fonte: adaptada de LAMBERTS *et al.*, 2004

Outro fator importante é a espessura do fechamento (L), medida em metros. Através da espessura se pode calcular o valor da resistência (R), propriedade do material em resistir à passagem de calor. Este recurso pode reduzir consideravelmente as trocas de calor em elementos opacos através de materiais de baixa condutividade ou fechamentos com múltiplas camadas, podendo ser uma das camadas uma câmara de ar.

Outra propriedade dos materiais de construção que precisa ser considerada é a emissividade da superfície do material em contato com a camada de ar, que é a quantidade de energia térmica que é emitida por unidade e tempo. São basicamente divididos em dois grupos: os metálicos, com emissividades entre 0,05 e 0,30; e os não metálicos, que variam de 0,85 a 0,90.

3ª fase – Troca de calor com o meio interior:

Com o aumento da temperatura das superfícies internas, na terceira fase as trocas térmicas entre estas superfícies e o meio interno são por convecção, dependendo da resistência superficial interna (Rsi), e por radiação, dependendo da emissividade superficial do material. Cada camada que compõe um fechamento

apresenta uma determinada resistência térmica e o inverso da resistência total das camadas do fechamento resulta na transmitância térmica (U).

O RTQ-R define “U” como a transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo incluindo as resistências superficiais interna e externa, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes. Métodos de cálculo da transmitância térmica podem ser encontrados na NBR 15220-2 e na NBR 6488.

Outra característica relevante dos fechamentos é a inércia térmica, entendida como a capacidade que os corpos têm de permanecer no estado em que se encontram. Corbella; Yanas (2003) explicam que se numa casa a temperatura do ar interior varia pouco, quando há uma grande mudança de temperatura do ar exterior, então ela possui uma grande inércia térmica.

Ressalta-se ainda, que ao conduzir calor para o outro extremo o material retém uma parte em seu interior por consequência de sua massa térmica. Quanto maior a massa térmica, maior o calor retido, que é devolvido ao interior quando a temperatura do ar for menor que a da superfície.

1.1.1.2 Fechamentos Transparentes

Janelas, clarabóias e outros elementos transparentes fazem parte deste tipo de fechamento e são responsáveis pelas principais trocas térmicas que ocorrem em uma edificação. Além das propriedades térmicas dos fechamentos transparentes, principalmente no caso daqueles que permitem abertura, algumas variáveis como orientação, tamanho e uso de protetores solares influenciam no desempenho térmico do edifício.

Tais fechamentos transparentes também são considerados, no RTQ-R, como aberturas. Estas são definidas como todas as áreas da envoltória do edifício, abertas ou com fechamento translúcido ou transparente (que permitam a entrada da luz e/ou ar) incluindo, por exemplo, janelas, painéis plásticos, paredes de blocos de vidro e aberturas zenitais. Aberturas para iluminação e ventilação podem ser

diferentes, pois a primeira compreende a parte da abertura que permita a passagem de luz e/ou radiação solar direta ou indireta, enquanto a segunda compreende a parte da abertura que permite a passagem de ventilação e não possui nenhum tipo de fechamento, seja opaco ou translúcido.

Tais fechamentos possibilitam três tipos básicos de trocas térmicas: condução, convecção e radiação. Em relação aos dois primeiros, caso seja possível abri-los e fechá-los, existe a possibilidade de controle das trocas do ar entre os meios. Porém, a radiação que incide sobre os fechamentos transparentes constitui o principal problema devido à parcela que é transmitida diretamente para o interior dependendo da transmissividade do vidro (ou similar).

Destaca-se ainda que, apesar de geralmente apresentarem alta transmitância térmica (U), sendo bons condutores de calor, os vidros são materiais de construção que permitem o controle racional de luz e calor. Além disso, são amplamente utilizados por serem fechamentos que possibilitam integração entre os meios externos e internos.

Os vidros mais utilizados na construção civil podem ser classificados em cinco categorias simplificadas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004):

1. Vidro simples (transparente) - apresentam boa visibilidade com alta transmissividade da radiação solar para o interior, pois são transparentes a ondas curtas e opacos a ondas longas. Esta última propriedade não permite a saída da onda longa para o exterior e, por cumular o calor no ambiente, o efeito é conhecido como efeito estufa. Apresenta baixo custo e é facilmente encontrado no mercado, por isso é amplamente utilizado mesmo quando o comportamento térmico é desfavorável ao conforto térmico do usuário.
2. Vidro verde - é um vidro especial, também conhecido como absorvente. Por ser levemente pigmentado diminui a transmissão de onda curta com apenas um pequeno aumento na absorção da parte visível.
3. Películas e vidros absorventes (fumês) - têm a finalidade de diminuir a transmissão de onda curta. Porém isso é feito com o aumento da absorção neste comprimento de onda, que diminui significativamente a

visibilidade, fato que pode levar ao aumento de consumo de energia com iluminação artificial.

4. Películas e vidros reflexivos – as películas são compostas por uma camada metálica em um substrato transparente que produz uma aparência de espelho. Já os vidros têm uma espécie de película que já vem incorporada em sua constituição. Algumas películas são mais reflexivas às ondas curtas, reduzindo a entrada de calor no ambiente, outras às ondas longas, reduzindo as perdas de calor para o exterior, outras, ainda, podem ser reflexivas em ambos os espectros.
5. Plásticos - policarbonatos e acrílicos têm sido muito utilizado na construção civil. Por serem transparentes à radiação de ondas longas reduzem o efeito estufa e aumentam a perda de calor para o exterior.

Para saber a quantidade de calor que penetra em um ambiente através de uma janela ou sistema de abertura deve-se conhecer o conceito de fator solar (F_s). Segundo Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C, ele é a razão entre o ganho de calor que entra num ambiente através de uma abertura e a radiação solar incidente nesta mesma abertura. Inclui o calor radiante transmitido pelo vidro e a radiação solar absorvida, que é re-irradiada ou transmitida, por condução ou convecção, ao ambiente.

Este valor é característico para cada tipo de abertura e varia de acordo com o ângulo de incidência da radiação solar. Logo, um vidro que tem um fator solar de 0,7 significa que 70% da radiação solar incidente sobre uma janela com esse vidro e sem proteção solar penetra no interior. A utilização de sistemas de aberturas com fatores solares baixos diminui a entrada de calor para o interior. Entretanto, deve-se atentar para não prejudicar a iluminação natural.

1.1.1.3 Dispositivos de Proteção Solar

Além da orientação, das propriedades dos fechamentos opacos e transparentes da envoltória e das características das aberturas, a utilização de

elementos sombreadores é uma ação que permite o controle solar (GIVONI, 1994). Estes elementos podem ser da própria edificação, do entorno ou de dispositivos acoplados às aberturas e evitam ganhos térmicos que acarretam em alto consumo de energia para o resfriamento dos ambientes.

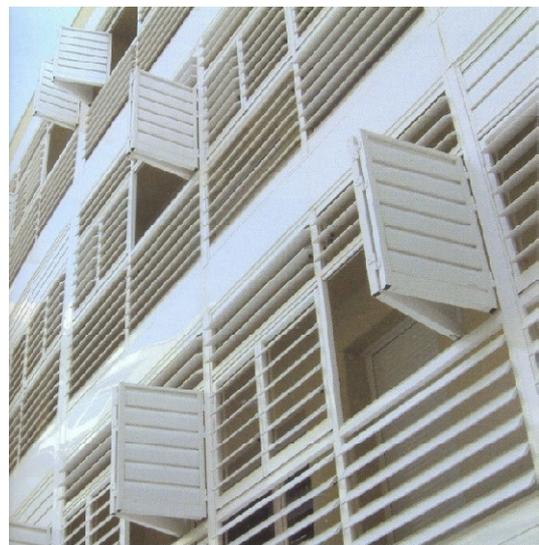
As proteções solares internas são basicamente as cortinas e persianas, que apesar de serem bastante flexíveis não evitam o efeito estufa. Já os protetores externos bloqueiam a radiação direta antes de penetrar o vidro, evitando o efeito estufa. Como também interferem na definição da fachada arquitetônica, podem ser pensados como elementos compositivos e se tirar partido deles para conceber a linguagem arquitetônica do edifício.

A proteção externa, além de reduzir ou impedir a incidência direta dos raios solares sobre as aberturas e evitar desconforto visual por ofuscamento, também protege os ambientes da penetração de chuvas. Servem como protetores solares externos as varandas, marquises, sacadas, beirais, toldos, pérgolas, cobogós, venezianas e os brises, também chamados de quebra-sóis ou, simplesmente, protetores solares (BITTENCOURT, 2004; FROTA, 2004).

Figura 2 - Exemplo de proteção solar com cobogós (a) e brises horizontais fixos (b)



(a)



(b)

Fonte: LIMA, 2012

Os diferentes arranjos dos protetores solares podem ser categorizados. Com base nas classificações de alguns autores que tratam da temática (BITTENCOURT, 2004; FROTA, 2004; GIVONI, 1994), é possível agrupar os principais tipos de protetores: quanto à geometria das placas utilizadas (horizontais, verticais ou mistos); quanto à forma de operação (fixos ou móveis); quanto às propriedades ópticas do material constituinte (opacos ou transparentes) e quanto à localização em relação à superfície transparente ou translúcida.

Um dos instrumentos que pode auxiliar o projetista na escolha da orientação do edifício, do tipo de protetor solar para cada fachada e abertura, bem como demonstrar a incidência solar que cada fachada receberá, é a carta solar, diagrama solar ou gráfico solar. Estas são representações gráficas do percurso do sol na abóbada celeste da terra, nos diferentes períodos do dia e do ano, em geral em um plano horizontal (BITTENCOURT, 2004). Cada gráfico é específico para uma latitude. Os gráficos contendo o percurso real do sol são paralelos e a inclinação é igual à da latitude do lugar.

Dessa forma, conhecendo a posição do edifício e a posição do sol é possível determinar onde e quando a edificação recebe insolação, bem como projetar suas sombras em função do horário e data.

1.1.1.4 Coberturas

A cobertura de uma edificação, segundo o RTQ-R, é a parcela da área de fechamentos opacos superiores da mesma, com inclinação inferior a 60º em relação ao plano horizontal.

No que diz respeito à envoltória, a cobertura é o principal componente responsável pelo aumento da carga térmica no ambiente construído, principalmente nas edificações predominantemente horizontais. Mascaró; Mascaró (1992) constataram, através de estudos em casas térreas e isoladas e com diversas orientações localizadas em Porto Alegre, que a cobertura é responsável por 72,3% da entrada da radiação térmica e as paredes por 27%. Destacam que enquanto estas últimas recebem em média geral 6h de sol, a cobertura pode receber em torno

de 12 horas, ou seja, o dobro da insolação recebida por qualquer parede, podendo absorver quase o dobro da radiação solar.

No caso de edifícios residenciais multifamiliares, os apartamentos localizados no último pavimento é que sofrem a interferência direta da cobertura, logo as cargas térmicas tendem a ser maiores quando comparados aos apartamentos dos pavimentos mais baixos. Apesar desse fato, estes apartamentos localizados no último pavimento do edifício são exatamente os que apresentam preços de venda mais elevados.

Projetistas e fabricantes de materiais da construção civil têm buscado novas alternativas no que se refere ao desempenho térmico das coberturas. Para os climas quentes há diversas possibilidades de se reduzir o fluxo de calor através da cobertura com o meio de tecnologias passivas. A utilização da ventilação natural no ático das edificações, por exemplo, reduz o fluxo de calor para o forro pelo mecanismo da convecção (BÜTTNER; DUARTE, 2009).

Numa pesquisa desenvolvida para avaliar o desempenho térmico e energético de quatro tipologias de coberturas na região tropical continental brasileira, Büttner; Duarte (2009) verificaram que o acabamento e a cor da superfície exposta são fatores determinantes para o desempenho térmico da envoltória. As coberturas com barreira radiante em seu sistema, com superfície de alumínio polido, que tem baixa emissividade, demonstraram melhor desempenho térmico.

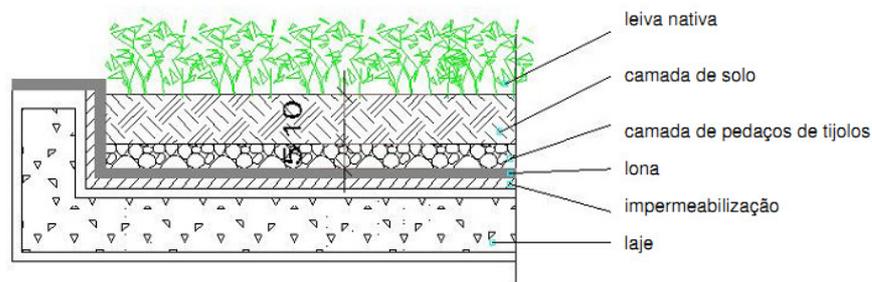
Verificou-se ainda, que em todos os tipos de telhas avaliados, aquelas com cor branca resultaram em menores cargas térmicas de resfriamento e temperaturas internas mais baixas, enquanto os tipos com cores mais escuras apresentaram pior desempenho. Para a redução da temperatura do ar interno, estas estratégias foram as que apresentaram resultados mais satisfatórios (BÜTTNER; DUARTE, 2009).

Baseando-se em resultados de pesquisas desta natureza, a prefeitura de Nova Iorque criou o programa "Cool Roofs", pelo qual pretende pintar de branco a maior quantidade possível de telhados da cidade. O objetivo da medida é reduzir o consumo de energia dos moradores e o impacto que causam no meio ambiente, pois se constatou que a temperatura no interior de um edifício pode cair até 30%.

Assim, diminuindo os gastos com ar-condicionado e, conseqüentemente, a emissão de gases do efeito estufa, em última análise, ajuda-se a controlar os efeitos nocivos do aquecimento global. Tal programa faz parte de um conjunto de medidas tomadas com o intuito de reduzir em 30% a emissão de gases causadores do efeito estufa até 2030, na cidade de Nova Iorque (ARRIETA, 2012).

Outra opção para cobertura é o telhado verde, também denominado de laje jardim, teto vivo, teto verde, cobertura verde bem como jardim suspenso. Trata-se de um teto com plantas que conformam um jardim sobre a cobertura das edificações que contribuem também ao incremento das áreas verdes no meio urbano. Constituem-se de uma cobertura de vegetal plantada em solo leve, uma barreira contra raízes, um reservatório de drenagem e uma membrana à prova de água (VERGARA, 2009).

Figura 3 - Detalhe construtivo de um teto verde



Fonte: Vergara, 2009

Pesquisas têm mostrado que o uso desse tipo de cobertura apresenta várias vantagens, tanto de ordem técnica, como estética e psicológica. Além de manter o ciclo oxigênio-gás carbônico, contribuindo para a diminuição da poluição atmosférica, provê um hábitat para plantas e insetos e assegura efeito visual e estético aos edifícios (ver figura 4).

Figura 4 - Centro de Educação Ambiental Votorantim - MG, de Siegbert Zanettini



Fonte: Arcoweb, 2009

Entre as vantagens técnicas, pode-se citar o isolamento termo/acústico, a proteção da impermeabilização, e redução das patologias em lajes pela redução da variação térmica nos elementos e diminuição e/ou retardamento do volume de águas pluviais escoadas nas redes dos centros urbanos. O uso de solo vegetado sobre uma laje de cobertura reduz o efeito da insolação. A vegetação reflete e absorve a radiação solar, e o substrato para esta vegetação constitui uma barreira adicional à passagem de calor. (POUEY *et al.*, 1998).

Ao favorecer o desempenho térmico dos edifícios, há também uma melhoria do conforto interno, diminuindo a temperatura através do resfriamento evaporativo e aumentando a umidade do ar em dias quentes de verão, o que representa significativa economia de energia com sistemas de refrigeração.

1.1.2 Arquitetura bioclimática e eficiência energética

A bioclimatologia estuda as relações entre o clima e o ser humano (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004). A partir da preocupação com os impactos ambientais causadas pela construção dos espaços, os irmãos Olgyay, em 1973, utilizaram pela primeira vez o termo “arquitetura bioclimática”. Desenvolveram em sua obra, um método que propõe projetar aproveitando as potencialidades do clima local e minimizando seus aspectos negativos (OLGYAY, 1998).

Apesar de ser uma temática bastante atual, Vitruvius, no século I a. C., em sua obra “Dez Livros de Arquitetura”, já defendia que o arranjo dos edifícios deveria ser norteado pela orientação e clima de maneira obter melhores condições de habitabilidade do edifício e da cidade (BITTENCOURT, 2005).

O bom uso dos recursos climáticos para prover o conforto ambiental, adiando ou minimizando o consumo da energia, é o objetivo da Arquitetura Bioclimática. Esta adequação da arquitetura ao clima tem respaldo nos princípios do desenvolvimento sustentável. De forma simplificada, a sustentabilidade ambiental pode ser entendida como a necessidade de manutenção das condições ambientais, para garantir às futuras gerações o direito e usufruir das mesmas (ou melhores) condições ambientais que as atualmente existentes (AGENDA 21, 1999).

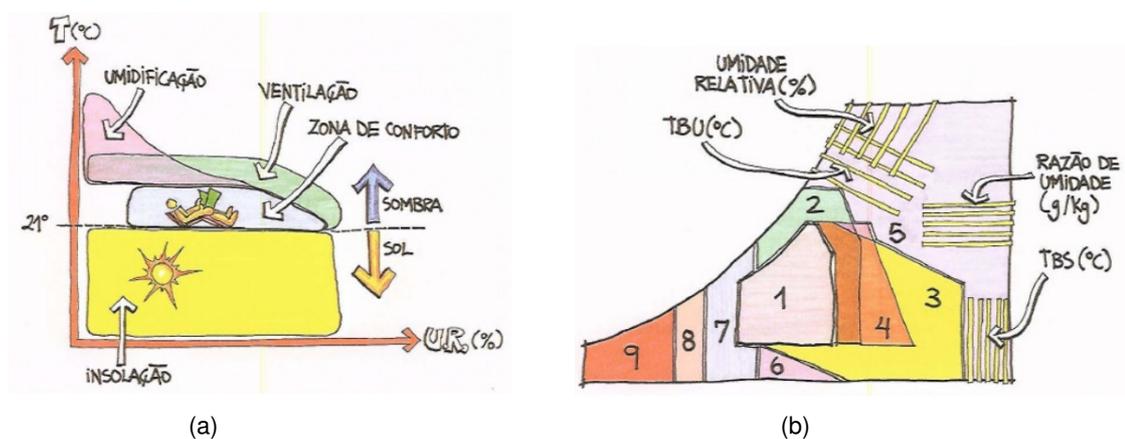
Dessa forma, a arquitetura dotada de estratégias bioclimáticas é uma alternativa para ambientes construídos com caráter de sustentabilidade, principalmente quando se prioriza a utilização de sistemas passivos. Assim, evita-se o desperdício energético que, entre outros impactos, gera consequências negativas para o meio ambiente (SATTLER, 2007).

As estratégias bioclimáticas a serem aplicadas no projeto arquitetônico de um edifício são determinadas pelas características climáticas da região onde será implantado, associadas à função a que o edifício se destina (GIVONI, 1994). Uma das formas simples de examinar as estratégias mais adequadas a uma região ocorre através da utilização das cartas bioclimáticas. Estas representam graficamente os limites de uma zona de conforto térmico humano, segundo os parâmetros de temperatura e umidade relativa do ar.

Foram os irmãos Olgay que desenvolveram a carta ou diagrama bioclimático (ver fig.4) que propõe estratégias de adaptação da arquitetura ao clima. Givoni, em 1969, criou uma carta bioclimática para edifícios, aprimorando algumas limitações do diagrama ao considerar as temperaturas internas do edifício e propor estratégias construtivas para adequação da arquitetura ao clima. Em 1992, Givoni aprimorou sua carta adequando-a a países em desenvolvimento e ampliando os limites máximos de conforto em relação à anterior. A carta é construída sobre diagrama psicrométrico, relacionando temperatura do ar e umidade relativa (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004).

A carta contém “zonas” que representam situações de conforto para diversas combinações de temperatura e umidade. A colocação dos dados climáticos de uma região (temperatura e umidade do ar) no diagrama permite o estudo das estratégias adequadas para o projeto de arquitetura. Estas estratégias podem ser ventilação, resfriamento evaporativo, massa térmica, umidificação e aquecimento solar passivo. Quando o clima é extremamente quente ou frio, e as estratégias bioclimáticas citadas não são suficientes para garantir o conforto térmico ambiental, o condicionamento ativo do ar e a calefação são recomendados.

Figura 5 - Carta bioclimática de Olgay (a) e carta bioclimática adotada para o Brasil (b)



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2004

Na Carta Bioclimática adotada para o Brasil são identificadas nove zonas de atuação:

- 1) Zona de conforto;
- 2) Zona de ventilação;

- 3) Zona de resfriamento evaporativo²;
- 4) Zona de massa térmica para resfriamento³;
- 5) Zona de ar-condicionado;
- 6) Zona de umidificação;
- 7) Zona de massa térmica para aquecimento;
- 8) Zona de aquecimento solar passivo;
- 9) Zona de aquecimento artificial.

Outro método, chamado CPZ (Control Potencial Zone), foi desenvolvido por Szokolay, em 1985. Neste método de análise de clima e projeto os dados climáticos são calculados e transferidos para uma carta psicrométrica, marcando-se a zona de conforto a partir da temperatura neutra. Influenciada pelo clima (resultado da aclimação psicológica e dos hábitos), a neutralidade térmica (T_n) é a temperatura média para uma grande amostra, quando os indivíduos sentem, nem frio, nem calor (ANDRADE, 1996).

A temperatura neutra, válida para pessoas aclimatadas, vestidas levemente e em atividade sedentária, correlaciona-se com a temperatura exterior através da equação (BITTENCOURT, 1993):

$$T_n = 0,31.T_e + 17,6 \quad [\text{Eq. 1}]$$

Onde:

T_n – Temperatura neutra interna

T_e – Temperatura externa média

² Quando se usa a evaporação da água para reduzir a temperatura e simultaneamente aumentar a umidade relativa de um ambiente, como as típicas fontes dos pátios árabes (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2004).

³ Refere-se ao uso da inércia térmica de uma edificação para diminuir a amplitude da temperatura interior em relação à exterior, evitando os picos. Assim, o calor armazenado durante o dia é devolvido ao ambiente à noite, quando as temperaturas externas diminuem (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2004).

A temperatura da zona de conforto, ou seja, o intervalo de condições dentro das quais a maioria das pessoas se sentiria confortável, é definida pela faixa de tolerância sobre a temperatura neutra de até 2°C para mais e para menos.

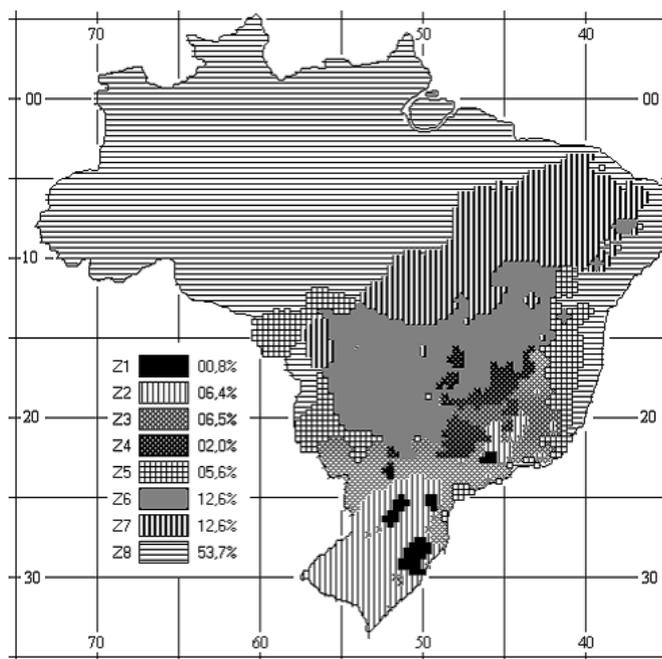
De forma geral, independente da metodologia adotada, a carta bioclimática é uma ferramenta importante para os projetistas. Através dela é possível obter orientações quanto às estratégias que podem ser utilizadas na concepção do projeto, a fim de proporcionar conforto térmico e evitar o desperdício de energia.

1.1.2.1 Zoneamento Bioclimático Brasileiro

No ano de 2005 a NBR 15220-3 estabeleceu um Zoneamento Bioclimático Brasileiro, com recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo (ver figura 6). Propôs-se, então, a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima. Para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que aperfeiçoam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática.

De acordo com NBR 15220 - 3 (ABNT, 2005) - *zona bioclimática (ZB)* é uma região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto. Uma ZB é o resultado geográfico do cruzamento de três tipos diferentes de dados: zonas de conforto térmico humano, dados objetivos climáticos e estratégias de projeto e construção para atingir o conforto térmico. Determinadas as estratégias adequadas para cada cidade ou localidade geográfica, as mesmas são agrupadas por uso de estratégias comuns criando assim uma ZB.

Figura 6 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro



Fonte: NBR 15220-3, 2005

Alguns pesquisadores rebatem a avaliação bioclimática proposta pela NBR 15220-3. A avaliação bioclimática para Maceió, por exemplo, considera desconforto pela sensação de calor para a maior parte do ano (76,1% das horas). A ventilação natural é recomendada como a melhor estratégia passiva a ser adotada, podendo resolver o desconforto térmico em até 75,9% das horas, somando-se as horas das interseções com as estratégias “massa térmica para resfriamento” e “resfriamento evaporativo” (14,6% das horas). Entretanto, Toledo (2001) e Passos (2009) consideram que a condição de conforto térmico em Maceió dá-se em muito maior número de horas, sobretudo no período noturno.

É importante ressaltar que o zoneamento bioclimático proposto para o Brasil representa um grande avanço no enquadramento dos diversos climas do território nacional. Apesar das limitações é um importante instrumento para a melhoria das condições de habitabilidade das construções.

1.1.2.2 Perfil Climático e Estratégias Bioclimáticas para a Cidade de Maceió

A cidade de Maceió é a capital do Estado de Alagoas e está localizado no litoral da região nordeste do Brasil. O Estado de Alagoas faz limite a norte e

noroeste com o Estado de Pernambuco, a sul com o Estado de Sergipe, a sudeste com o Estado da Bahia e a leste com o Oceano Atlântico. Possui 03 mesorregiões (agreste, leste e sertão) que compõem 102 municípios.

Figura 7 - Localização de Maceió no Estado de Alagoas



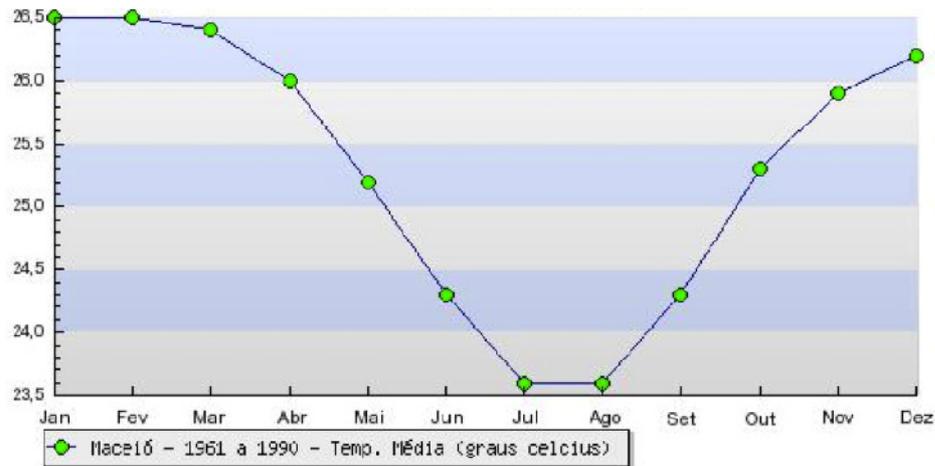
Fonte: Wikipedia

O município de Maceió está situado na mesorregião leste do Estado de Alagoas, latitude 9°31' ao sul do Equador e longitude 35°47' a oeste do meridiano de Greenwich. Possui clima tropical quente-úmido, apresentando pequenas flutuações diárias e sazonais de temperatura do ar e níveis de umidade geralmente altos (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2006).

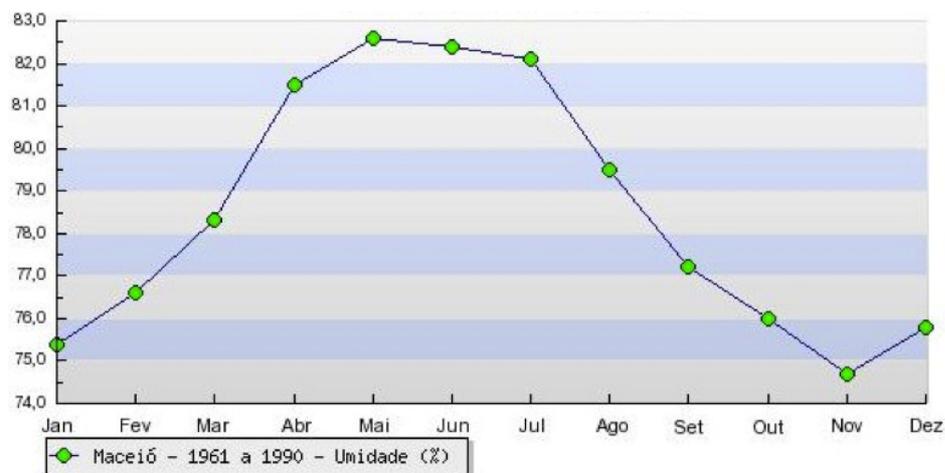
Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), trabalhados por Passos (2009), Maceió apresenta basicamente duas estações bem definidas, o verão, marcado por altas temperaturas e pouca pluviosidade, e o inverno, com alta precipitação e temperaturas mais baixas em relação ao verão.

Os gráficos 3 e 4 referem-se a normais climatológicas⁴ da cidade de Maceió. Observa-se que a diferença entre a temperatura média nos meses de verão e nos meses de inverno é de apenas 3° (gráfico 3), o que caracteriza a baixa amplitude térmica sazonal. Por ser uma cidade com território próximo a grandes massas de água, o Oceano Atlântico e o complexo lagunar Mundaú-Manguaba, a umidade relativa do ar é elevada. O gráfico 4 indica que os índices são maiores que 70% e apresentam baixa variação ao longo do ano.

⁴ Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), "as "Normais Climatológicas" são obtidas através do cálculo das médias de parâmetros meteorológicos, obedecendo a critérios recomendados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Essas médias referem-se a períodos padronizados de 30 (trinta) anos" (INMET, 2011).

Gráfico 2 – Normais Climatológicas (temperatura do ar)

Fonte: INMET, 2011

Gráfico 3 – Normais Climatológicas (Umidade)

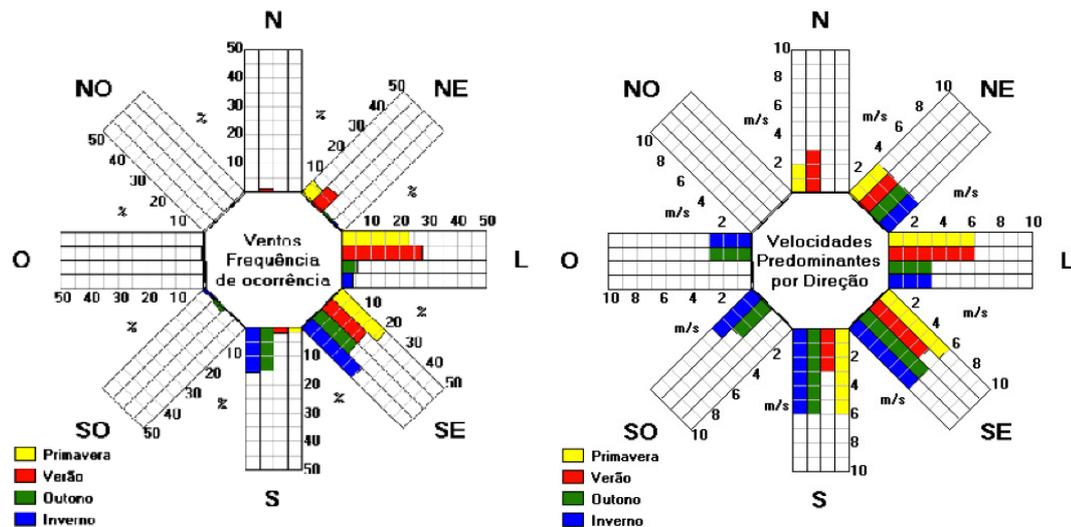
Fonte: INMET, 2011

A média pluviométrica anual é de 2.167,70mm, sendo que 60% desta precipitação anual acontecem entre os meses de abril e julho. Sua baixa latitude predispõe à radiação solar intensa ao longo do ano. Além disso, apresenta céu típico parcialmente nublado, o que produz grande quantidade de radiação difusa e intensa luminosidade (CABÚS, 2002).

A ocorrência dos ventos, na cidade de Maceió, dá-se com frequência no quadrante Leste, nas orientações leste, sudeste e nordeste. O vento sudeste possui frequência regular durante todo o ano, enquanto o vento leste ocorre com maior frequência nos meses de verão e de primavera e com menor frequência nos outros

meses. O vento nordeste também ocorre de forma relevante durante o verão e a primavera e o vento sul durante o outono e inverno. As velocidades predominantes são inferiores a 10m/s, fato que indica a possibilidade de aproveitamento da ventilação natural pelos edifícios (TOLEDO, 2006). A figura 8 ilustra os índices relativos ao movimento do ar.

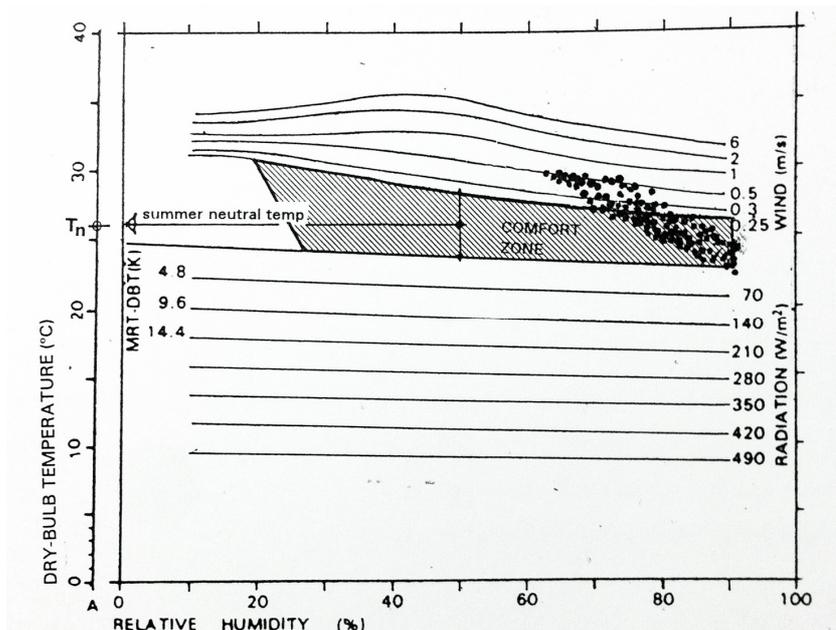
Figura 8 - Rosa dos ventos – frequência e velocidade dos ventos para Maceió - AL



Fonte: Programa SOL-AR Labeee – UFSC (2008)

Bittencourt (1993) propôs uma carta bioclimática para as cidades litorâneas do nordeste do Brasil a partir do método de Szokolay, descrito anteriormente. O cálculo foi feito para os meses de verão, período considerado mais problemático para o conforto térmico, já que nos meses mais frios a temperatura raramente baixam de 20°C. O resultado foi uma temperatura neutra de 26°C (ver figura 9).

Figura 9 - Carta bioclimática para as cidades litorâneas do nordeste do Brasil, considerando atividade sedentária e roupas de verão. Adaptada por Bittencourt (1993) a partir do método de Szokolay.



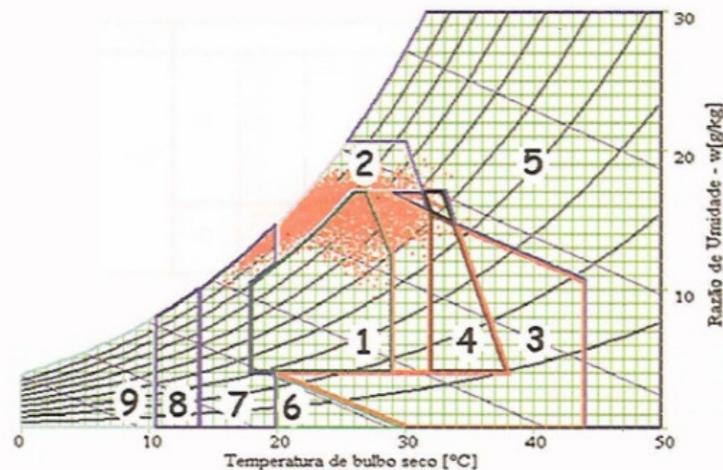
Fonte: Bittencourt, 1993

Os níveis de umidade não desempenham um papel relevante na sensação de conforto para o método de temperatura neutra. Portanto, o limite superior de umidade relativa foi estendido para 90% de acordo com zona de conforto de Givoni (de 1992) para os países em desenvolvimento.

Além disso, em edifícios bem ventilados a temperatura interna aproxima-se da externa. Verifica-se, na figura 8, que o conforto térmico pode ser alcançado com velocidades do ar da ordem de 1 m/s para as horas mais quentes e trabalho sedentário. Quando os ganhos de calor internos ou externos são significativos, velocidades mais altas do ar podem ser necessárias para a obtenção do conforto térmico (BITTENCOURT, 1993).

Algumas estratégias como ventilação, massa para resfriamento e resfriamento evaporativo, são apontadas em estudos realizados por Lamberts, Dutra e Pereira (2004) com a carta bioclimática de Givoni (1992), adaptada para os dados meteorológicos da cidade de Maceió (ver figura 10). Verifica-se na carta grande concentração de pontos na zona de ventilação natural (zona 2) e boa concentração na zona de conforto (zona 1). De forma geral, demonstra condições climáticas favoráveis ao alcance do conforto térmico por meio de estratégias de baixo consumo energético.

Figura 10 - Carta Bioclimática com estratégias indicadas para Maceió



Fonte: Lambertset *al*, 2004

Passos (2009) constatou em suas análises que em Maceió, para o dia típico de verão, 20% das horas avaliadas foram consideradas confortáveis, 68% foram classificadas como desconfortáveis por calor e 4% das horas desconfortáveis por frio. Para o calor, as recomendações foram: ventilação, massa térmica e ar-condicionado.

Já para o período do inverno, houve um número maior de horas confortáveis, 33,3%. Do restante das horas inseridas na carta, 42,1% foram consideradas desconfortáveis por calor e 27,8% desconfortáveis por frio. As estratégias recomendadas foram ventilação e massa térmica para o calor, e massa térmica com aquecimento solar e aquecimento para o frio. O desconforto térmico por calor mesmo durante o inverno é alto devido à pequena variação sazonal de temperatura, uma vez que o inverno em Maceió é marcado principalmente pelo aumento de ocorrência de chuvas.

A partir desses dados, Passos (2009) identificou que o resfriamento evaporativo foi indicado em 25% das horas estudadas e para 48,7% dos casos na análise segundo Givoni (1992). Observando os dados de umidade relativa média na cidade, constatou ainda que o resfriamento evaporativo direto causaria um incremento da umidade do ar e, conseqüentemente desconforto aos usuários. Logo,

recomenda o resfriamento evaporativo apenas através da vegetação, com jardins internos ou coberturas vegetais nas paredes externas.

Dessa forma, estratégias bioclimáticas foram propostas para edificações na cidade de Maceió. Nos meses de abril a julho, deve-se ter um aproveitamento da ventilação natural diurna, que pode ser obtido através de elementos que permitem controle das aberturas, como venezianas móveis, portas e janelas pivotantes e brises. Para o período noturno, aproveitamento da ventilação através de pérgulas no interior das habitações, captadores de vento com aberturas controláveis ou peitoris ventilados. Recomenda-se ainda sombreamento através da coberta (beirais) e elementos externos horizontais e/ou verticais como brises, varandas, cobogós e venezianas (PASSOS, 2009).

1.1.2.3 Ventilação e Sombreamento

De acordo com as estratégias bioclimáticas propostas para a cidade de Maceió, para obtenção de conforto térmico por meios passivos deve-se, sobretudo, promover a ventilação natural associada com a proteção solar. Peixoto; Bittencourt (2003) reforçam que este é o meio mais eficiente para se atingir o conforto térmico com baixo consumo de energia elétrica em regiões com o clima quente e úmido.

A estratégia de sombreamento pode ser utilizada para diminuir os ganhos térmicos através das aberturas. O objetivo é bloquear a incidência direta de radiação proveniente do Sol, com dispositivos que têm a função principal de sombrear. Como foi visto no tópico 1.1.1.3, estes dispositivos fazem parte da envoltória da edificação e são conhecidos como protetores solares.

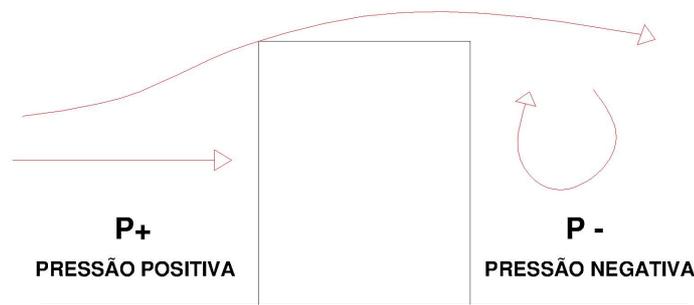
Já a ventilação natural, além de assegurar a qualidade do ar (interno) quando as condições externas são favoráveis, tem duas finalidades complementares em regiões com pequenas oscilações de temperatura entre o dia e a noite e elevado grau de umidade do ar. A primeira é resfriar a estrutura da edificação, aquecida pela radiação solar e por ganhos internos de calor. A segunda é obter o resfriamento fisiológico através da evaporação do suor e das trocas de calor por convecção,

quando correntes de ar entram em contato com o corpo humano (PEIXOTO; BITTENCOURT, 2003).

Para que se consiga ventilar o interior da edificação sem a utilização de meios mecânicos, deve-se entender, sobretudo, que o vento se movimenta por dois fatores: diferença de pressão e diferenças de temperatura.

Quando o vento incide na superfície de uma edificação, originam-se zonas de pressão maiores ou menores que a atmosférica, cujos valores numéricos, positivos ou negativos, dependem da velocidade do vento no momento considerado. Nas paredes expostas ao vento (barlavento) originam-se zonas positivas - de sobrepressão (ver figura 11). No plano horizontal superior e nas paredes não expostas ao vento (sotavento), originam-se zonas negativas - de subpressão (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2006).

Figura 11 - Croqui da incidência do vento em uma edificação, indicando a zona de pressão positiva e a zona de pressão negativa



Fonte: Autora, 2013

A distribuição destas e os valores relativos em seus pontos dependem da forma e das dimensões da edificação, assim como da direção e o tipo de vento incidente. Já as pressões internas nos diversos ambientes do edifício, dependem tanto do valor numérico e da configuração das pressões externas, como das áreas e localizações das aberturas por onde o ar circula (TOLEDO, 1999).

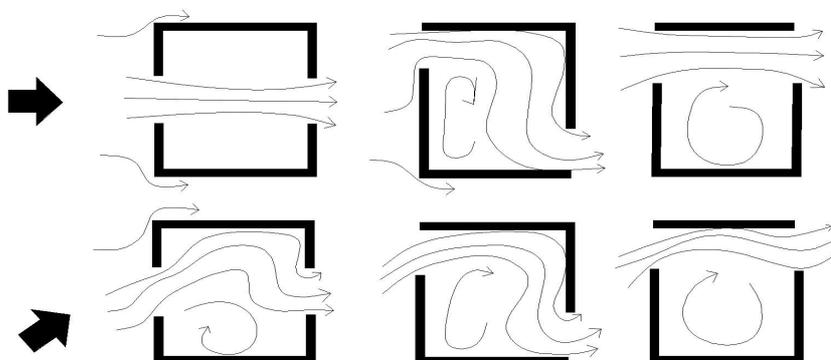
De forma geral, para que se tenha uma ventilação natural eficiente no interior de uma edificação, deve-se ter vento no exterior e conhecer como e onde colocar as aberturas de maneira a conseguir uma ventilação cruzada. Deve-se,

sobretudo, entender que se apesar de haver vento não existir diferença de pressão entre duas janelas, não vai haver corrente cruzada (CORBELLA; YANNAS, 2003).

NO RTQ-R, a ventilação cruzada pode ser considerada em relação a uma unidade habitacional autônoma ou em relação a um determinado ambiente da mesma. Esta ventilação depende da configuração do conjunto de aberturas localizadas nas fachadas e/ou coberturas e das aberturas que interligam os diversos ambientes internos.

A ventilação cruzada é caracterizada pelo escoamento de ar entre aberturas localizadas nas fachadas orientadas a barlavento, aberturas de entrada de ar, e aquelas situadas nas fachadas a sotavento, aberturas de saída de ar (ver figura 12). Em relação a uma unidade habitacional autônoma, ocorre quando esse escoamento cruza um ou mais ambientes que se encontrem interligados por aberturas que permitam essa circulação do ar (LABEEE, 2011).

Figura 12 - Efeitos da localização das aberturas em paredes opostas, exemplos de ventilação cruzada



Fonte: adap. de Ginoni, 1976 *apud* BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2006

Sabe-se que a frequência, a velocidade e a direção dos ventos variam, em cada região, ao longo do dia e de acordo com as estações do ano. Estas informações podem ser obtidas a partir de dados horários das estações meteorológicas. A análise conjugada destas informações é imprescindível para estimar quais as melhores orientações, não só das aberturas como da própria edificação, respeitando as peculiaridades de cada época do ano.

Na cidade de Maceió, os dados referentes aos ventos demonstram que as maiores velocidades são mais frequentes no período da tarde, justamente quando a temperatura do ar é mais elevada e o vento se faz mais necessário para obtenção de conforto térmico (LEÃO JUNIOR, 2008).

Além da localização, influenciam diretamente no fluxo de ar no interior da edificação, o tamanho, o tipo e a configuração das aberturas utilizadas e a localização de outros componentes arquitetônicos próximos às aberturas, como os protetores solares e as marquises.

Quanto à orientação, Bittencourt; Cândido (2006) observaram, por exemplo, que quando o vento incide na direção próxima à perpendicular da abertura de entrada de ar se obtêm uma maior diferença de pressão através da construção e um maior fluxo de ar internamente.

Em relação à definição do tipo de esquadrias, a função de cada espaço deve ser levada em consideração. Logo, além dos aspectos ambientais, como ventilação e iluminação natural, controle da chuva, do sol e do som, deve-se considerar a vista da paisagem, privacidade e segurança, além dos aspectos plásticos e dos custos. A esquadria tipo veneziana móvel é uma boa alternativa para essas necessidades, pois permite ao usuário sua utilização de diversas maneiras, inclusive o controle da ventilação e iluminação.

Bittencourt; Cândido (2006) alertam para um erro muito frequente na avaliação do movimento do ar dentro de uma edificação que é a interferência dos edifícios vizinhos no fluxo de ar. A alta rugosidade do tecido urbano e as deflexões causadas por estruturas maciças reduzem consideravelmente a velocidade do vento. Assim, quanto mais densa a região, maior a rugosidade do solo e a diminuição na velocidade do vento nas alturas próximas ao solo. Apesar disso, o RTQ-R não considera os diferentes entornos das edificações no método prescritivo de avaliação. Este é um dos pontos negativos do Regulamento, pois, ao interferir na ventilação e insolação que a edificação vai receber, o entorno conseqüentemente tem influência no consumo de energia do mesmo.

Em algumas situações, dependendo da complexidade do projeto, podem ser necessárias metodologias mais elaboradas para se obter dados mais precisos

sobre a ventilação natural em uma edificação, como o estudo em túneis de vento e as simulações computacionais.

1.2 Regulamentação para Eficiência Energética de Edificações

O crescente consumo de energia per capita e os impactos no consumo de recursos para sua geração têm afetado tanto países desenvolvidos quanto países em desenvolvimento. As iniciativas relacionadas à redução desse consumo e aos métodos para sua avaliação foram impulsionadas pela crise do petróleo ainda nos anos de 1970, pois com a percepção da escassez deste recurso energético a dimensão ambiental passou a ser inserida na base das preocupações mundiais.

Foi então que as primeiras normas de eficiência energética em edificações surgiram. Diversos países lançaram programas de incentivo à redução do consumo que resultaram na criação de normas, como a *Standard 90 – Energy Conservation in New Building Design* e a norma californiana *Title 24* de 1978 (CARLO, 2008a). Segundo Janda (2009), atualmente 72 países possuem algum tipo de norma ou lei em eficiência energética de edificações.

Os instrumentos para melhoria de desempenho energético de edifícios variam de país a país. Podem existir na forma de códigos, critérios, guias, normas, leis, protocolos, provisões, regras, diretivas, recomendações, requerimentos, regulamentações, classificações, benchmarkings⁵, certificações e sistemas de etiquetagem (SANTOS, 2008). De acordo com esta referência, os principais instrumentos da atualidade, destacam-se os códigos, as normas e as diretrizes.

Um código é um conjunto explícito de requerimentos mínimos, que faz parte de uma lei e é associado a procedimentos de conformidade. Uma norma é semelhante ao código, entretanto seu cumprimento é voluntário e o seu desenvolvimento é feito baseado em consenso. Já as diretrizes, também chamadas de guias de procedimentos, são menos rigorosas que normas ou códigos, podendo

⁵ Quando um nível de eficiência é definido através da formação de uma escala do consumo de edificações com atividades em comum, de onde podem ser estabelecidos marcos de eficiência, estes marcos são chamados de benchmarks (MEIER et al., 2002).

conter requerimentos mínimos e diretrizes gerais ou guia (DERINGER, 2001 *apud* GOULART, 2005).

Janda e Bush (1994) descrevem um panorama da situação mundial em normalização de energia para edifícios. Apontam que a maioria dos métodos adota uma combinação de critérios prescritivos e de desempenho para a envoltória da edificação e para os sistemas mecânicos de condicionamento do ar e iluminação.

De acordo com Goulart (2005), no contexto da Legislação Brasileira, para edificações de forma geral, estão incluídos:

- Regulamentação específica: “indicadores técnicos e regulamentação específica” são necessários para estabelecer a obrigatoriedade dos níveis de eficiência energética no país.
- Regulamento técnico: estabelece requisitos técnicos obrigatórios de produtos, serviços ou processos, além dos procedimentos para avaliação da conformidade, como certificação.
- Normas Técnicas: podem ser nacionais, regionais ou internacionais. As normas nacionais são elaboradas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Como exemplo de normas regionais há a Norma Mercosul e como exemplo de normas internacionais, pode-se citar as normas ISO.
- Plano Diretor: é um instrumento de política urbana, destacando as intenções para a expansão e o desenvolvimento urbano sustentáveis. É exigido por lei para todos os municípios brasileiros com mais de vinte mil habitantes.
- Lei de parcelamento do solo: Regula o parcelamento de glebas urbanas ou rurais para fins de edificação futura.
- Lei do Uso e Ocupação do Solo ou Lei de Zoneamento: regula os parâmetros urbanísticos da cidade, definindo os locais onde devem ser localizadas edificações residenciais, comerciais e industriais. Define áreas de risco não edificáveis assim como as áreas urbanas de proteção ambiental. Além disso, define como os lotes devem ser ocupados.

- Código de Edificações e Urbanismo: Define toda parte da edificação que possa ser submetida à inspeção para concessão do habite-se. Define, por exemplo, pé direito mínimo, dimensões de vãos mínimos para iluminação e ventilação, instalações para gás, elevadores, elementos e dispositivos para acessibilidade.

Regulamentos de desempenho energético de edifícios estão se expandindo em muitos países. Os primeiros regulamentos relacionados ao desempenho de edificações foram criados na Europa. Definiam parâmetros para a envoltória, no intuito de diminuir a transferência de calor através dos seus componentes construtivos, controlar a difusão de vapor e a permeabilidade do ar (PÉREZ-LOMBARD *et al.*, 2009 *apud* MORISHITA, 2011).

No Brasil a primeira lei referente à eficiência energética surgiu após um racionamento de energia: a Lei nº 10295 dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Esta foi regulamentada pelo Decreto nº 4059 que estabeleceu que deveriam ser criados “níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, bem como as edificações construídas”. A partir daí foi criado um “Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País” para propor uma forma de regulamentar as edificações construídas no Brasil, visando o uso racional da energia elétrica (BRASIL, 2001b).

Dentro dessas ações, em 2004 foi criado o projeto “Elaboração de regulamentação e classificação de edificações eficientes”, resultante do convênio entre a Eletrobrás/PROCEL Edifica e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), através do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). O objetivo deste grupo foi a elaboração do Regulamento Técnico para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e o Regulamento Técnico para Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Tais regulamentos, de caráter voluntário, entraram em vigor nos anos de 2009 e 2010, respectivamente (PROCEL/ELETROBRAS, 2010).

O objetivo principal de um regulamento de eficiência energética é conservar energia sem comprometer o conforto, a produtividade ou a qualidade

arquitetônica das edificações (MORICHITA, 2011). O impacto nos custos de construção de edificações perante a alteração do padrão construtivo também deve ser considerado. Este impacto pode ser avaliado através do benefício que medidas construtivas mais energeticamente eficientes proporcionam ao reduzir o custo da energia consumida (CARLO, 2008a). Nesse sentido, o Regulamento também é útil para que o consumidor fique informado sobre os futuros gastos com energia.

Morishita (2011) avaliou o impacto da aplicação do RTQ-R no consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro. Para tanto elaborou um cenário tendencial de consumo de energia elétrica do setor residencial, um cenário técnico de consumo após a aplicação dos requisitos e bonificações do Regulamento. Além disso, analisou o impacto no consumo de energia elétrica dos requisitos do Regulamento através da comparação entre os consumos nos cenários tendencial e técnico para os anos de 2020 e 2030.

Para a envoltória, observou que o padrão construtivo predominante do país não atinge os níveis máximos de eficiência, na maioria as regiões. O potencial total de economia estimado para o setor residencial foi de 22% para 2020 e 26% para 2030. Portanto, o Regulamento residencial pode implicar em valores significativos de economia de energia elétrica no setor (MORISHITA, 2011).

Cabe ressaltar que, apesar do potencial que o RTQ-R apresenta para alcançar maiores níveis de eficiência energética em edificações, nenhuma regulamentação por si só garante uma edificação de qualidade. As estratégias de projeto, a cooperação dos agentes envolvidos na construção e os usuários, por meio de seus hábitos, têm participação decisiva no uso eficiente das edificações. Uma edificação nível “A” indica apenas que esta contém características que possibilitam seu “funcionamento” de forma eficiente.

Sabe-se ainda que o RTQ-R, assim como outros regulamentos e códigos, apresenta limitações e simplificações, porém se reconhece a importância das exigências mínimas nos aspectos que o mesmo engloba.

1.2.1 Caracterização do setor residencial

O RTQ-R define edificação residencial aquela utilizada para fins habitacionais, que contenha espaços destinados ao repouso, alimentação, serviços domésticos e higiene. Para tanto, não pode haver predominância de atividades como comércio, escolas, associações ou instituições, prestação de serviços, diversão, preparação e venda de alimentos, escritórios e serviços de hospedagem.

A edificação residencial pode ser *unifamiliar* ou *multifamiliar*. A primeira se refere a uma edificação que possui uma única unidade habitacional autônoma (UH) no lote. A segunda possui mais de uma unidade UH em um mesmo lote, em relação de condomínio, podendo configurar edifício de apartamentos, sobrado ou grupamento de edificações. Unidade habitacional autônoma, por sua vez, é um bem imóvel destinado à moradia e dotado de acesso independente, sendo constituído por, no mínimo, banheiro, dormitório, cozinha e sala, podendo estes três últimos ser conjugados. Corresponde a uma unidade de uma edificação multifamiliar (apartamento) ou a uma edificação unifamiliar (casa) (LabEEE, 2010).

Conforme explicações anteriores, do total do consumo de energia elétrica no Brasil, apenas as edificações do setor residencial são responsáveis por 23,9%, ficando atrás somente do setor industrial (BRASIL, 2010b). Ainda de acordo com esta fonte, o consumo de energia elétrica atingiu 426,0 TWh em 2009, apresentando decréscimo de 0,5% em relação a 2008, em virtude da crise econômica mundial observada no período. Entretanto, o setor residencial se apresentou resistente à crise, atingindo consumo de 101,8 TWh em 2009 e registrando aumento de 6,2% em relação ao ano anterior no qual o consumo foi de 95,6 TWh.

De acordo com Morishita (2011), dentre os fatores que contribuíram para esta taxa de crescimento é possível listar:

- Aumento da renda, notadamente da população de menor poder aquisitivo;
- Aumento da quantidade de domicílios e aumento da ligação daqueles que não eram atendidos por redes elétricas;
- Utilização de reservas financeiras para compra de eletrodomésticos, principalmente pela classe de médios e pequenos poupadores;

- Criação de pequenos negócios (mercado informal) nas residências.

Dados mais recentes apontam que desde o início do ano de 2012, o consumo de energia elétrica no Nordeste, que responde por 17% do total do país, expandiu 5,8%, superando o desempenho nacional de +3,8%. O consumo residencial cresceu 3% no mês, patamar abaixo do verificado no acumulado do ano até julho (+6,2%). Esse comportamento do consumo é esperado em função da sazonalidade típica e foi observado em praticamente todos os mercados na região, com exceção de Alagoas, onde temperaturas mais elevadas contribuíram para o aumento de 5,1% no consumo, acima da expansão acumulada no ano para o estado (+2,9%) (Empresa de Pesquisa Energética, 2012).

Dados da pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso – ano base 2005 - da Eletrobrás (2007) apontam a participação significativa do condicionamento ambiental artificial no consumo de energia elétrica do setor residencial, principalmente nas regiões Norte, Sul e Nordeste. Nesta última região, o condicionamento artificial representa 27% do consumo, enquanto a iluminação artificial representa 11%, o chuveiro 9%, a geladeira e freezer 34% e os outros aparelhos eletrodomésticos representam 13% (EPE, 2006b *apud* BRASIL, 2007).

Percebe-se que estes dados são consequência não apenas dos hábitos dos usuários, mas das características climáticas da região. Em outras regiões onde as temperaturas são mais frias durante o inverno, como no Sul e Sudeste, a participação do chuveiro elétrico no consumo residencial chega a 26%, por exemplo. Quanto às lâmpadas, em outras regiões a representatividade não ultrapassa 19%. Em relação aos aparelhos de ar condicionado, observa-se que o uso deste tipo de equipamento está ligado não só à temperatura média da região, como também ao seu nível econômico (EPE, 2006b *apud* BRASIL, 2007).

A pesquisa da Eletrobrás (2007) apontou que 57,5% dos consumidores brasileiros consideram a conta de energia elétrica pesada ou muito pesada em seu orçamento. Porém, segundo Brasil (2007), a despesa média de um domicílio com energia elétrica é pequena em relação às outras despesas, especialmente em domicílios de mais alta renda que são os que mais consomem energia. Diante disso, afirma que a economia de energia no setor residencial irá ocorrer mais

provavelmente mediante aumento de eficiência da edificação, com seus equipamentos e sistemas, do que pela alteração dos hábitos dos usuários.

1.2.2 Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais - Rtg-R

O RTQ-R especifica requisitos técnicos e os métodos para classificação de edificações residenciais quanto à eficiência energética. Permite, assim, a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), concedida pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do INMETRO. A primeira revisão deste Regulamento foi publicada em Janeiro de 2012 (BRASIL, 2012).

Seu objetivo é criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de unidades habitacionais autônomas (UH's), de edificações residenciais multifamiliares e de áreas de uso comum de edificações multifamiliares ou de condomínios residenciais. As edificações de uso misto devem ser avaliadas separadamente. Assim, em edificações cuja torre é de apartamentos e a base contém lojas, terá a torre avaliada pelo RTQ-R e a base pelo RTQ-C (LabEEE, 2010).

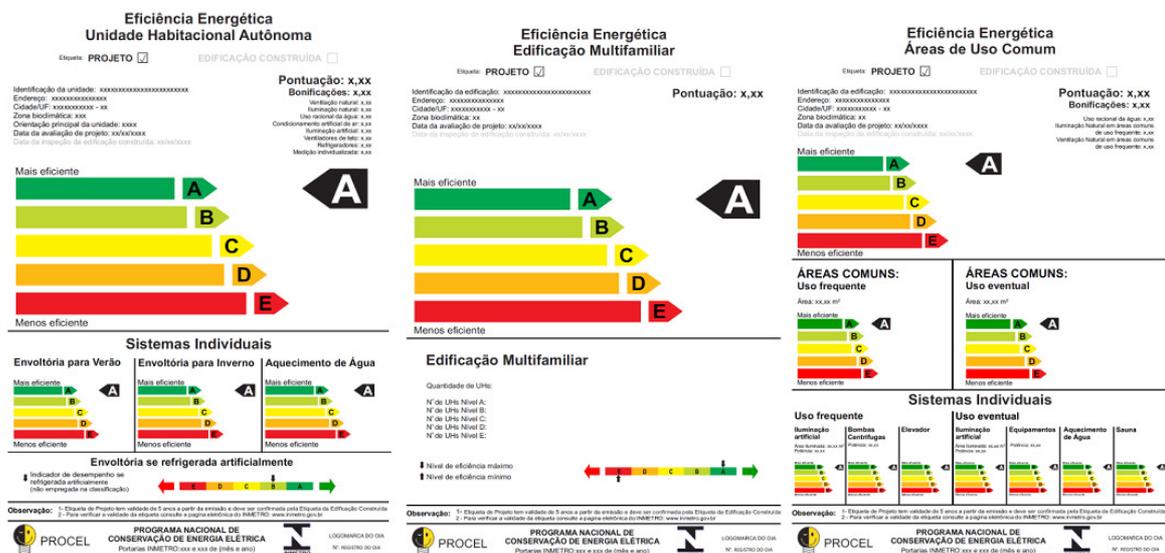
A classificação proposta pelo Regulamento segue o padrão utilizado atualmente para a classificação de eletrodomésticos e pelo Regulamento para edifícios comerciais, de serviços e públicos, variando de "A" (mais eficiente) até "E" (menos eficiente). Enquanto a metodologia de classificação está presente no texto do RTQ-R, o RAC-R (Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais) contém a metodologia para avaliação da conformidade dos requisitos e solicitação da etiqueta.

Os métodos de avaliação para UH's e edificações unifamiliares propostos pelo RTQ-R foram desenvolvidos com base nos modelos mais utilizados no sistema construtivo brasileiro. Busca avaliar a maior parte possível dos casos por meio de método prescritivo, sem necessitar simulação. Porém, em alguns casos será necessário realizar avaliação com o método de simulação (LabEEE, 2010).

Para a avaliação de UH's e edificações unifamiliares a avaliação da eficiência da envoltória pode ser realizada por meio do método prescritivo, com equações de acordo com a Zona Bioclimática, ou de simulação termo-energética. A avaliação dos sistemas de aquecimento de água é realizada utilizando o método prescritivo, porém os sistemas de aquecimento solar também podem ser avaliados com programa de simulação. As áreas de uso comum são avaliadas por meio de método prescritivo.

Para edificações residenciais, três tipos de ENCE podem ser obtidas com o RTQ-R: ENCE das unidades habitacionais autônomas (edificações unifamiliares e unidades autônomas de edificações multifamiliares); ENCE das edificações multifamiliares (edifícios de apartamentos e condomínios horizontais); e ENCE das áreas de uso comum de condomínios residenciais (de uso frequente e as de uso eventual, sendo elas independentes entre si) (LabEEE, 2010).

Figura 13 - Exemplos de três tipos de ENCE



Fonte: LabEEE, 2010

Para obter a classificação geral de edificações multifamiliares, deve-se ponderar o nível de eficiência encontrado para cada uma de suas UH's. A avaliação das UH's compreende dois itens de avaliação obrigatória e sete itens de bonificação. Os primeiros se referem à avaliação da envoltória e a avaliação do sistema de aquecimento de água. Já as bonificações se referem à ventilação e iluminação

natural, uso racional da água, condicionamento artificial de ar, iluminação artificial, ventiladores de teto, refrigeradores e à medição individualizada de energia.

É importante destacar que a avaliação da envoltória também engloba exigências relacionadas à ventilação e à iluminação natural. Além disso, a não obrigatoriedade de avaliação dos itens de bonificação não significa que os mesmos não sejam representativos no consumo de energia. Esta opção é justificada por se tratar de requisitos que geralmente não são entregues na obra, mas sim instalados pelo usuário.

A classificação final é obtida através de uma equação, na qual os requisitos obrigatórios têm peso de acordo com a região geográfica e na qual podem ser somadas as bonificações. O método prescritivo do Regulamento será exposto detalhadamente na seção 2 referente à metodologia.

1.2.2.1 Avaliação da Envoltória

A classificação do nível de eficiência da envoltória pode ser obtida tanto por simulação computacional termo-energética quanto pelo método prescritivo. O método prescritivo foi desenvolvido por meio de simulações termo-energéticas no programa *EnergyPlus*, com o qual é possível calcular o consumo de energia de um edifício utilizando o arquivo climático do local.

Para desenvolver este método foram utilizados arquivos climáticos do tipo Test Reference Year (TRY, ano climático sem extremos de temperatura) e Test Meteorological Year (TMY2, compilação de meses sem extremos de temperatura de diferentes anos). Tais arquivos são compostos por 8.760 horas de um ano completo, contendo dados de temperatura e umidade do ar, radiação solar, direção e velocidade do vento e pressão atmosférica (LabEEE, 2011 *apud* MORISHITA, 2011).

O modelo foi desenvolvido com base no domicílio médio brasileiro, possuindo dois dormitórios, banheiro, cozinha e sala, totalizando 72,61m². Corresponde a uma edificação multifamiliar de sete pavimentos e quatro apartamentos por pavimento, sendo as unidades com cobertura e paredes expostas

ao exterior e contato com o solo, equivalentes às edificações do tipo casa. O padrão de ocupação corresponde a uma família de um casal com dois filhos. A densidade de potência de iluminação considerada foi de 100W para sala e cozinha, 60W para os quartos e 40W para o banheiro, além de uma carga interna pelo uso de equipamentos de 20,74W na sala e de 33,19W na cozinha.

Para a edificação condicionada artificialmente, considerou-se o uso do ar condicionado nos dormitórios, utilizado no período das 21h às 08h em dias de semana e das 22h às 09h nos finais de semana. A ventilação natural foi considerada no período das 08h às 20h em dias de semana e das 10h às 21h nos finais de semana (LabEEE, 2011 *apud* MORISHITA, 2011).

Ainda de acordo com a referência anterior, no total foram realizadas 2.880 simulações envolvendo diferentes orientações, características físicas e térmicas da envoltória, a fim da equação responder por uma quantidade maior de casos. Como resultado das simulações, equações lineares de regressão múltipla⁶ foram desenvolvidas, estabelecendo relações entre as áreas de abertura para iluminação e ventilação, condições de sombreamento, orientação das fachadas e características térmicas das superfícies.

Além disso, a edificação deve atender a determinados pré-requisitos relativos à transmitância e à capacidade térmica das superfícies opacas da envoltória. Inserindo-se nas equações as características do ambiente em avaliação, obtêm-se indicadores relativos às horas de desconforto e aos consumos relativos à refrigeração e aquecimento. O indicador fornece o Equivalente Numérico da Envoltória (EqNumEnv) e deve ser obtido para edificações naturalmente ventiladas para aquecimento e/ou resfriamento, dependendo da zona bioclimática em que se encontra (LabEEE, 2010).

O equivalente numérico deve ser calculado para os ambientes de permanência prolongada, como sala de estar, sala de jantar, sala íntima, dormitório, escritório, sala de TV ou de uso similar aos citados. O equivalente numérico da

6 O objetivo dos modelos de regressão é estabelecer relações estatísticas entre um fenômeno em estudo e as variáveis independentes envolvidas, chamadas forças direcionadoras, que exercem influência sobre ele. Um modelo de regressão com duas ou mais variáveis explicativas, é um modelo de regressão múltipla. Em um modelo geral de regressão múltipla, uma variável dependente de y_t está relacionada com várias variáveis explanatórias $x_{t2}, x_{t3}, \dots, x_{tk}$ por uma equação linear (MORISHITA, 2011).

unidade habitacional para aquecimento ou resfriamento é obtido através da ponderação dos equivalentes numéricos pela área útil dos ambientes avaliados.

O equivalente numérico da envoltória deve ser obtido para aquecimento (EqNumEnvA) para as zonas bioclimáticas de 1 a 4 e para resfriamento (EqNumEnvResfr) para as zonas 1 a 8. Para obtenção do primeiro, calcula-se o indicador de consumo relativo para aquecimento CA^7 (kWh/m².ano) e para o segundo, calcula-se o indicador de graus hora para resfriamento GHR⁸ (°C.h).

Este procedimento pode ser realizado por meio da planilha de cálculo de desempenho da envoltória, disponibilizada no site do LabEEE (2010b). Nesta, preenchem-se os campos com as características do ambiente e seleciona-se a zona bioclimática que se deseja avaliar, obtendo-se os indicadores de resfriamento, aquecimento e refrigeração.

Para cada zona bioclimática há uma tabela com faixas de valores para estes indicadores que correspondem a um equivalente numérico variando de 1 a 5. Cada equivalente numérico, por sua vez, corresponde a um nível de eficiência que varia de “A” a “E” (mais eficiente ao menos eficiente) de acordo com a Tabela 5.

Tabela 3 - Equivalente Numérico (EqNum) para cada nível e eficiência

Nível de Eficiência	EqNum
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: LabEEE, 2010

Nas zonas bioclimáticas de 5 a 8, o equivalente numérico da unidade habitacional é obtido diretamente através do equivalente numérico para resfriamento. Já nas zonas 1 a 4, existe a necessidade de calcular os equivalentes numéricos para aquecimento e resfriamento, o equivalente numérico da unidade

⁷Consumo anual de energia por metro quadrado necessário para o aquecimento (condicionamento artificial de ar) (LabEEE, 2010).

⁸Indicador de desempenho térmico baseado em uma temperatura de referência (LabEEE, 2010).

habitacional é obtido através de distribuição de pesos de acordo com a zona bioclimática.

Caso a unidade habitacional seja condicionada artificialmente, o EqNum da envoltória é obtido pelo mesmo procedimento, sendo que o indicador de graus hora para resfriamento GHR ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$) é substituído pelo indicador de consumo relativo para refrigeração (CR) ($\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$). Possui caráter obrigatório somente para a obtenção da bonificação relativa ao condicionamento artificial de ar.

É importante ressaltar que alguns estudos já apontam fragilidades no RTQ-R, apesar da sua importância para o incentivo à eficiência energética nas edificações do país. Queiroz *et al.* (2011), por exemplo, analisaram o impacto de variáveis arquitetônicas na classificação do nível de eficiência energético empregando a equação de graus-hora de resfriamento para as zonas bioclimáticas 5 e 8. Alguns resultados apontaram incoerências relacionadas à interpretação do Regulamento e à sensibilidade da equação quanto à absorvância da cobertura, à capacidade térmica e às áreas de aberturas.

Entre esses resultados, destacaram-se aqueles obtidos para percentual de área de abertura, que está relacionado à ventilação natural. Quando os fatores de ventilação e sombreamento foram comparados, a equação se mostrou pouco sensível. Não houve melhoras significativas em ambientes com grandes aberturas sombreadas, estratégia conhecidamente eficaz para projetos passivos na zona bioclimática 8 (QUEIROZ *et al.*, 2011).

1.2.2.2 Avaliação do Sistema de Aquecimento de Água

Neste item são avaliados os sistemas elétricos, a gás, solar e bomba de calor. De acordo com o RTQ-R, devido à priorização da utilização de sistemas mais eficientes em relação ao gasto de energia e aos impactos ambientais deve-se dar preferência aos sistemas de aquecimento solar, a gás classificados pelo PBE e bombas de calor de alto coeficiente de performance. O método proposto permite combinar diferentes sistemas de aquecimento de água, sendo a classificação final

obtida através da ponderação do nível de eficiência cada um deles de acordo com suas demandas.

Para sistemas de aquecimento solar, a avaliação pode ser feita tanto pelo método de simulação quanto pelo método prescritivo apresentado no RTQ-R. Este último é baseado no método de cálculo proposto pela norma brasileira Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto - NBR 15.569 (ABNT, 2008).

Em relação aos sistemas de aquecimento a gás (Gás Natural - GN - ou Gás Liquefeito de Petróleo - GLP) e elétrico de acumulação, o RTQ-R apresenta duas alternativas, para aquecedores classificados pelo PBE e aquecedores não classificados pelo PBE. As Bombas de calor são classificadas de acordo com seu coeficiente de performance (COP), medido em unidades de W/W.

Para sistemas de aquecimento elétrico por acumulação do tipo boiler a classificação é realizada através da classificação no PBE. Já para o sistema o aquecimento elétrico de passagem, nos quais estão incluídos os chuveiros elétricos, a classificação é obtida de acordo com a potência (W) do equipamento.

1.2.2.3 Bonificações

Bonificação é uma pontuação atribuída a iniciativas que aumentem a eficiência da edificação. A soma dos pontos obtidos com bonificações pode resultar em até 1 (um) ponto a mais na classificação geral da UH.

Referem-se à iluminação e ventilação natural, ao uso racional de água, ao condicionamento artificial de ar, à iluminação artificial, ao uso de eletrodomésticos eficientes (ventilador de teto e refrigerador) e à medição individualizada de água. Estas são independentes entre si e podem ser parcialmente alcançadas, sendo que a bonificação total alcançada é a somatória das bonificações obtidas em cada item (LabEEE, 2010).

1.2.2.4 Avaliação das Áreas de Uso Comum

Este item do RTQ-R aborda a metodologia para avaliação de ambientes de uso coletivo de edificações multifamiliares ou de condomínios de edificações residenciais. É dividido em áreas comuns de uso frequente e áreas comuns de uso eventual. Não estão incluídos neste item áreas comuns não frequentadas pelos moradores, tais como: áreas de depósito de lixo, GLP, medidores, baterias, depósitos do condomínio, casa de máquinas, barrilete, casa de bombas, subestação e gerador.

As áreas comuns de uso frequente são as circulações, halls, garagens, escadas, elevadores, corredores, estacionamento de visitantes, acessos externos, entre outros. Alguns pré-requisitos são relacionados aos rendimentos nominais dos motores elétricos de indução trifásica instalados na edificação e às garagens sem ventilação natural. Estas devem dispor de sistemas de ventilação mecânica com controle do nível de concentração de monóxido de carbono para receber nível "A"

Para a determinação de eficiência destas áreas, devem ser atendidos os requisitos dos itens *aplicáveis ao empreendimento*, ou seja, os itens considerados são aqueles referentes aos espaços e equipamentos existentes nas áreas de uso comum da edificação. Estes itens são: iluminação artificial, bombas centrífugas e elevadores.

Já as áreas de uso eventuais são ambientes como o salão de festa, a piscina, a brinquedoteca, os banheiros coletivos, o bicicletário, a quadra poliesportiva, a sala de cinema, a sala de estudo, a sala de ginástica, o playground e a churrasqueira. Caso estas áreas sejam construídas separadas das edificações residenciais, a sua envoltória deve atender a pré-requisitos de transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar das superfícies ou receberá nível "E".

Iniciativas que aumentem a eficiência das áreas de uso comum também poderão receber até 1 ponto na classificação geral destas, somando os pontos obtidos por meio das bonificações. Nesse caso, as iniciativas passíveis de bonificações são referentes ao uso racional e água, à iluminação e ventilação natural nas áreas comuns de uso frequente.

1.3 Avaliação Econômica

Tal avaliação é importante para apontar se investimentos em medidas para promover a eficiência energética em edificações trazem reais benefícios econômicos, além daqueles que estas medidas proporcionam independente dos custos envolvidos. Diversas normas foram elaboradas considerando o impacto nos custos de construção de edificações, avalia-se o benefício que as medidas construtivas mais eficientes proporcionam ao reduzir o consumo e, conseqüentemente, os gastos com energia.

Algumas pesquisas que avaliaram a eficiência energética verificando a relação entre o consumo de energia e os custos da edificação já foram desenvolvidas, adotando diferentes métodos dependendo dos objetivos propostos. De forma geral, este tipo de avaliação enfoca as Medidas de Conservação de Energia (MCE) que podem ser aplicadas em um caso base.

Nesta dissertação, entende-se por “impacto econômico” o acréscimo dos custos previstos na composição da planilha orçamentária do edifício em estudo, causado pelas MCE aplicadas à envoltória do mesmo na fase de projeto arquitetônico.

1.3.1 Medidas de conservação de energia (MCE)

De acordo com os assuntos explanados nos tópicos antecedentes, as dimensões das janelas em relação aos ambientes, as propriedades de transmissão de energia térmica dos materiais construtivos e os dispositivos de proteção solar têm influência inter-relacionada no consumo de energia elétrica das edificações. Alterações de características construtivas, como estas, para melhorar a eficiência energética de uma edificação são conhecidas como MCE. Tais medidas devem ser indicadas de acordo com as soluções mais apropriadas em uma edificação. Estudos anteriores indicaram a influência de algumas destas características no consumo de energia elétrica.

O percentual de área de abertura na fachada (PAF), o fator solar dos vidros (FS), o ângulo vertical de sombreamento das aberturas (AVS), o ângulo

horizontal de sombreamento das aberturas (AHS), a transmitância térmica da cobertura (U_{cob}) e a transmitância térmica das paredes externas (U_{par}) foram as MCE estudadas por Carlo (2008a). A partir dos resultados obtidos, foram desenvolvidas as equações para avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não residenciais (RTQ-C). Das MCE estudadas, compõem estas equações as variáveis PAF, FS, AVS, AHS e U_{cob} (CARLO, 2008a).

Já no RTQ-R, as equações englobam outras variáveis, como a transmitância térmica (U), a capacidade térmica (CT) e a absorptância (α) das paredes externas e da cobertura, as áreas de aberturas (A_{Ab}), o fator de ventilação (F_{vent}) das aberturas, o sombreamento nas aberturas ($somb$) e a área de abertura para iluminação. Para as zonas bioclimáticas 1 e 2 considera-se ainda a transmitância dos vidros (U_{vid}), a presença de vidro duplo (vid) e a presença de algum tipo de isolamento ($isol$) nas paredes externas e/ou cobertura. Dessa forma, tais MCE estão relacionadas aos materiais construtivos que compõem os fechamentos opacos, ao dimensionamento, posicionamento e tipologia das esquadrias/aberturas, assim como aos dispositivos de sombreamento de tais aberturas.

No que se refere às variáveis do RTQ-R, Queiroz et al. (2011) identificaram incoerências relacionadas à sensibilidade da equação de graus-hora de resfriamento para as zonas bioclimáticas 5 e 8. Tais incoerências foram quanto à absorptância da cobertura, à capacidade térmica e às áreas de aberturas. No estudo não houve melhoras significativas em ambientes com grandes aberturas sombreadas, estratégia conhecidamente eficaz para projetos passivos na zona bioclimática 8 (QUEIROZ et al., 2011).

Outros estudos, realizados antes da publicação do RTQ-R, avaliaram o desempenho térmico e consumo energético de edifícios localizados na cidade de Maceió através de outras metodologias.

Lima (2010) avaliou o desempenho térmico e consumo energético de um edifício vertical desenvolvido pelo Programa de Arrendamento Residencial – PAR. A metodologia fundamentou-se em análises paramétricas visando à comparação entre o modelo de referência e alguns parâmetros propostos, através de simulações computacionais utilizando o programa *EnergyPlus* 4.0. De acordo com os resultados,

a utilização de protetor solar e o arranjo construtivo contribuíram para um melhor desempenho termo-energético do edifício. Além disso, a predominância da cor clara na textura das paredes externas foi um aspecto considerado positivo para a obtenção de resultados térmicos favoráveis e implicou na redução no consumo energético.

Já Almeida (2009), analisou o conforto térmico e a eficiência energética em um edifício residencial no bairro de Ponta Verde. Tal edifício apresenta o mesmo padrão construtivo do edifício estudado neste trabalho, além de unidades habitacionais com programa e arranjos semelhantes. A análise foi feita qualitativa e quantitativamente. A autora realizou entrevistas, levantamentos, medições de temperatura “in loco”, além de estudos de insolação e ventilação. Identificou, através dos resultados obtidos, que as soluções arquitetônicas para a região em estudo devem ter aberturas sombreadas, uma proporção entre cheios e vazios que permitam a circulação do vento, além de tratamento térmico das paredes revestindo-as com cores claras.

As estratégias recomendadas a partir dos resultados destes estudos têm relação direta com as variáveis que compõem as equações do RTQ-R e foram consideradas para se definir as principais MCE a serem aplicadas neste trabalho.

1.3.2 Custos de construção de edificações e planilha orçamentária

Segundo a Norma Técnica para Elaboração de Orçamento de Obras da Construção Civil (INSTITUTO DE ENGENHARIA, 2011), orçamento de obra é uma avaliação do custo desta, tendo como base preços dos insumos praticados no mercado, ou valores de referência, e levantamento de quantidades de materiais e serviços obtidos a partir do conteúdo descrito nos elementos do projeto básico (desenhos, memorial descritivo, especificação técnica e quantitativos).

O “custo” é todo gasto envolvido na produção, ou seja, todos os insumos (mão de obra, materiais e equipamentos) e toda a infraestrutura necessária para a produção (canteiros, administração local, mobilização e desmobilização entre outros). O custo total de uma obra é constituído de “Custos Diretos” (custos

unitários) e “Custos Indiretos” (infraestrutura), sendo que a soma de ambos é genericamente denominada de “Custos Diretos” (Instituto de Engenharia, 2011).

Dependendo da fase de elaboração do projeto, os orçamentos podem tomar as seguintes terminologias, que se diferenciam pelo grau de precisão quando se compara o custo proposto com o aquele realmente incorrido (INSTITUTO DE ENGENHARIA, 2011):

- Estimativa de custo - avaliação de custo obtida por meio da análise dos dados preliminares de uma idéia de projeto em relação à área a ser construída, quantidades de materiais e serviços envolvidos. Os preços médios dos componentes são definidos por pesquisa de preços no mercado ou estimativas baseadas nos preços médios de construção publicados em revistas especializadas para diversas opções de estrutura e acabamentos, como o Custo Unitário Básico (CUB), o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) e o Custo Unitário PINI;
- Orçamento preliminar - avaliação de custo obtida por meio de levantamento e estimativa de quantidades de materiais, serviços e equipamentos e pesquisa de preços médios, usualmente utilizada a partir de anteprojeto da obra. Sendo um orçamento e não apenas custo, deve ser incluído o Benefício e Despesas Indiretas (BDI)⁹;
- Orçamento estimativo - avaliação detalhada do preço global da obra, obtida com o levantamento dos serviços e quantitativos obtidos dos projetos básicos, fundamentado em planilhas que expressem a composição de todos os custos unitários, mais o BDI;
- Orçamento analítico ou detalhado - avaliação do preço, com o nível de precisão adequado, obtida através do levantamento de quantidades e de

⁹O BDI (em valor ou em %) utilizado na engenharia é uma taxa que se adiciona aos custos diretos de uma obra ou serviço para cobrir as despesas indiretas do executor, o risco do empreendimento, as despesas financeiras incorridas, os tributos incidentes na operação, despesas de comercialização e o lucro do empreendedor. Seu resultado é fruto de uma operação matemática baseada em dados objetivos envolvidos em cada obra (Instituto de Engenharia, 2011).

materiais, serviços e equipamentos e composição de preços unitários, realizada na etapa de projeto e/ou projeto executivo. Este também inclui o BDI;

- Orçamento sintético ou orçamento resumido - corresponde a um resumo do orçamento analítico, expresso através das etapas ou grupos de serviços, com seus totais e o preço total do orçamento da obra.

Quanto aos sistemas que informam custos e índices da construção civil, O CUB constitui um parâmetro para o cálculo do metro quadrado de construção de uma obra de edificação. Tal Índice é computado pelos Sindicatos da Indústria da Construção Civil para 24 projetos-padrão habitacionais, para 26 projetos-padrão comerciais, para o galpão industrial e a casa popular (SINDUSCON-PA, 2012).

As séries mensais de custos e índices do SINAPI referem-se ao custo do metro quadrado de construção, considerando-se os materiais, equipamentos e a mão de obra com os encargos sociais. Não estão incluídos nos cálculos os Benefícios e Despesas Indiretas – BDI, as despesas com projetos em geral, licenças, seguros, administração, financiamentos, e equipamentos mecânicos. Os dados são coletados e analisados em todas as capitais dos estados pela rede de coleta do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (SINDUSCON-PA, 2012).

Os Custos Unitários Pini de Edificações são calculados para São Paulo, Rio de Janeiro, Vitória, Belo Horizonte, Brasília, Goiânia, Fortaleza, Belém, Recife, Salvador, Curitiba, Londrina, Florianópolis e Porto Alegre. Calcula-se os custos para projetos residenciais, comerciais e industriais. A apuração mensal ocorre através da atualização total do orçamento do projeto padrão para cada tipo de obra. Considera-se a Taxa de Leis Sociais e Riscos do Trabalho, incidente sobre a mão de obra, de 126,80% em São Paulo e Rio de Janeiro e 125,40% nas demais regiões. A área considerada para apuração do metro quadrado é a área total construída, que engloba áreas privativas e comuns (garagens, hall, escadas, etc.). Não estão incluídos no cálculo a taxa de BDI e os seguintes itens, que devem ser orçados conforme projeto: projetos, cópias, orçamentos, emolumentos, movimentos de terra, fundações, ar-condicionado, aquecedores e paisagismo (SINDUSCON-PA, 2012).

A planilha orçamentária é o meio de apresentação dos variados tipos de orçamentos, gráfica ou eletronicamente. De acordo com a Norma Técnica para Elaboração de Orçamento de Obras da Construção Civil (INSTITUTO DE ENGENHARIA, 2011), uma planilha orçamentária contém os serviços e os custos diretos e indiretos de uma obra mais a composição do BDI e pode ser apresentado de duas formas:

a) Planilha de Custos Diretos – por meio desta planilha se chega a um valor de custos diretos e indiretos, necessários para o cálculo do BDI.

b) Planilha de Preços ou Planilha de Orçamento – depois de calculados os custos diretos são calculados o BDI, e esta taxa é incorporada ao custo de cada serviço, para formar o preço unitário correspondente.

A planilha orçamentária deve conter basicamente os seguintes elementos:

Coluna (1) – Código correspondente ao serviço;

Coluna (2) – Descrição do serviço a ser executado;

Coluna (3) – Quantidades levantadas no projeto relativo a esse serviço;

Coluna (4) – Unidade de medida;

Coluna (5) – Custo/Preço unitário do serviço;

Coluna (6) – Subtotal correspondente a esse serviço.

Tabela 4 - Modelo de Planilha Orçamentária padrão

EMPRESA/ ÓRGÃO:					
OBRA:					
DATA:					
LOCALIZAÇÃO:					
1	2	3	4	5	6
ITEM	DISCRIMINAÇÃO	QUANTIDADE	UNIDADE	CUSTO UNITÁRIO	SUBTOTAL
0000	(relacionar serviços)	(levantar)	-	(calcular)	(calcular)

Fonte: Instituto de Engenharia, 2011

O custo unitário de um serviço é o valor ou a importância correspondente a uma unidade do serviço considerado. Pode conter os custos de mão-de-obra, de materiais e de aplicação de equipamentos para uma unidade do serviço considerado, tais como m², m³, horas de mão de obra ou equipamentos, entre outras. A composição do custo unitário geralmente tem os seguintes componentes (INSTITUTO DE ENGENHARIA, 2011):

- Índice ou coeficiente de aplicação de materiais;
- Índice ou coeficiente de produção ou de aplicação de mão-de-obra;
- Índice de aplicação de equipamentos com seu custo horário;
- Preços unitários de materiais;
- Taxas de encargos sociais;
- Benefícios e Despesas Indiretas (BDI).

1.3.3 Indicadores de custos

As MCE proporcionam economia no consumo de energia que, em geral, reflete-se em uma economia de custos com o uso da edificação. Diversos indicadores podem ser utilizados para saber se o investimento realizado em uma MCE será compensado pela economia no consumo proporcionada por esta medida. Dentre os indicadores mais utilizados estão o pay-back, o Custo do Ciclo de Vida (CCV) e o Custo da Energia Conservada (CEC).

Martinaitis *et al.* (2004) utilizaram o CEC para análises de retorno do investimento em eficiência energética, enquanto McBride (1995) utilizou CCV. Florides *et al.* (2002), por sua vez, fez avaliação de desempenho energético através

de programa de simulação. Uma residência típica da Nicósia, na ilha de Chipre, foi o caso base, e utilizou tanto o CCV como o *pay-back* para as análises econômicas. Já Carlo (2008a e 2008b), baseando-se nestes e em outros autores, analisou resultados obtidos com o Pay-back, o CEC, o CCV e com Taxa Interna de Retorno (TIR).

O *Pay-back* simples, indicador que determina o prazo de recuperação de um investimento, é um dos métodos mais difundidos de avaliação econômica por ser considerado de fácil compreensão. Já que este indicador não considera o ciclo de vida das MCE, deve-se atentar para possíveis resultados com período de retorno de investimentos maiores do que a vida útil destas medidas (MARTINAITIS *et al.*, 2004). O *pay-back* simples é calculado com a Equação 2 (CARLO, 2008a):

$$PB = I/CA \quad [\text{Eq. 2}]$$

onde,

PB - *pay-back* simples (anos);

I - investimento realizado (R\$);

CA - custo anual da energia que pode ser economizada (R\$/ano).

O Custo da Energia Conservada, CEC, é um indicador que avalia a eficiência econômica de uma MCE. De acordo com Martinaitis *et al.* (2004), o CEC indica se é mais barato consumir energia sem programar medidas de conservação ou, economizar energia investindo em MCE. Quando se obtém um CEC menor que a tarifa de 1 kWh de energia, então o investimento é considerado economicamente viável (ROSENFELD, 1996 *apud* CARLO, 2008a).

O cálculo deste indicador se concentra na viabilidade da MCE. Considera seus custos de implementação e a energia economizada através da medida, excluindo os custos de construção do edifício completo. Assim, para que os custos de implementação da MCE sejam calculados, deve existir um edifício base no qual as medidas serão aplicadas. Carlo (2008b) explica que esse indicador permite uma análise sob os focos do consumo em si e dos custos envolvidos.

A Equação 3 descreve o cálculo do CEC de Martinaitis *et al.* (2004), utilizado por Carlo (2008b) para uma alternativa composta de uma ou mais MCE.

$$\text{CEC} = (\text{TCC} / \Delta\text{E}) \cdot \{d / [1 - (1 + d)^{-n}]\} \quad [\text{Eq. 3}]$$

Onde,

CEC - custo da energia conservada (R\$/kWh);

TCC - custo da MCE (R\$);

ΔE - energia economizada pela implementação da MCE em relação a um caso base (kWh);

n - vida útil da MCE (anos);

d - taxa de desconto em base anual, equiparada ao Índice Nacional de Custo da Construção Civil- INCC¹⁰ (IBGE, 2012) (adimensional).

O Custo do Ciclo de Vida (CCV) é um método de análise que envolve os elementos e sistemas do edifício com enfoque para os custos de implementação, construção e consumo de energia. De acordo com McBride (1995) a revisão da Standard 90, norma de eficiência energética para edificações não residenciais, elaborada como parte do programa de incentivo à eficiência energética dos EUA, utilizaram o CCV para incluir na revisão da Standard 90.1 – 1989 a rentabilidade dos critérios estabelecidos. De forma geral, uma análise com CCV engloba os custos iniciais, os custos com o consumo de energia elétrica e os custos de sua manutenção durante o período analisado.

Este índice foi utilizado por Carlo (2008b) de forma simplificada. Considerou os custos da implementação da MCE somada ao custo de construção da edificação, além de sua energia consumida. Assim como McBride (1995), considerou o período do ciclo de vida de 30 anos, com a justificativa de que *reposições de elementos do envoltório não são rotineiros no país, e podem ocorrer*

¹⁰ Os resultados do INCC são calculados mensalmente pelo IBGE através de convênio com a CAIXA – Caixa Econômica Federal, a partir do SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil.

em um período de tempo semelhante ao escolhido. Assim, calculou o valor presente com a Equação 4, baseada em McBride (1995), e o valor presente dos custos com consumo de energia com a Equação 5.

$$VPCCV = [(FC+VPE) / A] / n \quad [\text{Eq. 4}]$$

onde,

VPCCV - valor presente do custo do ciclo de vida (R\$/m²/ano);

FC - primeiros custos, correspondentes aos custos com construção, incluindo a implementação da MCE, e com o consumo de energia (R\$);

VPE - valor presente dos custos com consumo de energia (R\$);

A - área total de piso do edifício;

n - a vida útil do edifício (anos).

Equação 4:

$$VPE = (CE.T.e_T) + \sum_{i=0}^n [(CE.T.e_T).(1+d)^{-n}] \quad [\text{Eq. 5}]$$

onde,

VPE - valor presente dos custos com consumo de energia (R\$);

CE - consumo anual de energia da alternativa simulada (kWh);

T - tarifa média de energia do setor comercial (R\$/kWh); e

Et - o reajuste anual do preço da tarifa de energia (%);

d - a taxa de desconto, em base anual.

n, a vida útil do edifício (anos).

Em sua tese, Carlo (2008a) elaborou uma metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não residenciais, considerando as

MCE que apresentaram os menores Custos de Energia Conservada (CEC). Além de desenvolver equações, utilizou o Indicador de Consumo e indicadores de custos para a avaliação de eficiência do envoltório.

Dentre os indicadores de custos considerados, Carlo (2008a) constatou que o CEC se mostrou mais adequado para a avaliação da eficiência da envoltória. Alguns fatores contribuíram para tanto, como a simplicidade de cálculo, a redução das incertezas embutidas nas variáveis e a interpretação que fornece, combinando benefícios financeiros anuais à economia de energia que a medida proporciona.

Porém, ressaltou que todos estes indicadores podem ser utilizados para avaliações comparativas dentro o mesmo modelo de edifício, e podem ser adequados para outras avaliações de eficiência, de acordo com a análise a ser efetuada. Assim, Carlo (2008b) analisou a relação entre o retorno financeiro de investimentos em eficiência energética aplicados no envoltório e o nível de eficiência estabelecido segundo os critérios da regulamentação (RTQ-C).

Neste trabalho calculou os custos de construção, de consumo e as economias de energia, tendo como referência um edifício de baixa eficiência (nível “E”). Alternativas mais eficientes, devido à aplicação de medidas de conservação de energia (MCE), foram avaliadas por meio do CEC, do pay-back e do CCV.

Comparando os resultados obtidos, constatou que a análise do CCV é mais complexa, pois, ao dispensar um caso de referência para sua estimativa, exige maior domínio dos custos envolvidos para avaliar se os investimentos são rentáveis. Sua base de comparação é transferida para o resultado, e não para o processo de cálculo, como o CEC e o pay-back.

Além disso, o CCV se mostrou mais sensível às variações do consumo anual de eletricidade, pois reduz a relevância dos investimentos iniciais, indicando resultados no longo prazo. Já o pay-back e o CEC indicam os resultados no médio e curto prazo, valorizando a importância do investimento inicial e focando, dessa forma, o interesse do investidor, que é também consumidor de energia.

Mais uma vez, ressaltou que, apesar do CEC poder ser explorado como um indicador mais completo por ser analisado com a economia de energia, o trabalho demonstrou que eles são complementares. Assim, a definição de um único

indicador deve ser feita de acordo com o enfoque pretendido com a análise, considerando-se tais possibilidades.

2 METODOLOGIA

Inicialmente, a revisão bibliográfica foi essencial para estabelecer um referencial teórico que desse suporte aos objetivos propostos, abordando assuntos necessários à compreensão do tema. Neste referencial teórico, exposto na seção anterior, discutiu-se a questão da eficiência energética em edificações. A influência da envoltória dos edifícios no consumo de energia e a importância da arquitetura bioclimática com alternativa para se alcançar essa eficiência foram enfatizadas. Abordou-se ainda a regulamentação para eficiência energética em edificações, enfocando a regulamentação brasileira para o setor residencial. Finalmente, tratou-se da avaliação econômica, que pode ser feita através de indicadores que apontam se os investimentos em medidas para promover a eficiência energética em edificações, conhecidas como MCE, trazem reais benefícios econômicos.

Um levantamento documental foi realizado para a definição de um edifício residencial, na cidade de Maceió, que se constitui como estudo de referência. Esta etapa foi necessária para definir o recorte espacial e para identificar as principais características construtivas dos edifícios residenciais desta área da cidade, aprovados em um determinado recorte temporal. Em seguida, avaliou-se o nível de eficiência energética deste edifício através do método prescritivo do RTQ-R, identificando os itens que precisavam ser modificados para se alcançar maiores níveis de eficiência. Dessa forma, novos cenários, com a incorporação das MCE necessárias para elevar o nível de eficiência foram elaborados e avaliados, até que este edifício alcançasse o nível "A" do RTQ-R.

Finalmente, para avaliar se os investimentos nas MCE propostas acarretam reais benefícios econômicos, deve-se, entre outros dados, obter os consumos anuais de energia de cada caso. Para tanto, foram realizadas simulações computacionais de desempenho termo-energético no *EnergyPlus*, do edifício em estudo, de acordo com seu projeto e especificações originais, e do mesmo edifício com as modificações propostas (MCE). Com a obtenção dos dados necessários, foi possível avaliar se os investimentos realizados em MCE

são compensados pela economia no consumo de energia calculando-se o *pay-back* e o CEC, indicadores de análise de custos apresentados na seção 1.3.3 da seção 1 desta dissertação.

2.1 Escolha e Caracterização do Edifício Residencial Multifamiliar

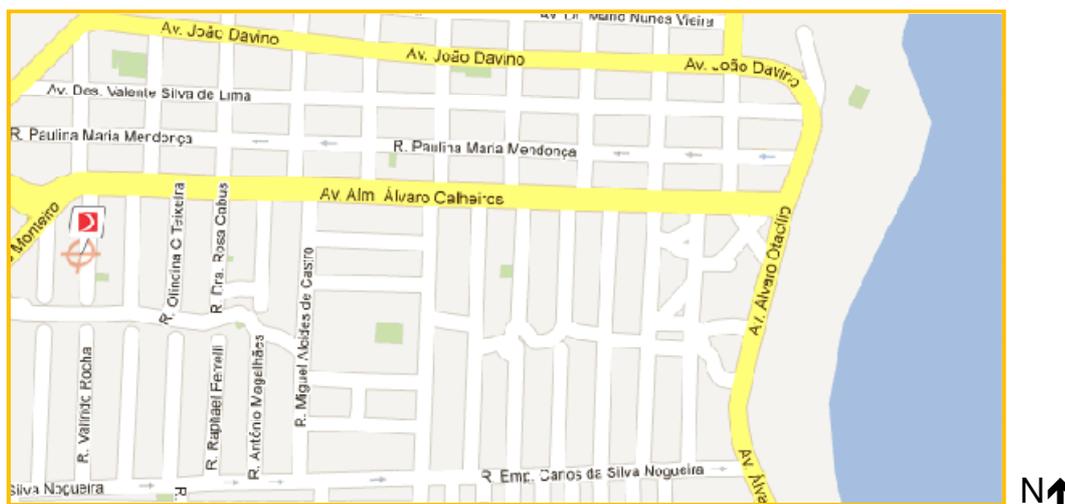
O Edifício Residencial Índico, empreendimento da Construtora Delman Sampaio, constitui-se como estudo de referência deste trabalho. Seu projeto arquitetônico foi aprovado na Superintendência Municipal de Controle do Convívio Urbano (SMCCU) no ano de 2010 e está em fase de construção. Localiza-se na rua José Carneiro da Cunha Sarmento, na Jatiúca.

Figura 14 - Maquete eletrônica do Edifício Índico



Fonte: Construtora Delman Sampaio, <http://www.delman.com.br/empreendimentos/?vCod=12&vArea=1>

Figura 15 - Localização do Edifício Índico, bairro de Jatiúca



Fonte: Construtora Delman Sampaio, <http://www.delman.com.br/empreendimentos/?vCod=12&vArea=1>

O recorte temporal foi definido de acordo com os anos em que ocorreram as primeiras iniciativas relacionadas à eficiência energética em edificações no Brasil, pois estas poderiam ter incentivado a inclusão desta questão nos projetos de novos empreendimentos. A primeira lei brasileira referente à eficiência energética surgiu após o racionamento de energia ocorrido em 2001. Porém, apenas em 2009 as edificações passaram a fazer parte desse universo com a aprovação e publicação do RTQ-C e do RTQ-R, em 2010.

A fim de definir o recorte espacial e de identificar as principais características construtivas dos edifícios residenciais multifamiliares desta área da cidade, levantamentos documentais foram realizados na SMCCU e no *website* do Sindicato da Indústria da Construção Civil de Alagoas (SINDUSCON/AL).

Dentre as pesquisas de mercado realizadas pelo SINDUSCON/AL, destaca-se o Índice Velocidade de Vendas (IVV). Este índice se refere ao percentual de vendas em relação à oferta de unidades habitacionais, em um determinado período de tempo. Através desta avaliação, que ocorre mensalmente, sabe-se o desempenho de vendas dos imóveis disponíveis no mercado de Maceió. As informações deste índice permitem que os investidores identifiquem características que os empreendimentos devem ter para que se alcance uma aceleração nas

vendas, aumentando-se a margem de lucros. De modo geral, essas características são aquelas solicitadas aos arquitetos, mesmo que para isso outros condicionantes projetuais não sejam priorizados.

Nas tabelas a seguir, retiradas do relatório do IVV de dezembro de 2010, percebe-se que nos bairros da orla marítima há uma maior oferta de unidades habitacionais, principalmente nos bairros Ponta Verde e Jatiúca (Ver figura 16). Além disso, os dados também apontam que a maioria das unidades ofertadas e vendidas possuem entre 71 e 100m², possuindo 2 ou 3 quartos (Ver figura 16 e tabela 5).

Assim, definiu-se que o recorte espacial deste estudo seria o bairro de Jatiúca e que o projeto do edifício residencial multifamiliar deveria contemplar as características presentes nas edificações com maior número de unidades ofertadas e vendidas, segundo o IVV.

Figura 16 - Oferta de vendas de apartamentos por bairro - dezembro/2010

BAIRROS	OFERTAS						VENDAS					
	Absoluto	%	1 dorm.	2 dorm.	3 dorm.	4 dorm.	Absoluto	%	1 dorm.	2 dorm.	3 dorm.	4 dorm.
Ponta Verde	247	25,4	8	33	160	46	9	23,8	00	02	07	00
Pajuçara	39	4,0	00	00	36	03	00	-	00	00	00	00
Farol	123	12,7	00	00	89	34	03	7,9	00	00	03	00
Mangabeiras	01	0,1	00	01	00	00	00	-	00	00	00	00
Jatiúca	266	27,3	00	04	220	42	06	15,8	00	01	05	00
Poço	01	0,1	00	00	01	00	00	-	00	00	00	00
Cruz das Almas	178	18,3	93	8	77	00	12	31,8	02	00	10	00
Serraria	116	11,9	00	116	00	00	07	18,4	00	07	00	00
Stella Maris	02	0,2	00	01	01	00	01	2,3	00	01	00	00
TOTAL	973		101	163	584	125	38		2	11	25	00
%		100	10,4	16,8	60,0	12,8		100	5,2	29,0	65,8	00

Fonte: www.sinduscon-al.org.br

Tabela 5 - Ofertas, vendas e IVV por área útil – dezembro/2010

Área (m ²)	Ofertas	Vendas	IVV (%)
35 a 55	217	09	4,2
56 a 70	221	08	3,6
71 a 100	237	18	7,6

101 a 140	199	03	1,5
Acima de 140	99	00	-
Total	973	38	3,9

Fonte: www.sinduscon-al.org.br

A fim de identificar os projetos de edifícios residenciais multifamiliares aprovados no ano de 2010 em Maceió a serem construídos no bairro Jatiúca, realizou-se um levantamento documental na SMCCU no mês de abril do ano 2011. Tal levantamento também englobou os anos 2008 e 2009 e o bairro Ponta Verde para se verificar, a partir de uma amostra maior, as principais características construtivas das envoltórias na produção arquitetônica de edifícios residenciais multifamiliares em Maceió. Neste levantamento, detectou-se os nomes dos edifícios aprovados assim como as construtoras responsáveis pelos mesmos.

Em um segundo momento, realizou-se uma pesquisa nos *web sites* destas construtoras e foram elaboradas tabelas contendo informações de cada edifício, como orientação da fachada principal (correspondente àquela de acesso ao edifício), número de apartamentos por andar, área dos apartamentos e material de revestimento do envoltório. A tabela 6 representa um trecho da tabela elaborada, enquanto no apêndice A encontra-se a tabela completa. Ressalta-se que dos 67 edifícios levantados na SMCCU, obteve-se informações de 51 deles.

Tabela 6 - Trecho da tabela com as informações dos edifícios residenciais aprovados na SMCCU nos anos de 2008, 2009 e 2010

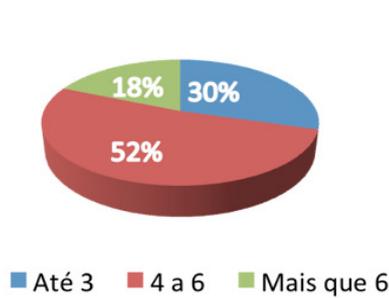
Ano/ Nº Reg. SMCC U	Foto/ estudo 3d	Nome do edf.	Constru- tora	Endereço	Orientação (fachada principal)	apt ^{os} por andar	Área dos apt ^{os} (m ²)	Nº de quartos	Material fachada
2008/ 231		Samoa	Record	Rua Miguel Alcides de Castro, 285, Jatiúca	leste	6	107 a 110	3	Cerâmica
2008/ 39		Chamberry	Delman	R. Hélio Pradines, 783, Ponta Verde	norte	4	108 a 223	4	Cerâmica
2011/ 11		Vitta	V2	R. Prefeito Abdon Arroxelas, 816, Ponta Verde	sul	5	84,70 a 87,60	3	Cerâmica
2008/ 273		Felicitá	Sampaio Soriano	R. Dr. Aureliano Teixeira de Vasconcelos, Jatiúca	leste	4	92 a 102	3	Cerâmica
2010/ 243		Port Ville III	Contrato	R. General Newton de A. Cavalcante, Jatiúca	leste	16	41,33 a 72,13	2	Cerâmica

Fonte: Autora, 2013

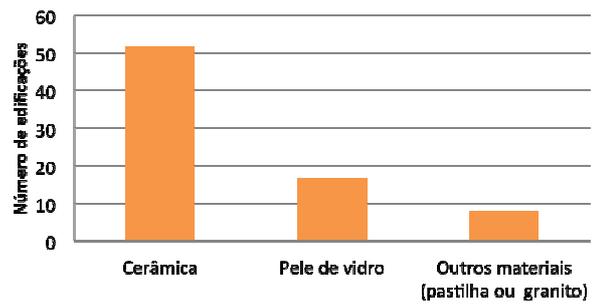
Com essas informações sistematizadas, outras características foram observadas, em cada edifício. Constatou-se que a maioria dos edifícios residenciais que tiveram seus projetos aprovados no período analisado possuem entre 7 e 10 pavimentos, entre 4 e 6 unidades habitacionais por pavimento (gráfico 4), com as áreas úteis (das unidades habitacionais) entre 71 e 100m². Além disso, a maioria dos edifícios possui envoltória com revestimento cerâmico (gráfico 5), suas formas são predominantemente ortogonais (gráfico 6) e, quanto aos dispositivos de proteção solar, possuem apenas varandas.

Gráfico 4 - Quantidade de unidades Habitacionais por pavimento dos edifícios analisados

Gráfico 5 - Ocorrência dos materiais de revestimento nas fachadas dos edifícios analisados



Fonte: Autora, 2013



Fonte: Autora, 2013

Gráfico 6 - Forma dos edifícios analisados (predominantemente horizontal, predominantemente curva, predominantemente ortogonal)



Fonte: Autora, 2013

Quanto à cor da envoltória, observa-se uma grande ocorrência de revestimentos na cor escura. Provavelmente esta decisão projetual tem o objetivo estético de “camuflar” as aberturas de janelas, com faixas horizontais onde estas estão localizadas em revestimento escuro, e as faixas entre elas com um revestimento mais claro, como exemplificado no Edifício Castel Del Mar, localizado no bairro Jatiúca (ver figura 11).

Figura 17 - Edifício com revestimento preto nas fachadas “camuflando” as janelas - Edifício Castel Del Mar



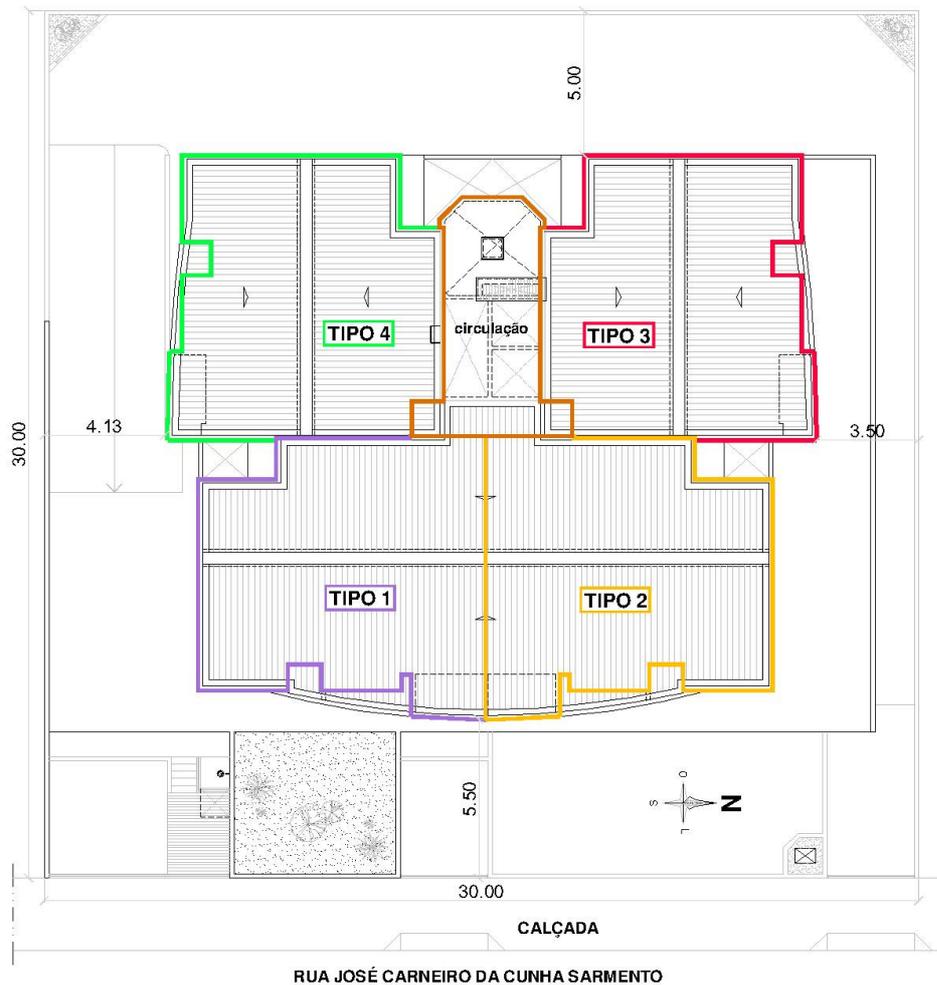
Fonte: Construtora Delman Sampaio, <http://www.delman.com.br/empreendimentos/?vCod=12&vArea=1>

2.1.1 O edifício residencial Índico

O edifício residencial Índico foi um dos edifícios analisados, localizado no bairro Jatiúca, cujo projeto arquitetônico foi aprovado no ano de 2010. Este reúne as características identificadas como as mais recorrentes nos edifícios analisados. Possui 10 pavimentos-tipo com 4 unidades habitacionais em cada pavimento. Cada unidade habitacional tem área útil de 85m² e possui 3 dormitórios. Sua envoltória terá revestimento cerâmico nas cores preta, marrom, creme e vermelha, enquanto os fechamentos transparentes serão compostos por esquadrias em alumínio anodizado e vidro (ver figura 14 na seção 2.1 desta seção).

O edifício está implantado em um terreno que mede 30,00m de frente e 30,00m nas laterais (ver figura 18). O sistema construtivo adotado consiste, basicamente, em estrutura de concreto armado e alvenaria de vedação em blocos cerâmicos e argamassa nas duas faces.

Figura 18 - Planta de locação e cobertura do edifício Índice



Fonte: Autora, 2013

Além dos 10 pavimentos-tipo, o edifício Índice compõe-se de subsolo, pilotis e pavimento garagem. No subsolo, além da garagem, encontram-se a central de gás, o gerador e o espaço reservado para lixeira. O pilotis conta com uma área destinada a garagem, uma copa, sala para o síndico, vestiário, banheiro para funcionários e uma guarita com banheiro. Além disso, possui uma recepção, salão de festas com banheiros masculino e feminino, área externa livre destinada a recreação infantil e uma piscina com área de deck (ver figura 19).

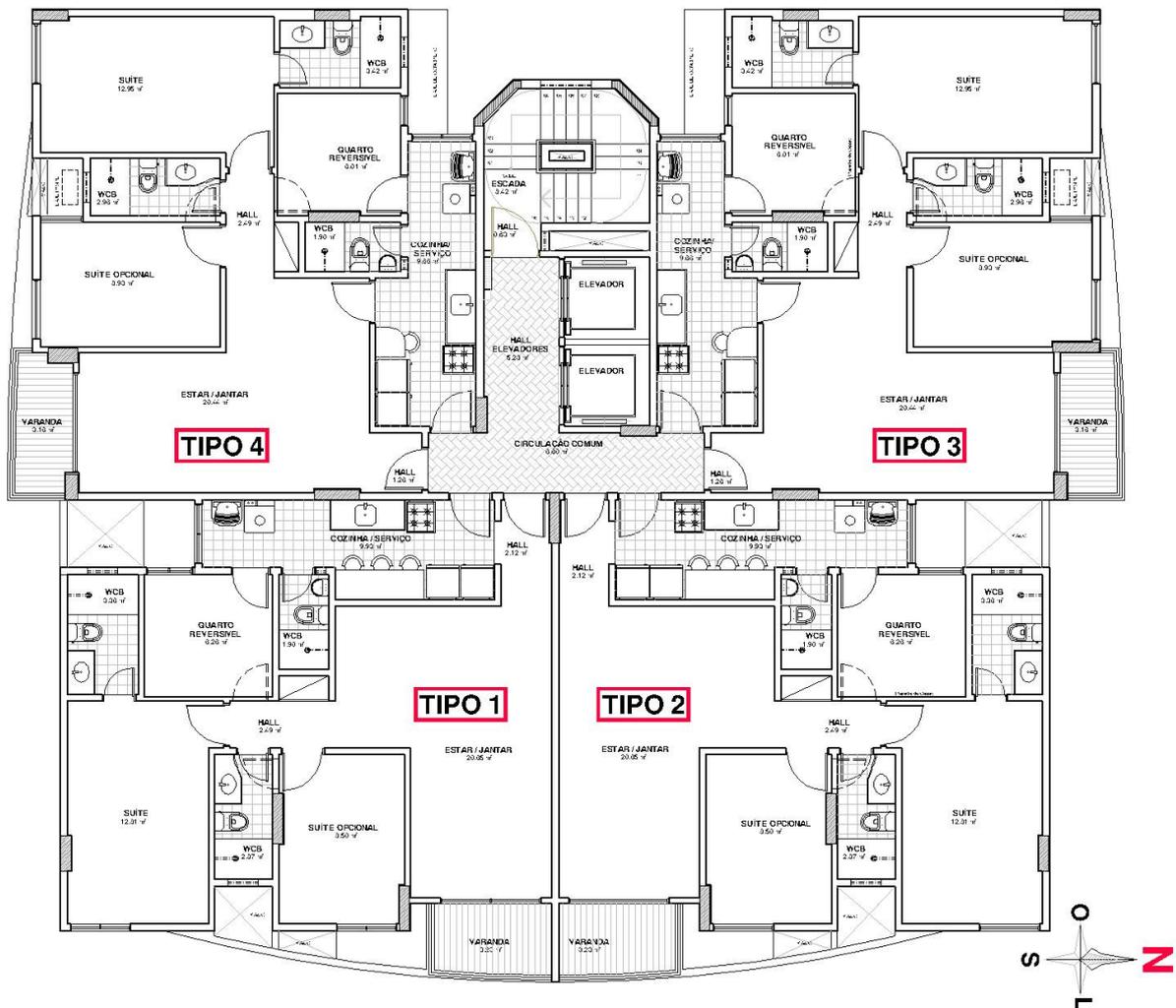
Figura 19 - Pilotis do edifício Índico - material de divulgação



Fonte: Construtora Delman Sampaio

A fachada voltada para a rua que dá acesso ao edifício está orientada a leste. Os apartamentos da terminação 01 são orientados a leste e sul, os da terminação 02 a leste e norte, os da terminação 03 a norte e oeste e os da terminação 04 a sul e oeste, conforme figura 20. Cada apartamento é composto por sala de estar/jantar, varanda, 03 quartos, 03 banheiros, cozinha e área de serviço.

Figura 20 - Planta Baixa do pavimento tipo do Edifício Índico



Fonte: Adaptado da Construtora Delman Sampiaio, 2011

De acordo com Leão Júnior (2008), no mercado imobiliário de Maceió, o preço de venda tabelado de apartamentos “tipo” em um mesmo andar, varia apenas em função da orientação de cada apartamento. Ainda de acordo com o autor, a diferença de preço entre um apartamento considerado nascente e um apartamento considerado poente varia entre 5% e 10%, aproximadamente, sendo o mais caro aquele voltado para o quadrante leste. Tal fato pode ser confirmado observando-se os valores da tabela de preços para os apartamentos do 9º andar, por exemplo, cuja

diferença de preço entre a unidade mais cara (nascente) e a unidade mais barata (poente) é de 9,47% (ver figura 21).

Figura 21 - Tabela de preços de venda dos apartamentos do edifício Índico – Variação de preço de acordo com a orientação (unidades habitacionais do 9º pavimento)

APTO.		VAGA	PARCELADO EM ATÉ 100 MESES					
		Nº	VALOR TOTAL	SINAL À VISTA	10 SEMESTRAIS	60 MENSAIS	80 MENSAIS	100 MENSAIS
101	21		306.415,71	45.962,36	6.128,31	3.319,50	2.489,63	1.991,70
201	8		324.491,65	48.673,75	6.489,83	3.515,33	2.636,49	2.109,20
203	24		290.631,82	43.594,77	5.812,64	3.148,51	2.361,38	1.889,11
204	39		296.034,51	44.405,18	5.920,69	3.207,04	2.405,28	1.924,22
301	9		328.956,68	49.343,50	6.579,13	3.563,70	2.672,77	2.138,22
304	25		300.499,54	45.074,93	6.009,99	3.255,41	2.441,56	1.953,25
403	22		299.561,89	44.934,28	5.991,24	3.245,25	2.433,94	1.947,15
603	33		308.491,95	46.273,79	6.169,84	3.342,00	2.506,50	2.005,20
702	28		334.530,53	50.179,58	6.690,61	3.624,08	2.718,06	2.174,45
703	18		312.956,98	46.943,55	6.259,14	3.390,37	2.542,78	2.034,22
802	34		338.995,56	50.849,33	6.779,91	3.672,45	2.754,34	2.203,47
803	17		317.422,01	47.613,30	6.348,44	3.438,74	2.579,05	2.063,24
804	15		322.824,70	48.423,71	6.456,49	3.497,27	2.622,95	2.098,36
901	1		355.746,87	53.362,03	7.114,94	3.853,92	2.890,44	2.312,35
902	5		343.460,59	51.519,09	6.869,21	3.720,82	2.790,62	2.232,49
903	16		321.887,05	48.283,06	6.437,74	3.487,11	2.615,33	2.092,27
904	7		327.289,74	49.093,46	6.545,79	3.545,64	2.659,23	2.127,38
1001	2		360.211,91	54.031,79	7.204,24	3.902,30	2.926,72	2.341,38
1003	4		326.352,08	48.952,81	6.527,04	3.535,48	2.651,61	2.121,29
1004	6		331.754,77	49.763,22	6.635,10	3.594,01	2.695,51	2.156,41

*Preço à vista com desconto a negociar.

DESCRIÇÃO DO PRÉDIO:
Subsolo, pilotis, 01 pavimento garagem, 10 pavimentos tipo, 04 apartamentos por andar; 02 elevadores, salão de festas, guarita de segurança, portão automático, gerador, central de gás, 01 área de estacionamento para até 02 veículos de pequeno porte. Revestimento externo em cerâmica.

DESCRIÇÃO DOS APARTAMENTOS:
TERMINAÇÃO 1,2,3 e 4
Sala de estar/jantar, varanda, 03 quartos (sendo 01 suite e outro suite opcional), cozinha, área de serviço e WCB.

* Esta tabela poderá ser modificada sem aviso prévio.
* Solicitamos aos Srs. corretores ligar p/ a construtora confirmando a disponibilidade e valor do imóvel em negociação.
* Material para consulta de corretores.

Construtora Delman Sampaio Ltda
Rua Odilon Vasconcelos, nº 196, Jatiuca, Maceió-AL
Contato: (82) 3131-1505

Fonte: Construtora Delman Sampaio, 2012

O fato de existirem apartamentos mais ou menos favorecidos em relação à ventilação e insolação, dependendo da forma de ocupação do terreno e da quantidade de unidades por andar, resulta nessa diferenciação dos valores de venda. Segundo Leão Júnior (2008), comprar um apartamento poente pelo fato de custar menos pode não ser vantajoso. Resultados de sua pesquisa mostraram que, no longo prazo, o uso de aparelhos de ar condicionado durante o período de financiamento dos apartamentos, resulta em gastos devido ao consumo de energia que pode até superar o preço dos imóveis. Destaca-se que o uso deste equipamento pode ser feito mesmo quando não há necessidade, do ponto de vista térmico, porém, a orientação da edificação contribui significativamente para sua utilização na busca de conforto térmico.

No caso de Maceió, um apartamento voltado para o nascente tem a vantagem de receber as ventilações dominantes, que vêm do quadrante Leste. Além disso, de forma geral, a insolação neste apartamento acontece de forma mais intensa durante a manhã e, apesar da carga térmica recebida durante o dia, no período da noite a temperatura já se encontra mais amena. Já os apartamentos voltados para o poente, cujas fachadas recebem incidência solar direta no período da tarde ainda se encontram, no período da noite, com seus fechamentos transmitindo o calor recebido para dentro da edificação. Tal situação tem influência significativa em relação à eficiência energética. Como a noite normalmente é o período de maior ocupação em apartamentos residenciais, estes, voltados para o poente, tendem a ser mais desconfortáveis e dependentes da climatização artificial.

2.2 Avaliações do Nível de Eficiência Energética

A pesquisa documental forneceu dados para a escolha de um edifício real na cidade de Maceió. Este foi avaliado pelo método prescritivo do RTQ-R e serviu de base para gerar um novo modelo com as alterações de características construtivas que o impediam de alcançar um maior nível de eficiência energética. Tais características foram modificadas progressivamente, de acordo com o nível de eficiência alcançado com a implantação de cada uma delas, até que o edifício

alcançasse o nível A. Após esta etapa, ambos foram simulados para obtenção do consumo anual de eletricidade, utilizando o programa computacional *EnergyPlus* (versão 7.1).

2.2.1 RTQ-R: método prescritivo

A avaliação do Regulamento residencial neste estudo é em relação a uma edificação multifamiliar, localizada na cidade de Maceió, que está inserida na zona bioclimática 8. A classificação do nível de eficiência de edificação é o resultado da ponderação da classificação de todas as unidades habitacionais autônomas da mesma pela área útil das unidades habitacionais - UH's, excluindo terraços e varandas. Conforme foi explicado e ilustrado na seção 1, a pontuação final obtida é atribuída uma classificação que varia do nível A ao E. Neste estudo foram realizadas avaliações de envoltória, utilizando-se o método prescritivo do RTQ-R.

Uma vez que o nível final de eficiência de cada UH e, conseqüentemente, da edificação multifamiliar, dependem da avaliação do sistema de aquecimento de água, dois níveis de eficiência foram atribuídos para este sistema. Primeiramente se considerou o nível “D”¹¹, pois o edifício não conta com sistema de aquecimento instalado, deixando o usuário restrito à instalação do chuveiro elétrico. Em seguida, considerou-se que o edifício conta com um sistema de aquecimento de água instalado que alcançou o nível “A”.

As áreas de uso comum, cuja classificação é um item independente da classificação de UH's, não serão avaliadas neste estudo, visto que os aspectos considerados se referem basicamente aos equipamentos utilizados, como motores elétricos, bombas centrífugas e elevadores.

¹¹Nas regiões Norte e Nordeste, caso não exista sistema de aquecimento de água instalado na UH, deve-se adotar equivalente numérico de aquecimento de água (EqNumAA) igual a 2, ou seja, nível D. A justificativa é que nestas regiões o nível D equivale ao nível máximo possível de ser atingido por sistemas de aquecimento elétrico. Nas demais regiões não é aceitável a ausência de sistema de aquecimento de água instalado e, por isso se atribui o menor nível possível – E.

Avaliou-se o edifício Índico, apresentado no item 2.1 (da metodologia), considerando suas características construtivas, especificadas no projeto arquitetônico. Foram analisados os requisitos referentes à avaliação da envoltória e as bonificações referentes à iluminação e ventilação natural.

2.2.1.1 Classificação do Nível de Eficiência da Envoltória

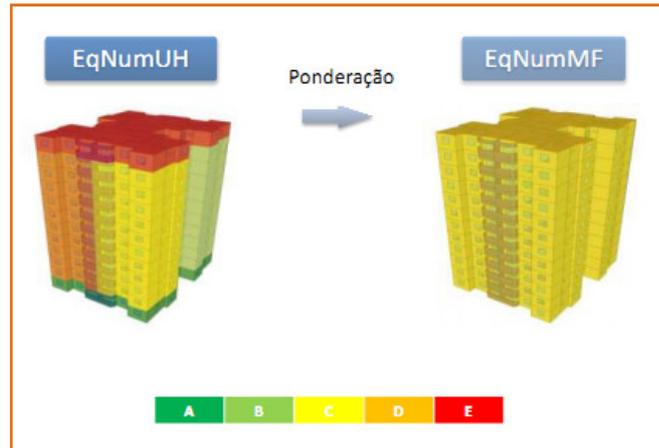
No RTQ-R, o desempenho da envoltória é o requisito de maior peso. Isto porque além de estar diretamente ligado à sensação de conforto dos habitantes, há a possibilidade de avaliação em fase de projeto e pela garantia de ser, essencialmente, o que é entregue ao consumidor, diferente de equipamentos, que podem ser trocados. Apesar de não ser diretamente ligada ao consumo de eletricidade, como foi visto na seção 1, a envoltória causa grande influência na sensação de conforto térmico dos usuários e, conseqüentemente, interfere na necessidade ou não de condicionamento artificial.

No Regulamento, na zona bioclimática 8, na qual a cidade de Maceió está inserida, a envoltória é avaliada pelo Regulamento sob dois parâmetros: eficiência para resfriamento, que corresponde ao desempenho em dias quentes; e eficiência para refrigeração, que corresponde ao desempenho para ambientes condicionados artificialmente. Neste estudo a avaliação é realizada em relação à habitação ventilada naturalmente, no intuito de promover conforto sem que seja necessária a utilização de sistemas de condicionamento artificial.

As medições individualizadas de eletricidade e água em edificações residenciais multifamiliares, são pré-requisitos gerais para obtenção dos níveis A e B na avaliação da envoltória, caso tenha sido construída a partir de 25 de novembro de 2010.

Como foi visto, para obter o nível de eficiência da envoltória, devem-se avaliar todas as UH's da edificação, conforme ilustração esquemática da figura 22.

Figura 22 - Ilustração esquemática da determinação do equivalente numérico da edificação multifamiliar



Fonte: Souza, 2011

Para tanto, primeiramente, deve-se identificar os ambientes de permanência prolongada e os ambientes de permanência transitória dentro de cada UH. Cada ambiente é avaliado separadamente para depois se ponderar e obter o nível de eficiência da UH.

2.2.1.1.1 Pré-requisitos para avaliação da envoltória

O Regulamento exige o atendimento a alguns pré-requisitos de acordo com a zona bioclimática. Caso o ambiente, ou UH, não os atenda, sua avaliação não ultrapassa níveis determinados para cada pré-requisito.

Para o cálculo da transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância, apenas os ambientes de permanência prolongada são considerados. No caso do edifício Índice, os ambientes de permanência prolongada das UH's são a sala de estar/jantar, a suíte, a suíte opcional e o quarto reversível (ver figura 23).

Figura 23 - Planta baixa de um apartamento tipo do Edifício Índice



Fonte: Construtora Delman Sampaio

A transmitância térmica, a capacidade térmica e a absorvância solar das paredes externas e da cobertura de cada ambiente, devem ser calculadas. Caso os materiais, ou cor no caso da absorvância, sejam diferentes em um mesmo ambiente, deve-se fazer a ponderação por área a fim de se obter um único valor para cada ambiente e depois um valor ponderado para toda a unidade habitacional. Este valor deve ser comparado com as exigências para a Zona onde se localiza a edificação, encontradas no RTQ-R e na Norma 15.220-1 (ABNT, 2005). Ver figura 24.

Figura 24 - Pré-requisitos de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica

Zona Bioclimática	Componente	Absortância solar	Transmitância térmica	Capacidade térmica
		(adimensional)	[W/(m²K)]	[kJ/(m²K)]
ZB1 e ZB2	Parede	Sem exigência	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	Sem exigência	$U \leq 2,30$	Sem exigência
ZB3 a ZB6	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 1,50$	Sem exigência
ZB7	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência
ZB8	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	Sem exigência
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência

Fonte: RTQ-R, 2010, adaptado de NBR 15575-4

Quanto aos pré-requisitos relacionados à ventilação natural também são analisados os ambientes de permanência prolongada. Além disso, exige-se, para obtenção do nível A na envoltória da UH, que a maioria dos banheiros possua ventilação natural.

Deve-se atender a um percentual mínimo de área de abertura para de cada ambiente de cada UH, de acordo com os pré-requisitos para a zona bioclimática em questão (de acordo com a equação 3.4 do Manual, página 65). Ver figura 25.

Figura 25 - Percentual de área mínima para ventilação em relação à área de piso do ambiente

Ambiente	Percentual de abertura para ventilação em relação à área útil do ambiente(A)		
	ZB 1 a ZB6	ZB 7	ZB 8
Ambientes de permanência prolongada	$A \geq 8\%$	$A \geq 5\%$	$A \geq 10\%$

Fonte: Manual do RTQ-R, adaptado de NBR 15575-4

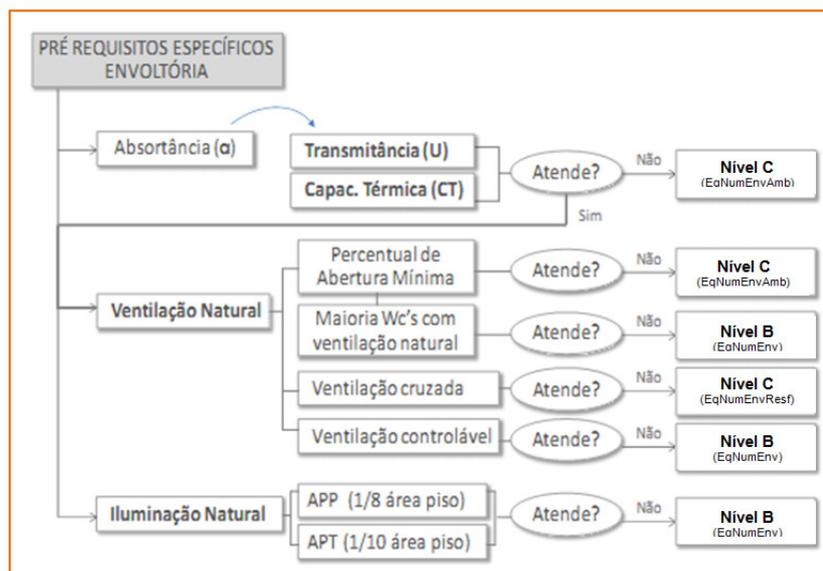
Como pré-requisito para nível “A”, nos ambientes de permanência prolongada deve-se garantir condições de ventilação controlável com as devidas

proteções à chuva e à segurança. Esta ventilação deve garantir ao usuário a opção de utilizá-la quando desejado, permitindo a regulagem do fluxo de ventilação.

Outro pré-requisito da ventilação natural se refere à ventilação cruzada, analisado para a UH como um todo, e não para cada ambiente individualmente. O projeto de ventilação natural deve promover condições de escoamento de ar entre as aberturas localizadas em pelo menos duas diferentes fachadas (opostas ou adjacentes) e orientações da edificação, permitindo o fluxo de ar necessário para atender condições de conforto e higiene (Manual do RTQ-R, p. 67).

Quanto à Iluminação Natural, calcula-se a área de cada ambiente de permanência prolongada. Calcula-se também a área das aberturas efetivas para iluminação em cada ambiente e relaciona a área das aberturas com as áreas úteis de cada ambiente, verificando se atendem ao pré-requisito (1/8 para APP).

Figura 26 - Resumo dos pré-requisitos da envoltória



Fonte: Manual do RTQ-R, p. 71

2.2.1.1.2 Determinação do EqNumEnv

Para a determinação do Equivalente Numérico da Envoltória (EqNumEnv) foi utilizada a "PLANILHA_RTQ-R-envoltória.xlsx" confeccionada pelo LABEEE (ver figura 27). Para cada ambiente de permanência prolongada, de cada UH, utiliza-se uma planilha, onde há comentários ao lado de cada variável a ser inserida,

instruindo seu preenchimento. Para os campos classificados como binário, a resposta deve ser "1" (um) em caso afirmativo e "0" (zero) em caso negativo. Os demais campos devem ser preenchidos com os valores solicitados.

Figura 27 - Planilha de cálculo do desempenho da envoltória

Zona Bioclimática	ZB		ZB8
Ambiente	Nome do Ambiente		Quarto Solteiro
	Identificação		Apto 101
Cobertura	AUamb	m ²	10,00
	Ucob	W/m ² .K	0,00
	CTcob	kJ/m ² .K	1,00
Paredes Externas	α cob	adimensional	0,00
	Upar	W/m ² .K	2,00
	CTpar	kJ/m ² .K	100,00
Característica construtiva	α par	adimensional	0,40
	CTbaixa	binário	0
	CTalta	binário	0
Situação do piso e cobertura	cob	adimensional	0
	solo	binário	1
	pil	binário	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	APambN	m ²	10,00
	APambS	m ²	0,00
	APambL	m ²	0,00
	APambO	m ²	0,00
Áreas de Aberturas Externas	AAbN	m ²	2,00
	AAbS	m ²	0,00
	AAbL	m ²	0,00
	AAbO	m ²	0,00
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,50
	Somb	adimensional	0,00
Características Gerais	AparInt	m ²	15
	PD	m	2,7
	Caltura	adimensional	0,27
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	
	Uvid	W/m ² .K	
	vid	binário	
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	B 8348
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m ² .ano	# #VALOR!
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m ² .ano	D 58,929

Fonte: Labee, 2011. PLANILHA_RTQ-R envoltória.xlsx

No campo "Ambiente" são inseridas a descrição e a área útil do ambiente (AUamb). Nos campos referentes à cobertura e paredes externas são inseridas as respectivas transmitância térmica (U), a capacidade térmica (CT) e a absorvância (α). Para as características construtivas, deve-se informar se o ambiente possui capacidade térmica alta (acima de 250 kJ/m²K) ou baixa (abaixo de 50 kJ/m²K). No caso de valores de capacidade térmica dentro deste intervalo, os campos devem ser deixados em branco.

No espaço referente à situação do piso e cobertura, deve ser informado se a unidade habitacional possui cobertura voltada para o exterior (cob), se possui contato com o solo (solo) e se está sobre pilotis (pil).

Nos campos das áreas de paredes e aberturas externas, informa-se as áreas de paredes e aberturas do ambiente em contato com o exterior, de acordo com a orientação. Em relação às características das aberturas, o fator de ventilação (Fvent) indica a área efetiva (sem obstruções) de ventilação da abertura, varia de 0 a 1 (quando a abertura efetiva para ventilação for igual à abertura do vão, $F_{vent} = 1$, quando a abertura do vão estiver totalmente obstruída $F_{vent} = 0$). O sombreamento indica se há sombreamento na abertura.

Nas características gerais deve ser inserida a soma da área das paredes internas (AparInt) e a altura do pé direito (PD). O coeficiente de altura (Caltura) é calculado automaticamente. Para as zonas bioclimáticas 1 e 2 há a opção de informar se há algum tipo de isolamento (isol) nas paredes externas e/ou cobertura. É necessário informar a transmitância dos vidros (Uvid) e se as aberturas possuem vidro duplo (vid).

Como resultado, será apresentado o desempenho da envoltória para resfriamento, aquecimento e refrigeração, bem como o nível de eficiência da envoltória para a unidade habitacional naturalmente ventilada e condicionada artificialmente. É imprescindível que se observe se há restrições quanto ao nível pretendido pelo ambiente de acordo com os pré-requisitos calculados anteriormente. Pondera-se, então, os Equivalentes Numéricos dos Ambientes (EqNumAmb) para encontrar os Equivalentes Numéricos das Unidades Habitacionais (EqNumUH) de Resfriamento. A fórmula para determinação do EqNumEnv é aplicada de acordo com a Zona Bioclimática em questão. Deve-se verificar se a UH receberá algum ponto por bonificação e somar a pontuação obtida por bonificação à pontuação (PT) final da UH. Finalmente, definido o valor do EqNumEnv da UH, pondera-se pela área para encontrar o EqNumEnv da Edificação Multifamiliar.

2.2.1.1.3 Bonificações

De acordo com explicações feitas no item 1.2.2.3, bonificação é uma pontuação atribuída a iniciativas que aumentem a eficiência da edificação. A pontuação adquirida através da implementação das bonificações pode variar entre 0,00 e 1,50 pontos, sendo 0,00 quando não há nenhuma bonificação e 1,50 quando todas as bonificações são atingidas. Entretanto, 1,00 (um) é a pontuação máxima a ser utilizada. As bonificações podem ser definidas pela equação: $Bonificações = B1 + B2 + B3 + B4 + B5 + B6 + B7 + B8$, onde:

Figura 28 - Pontuação para bonificações

b1	Ventilação Natural	0 - 0,40
b2	Iluminação Natural	0 - 0,30
b3	Uso racional de Água	0 - 0,20
b4	Condicionamento de Ar	0 - 0,20
b5	Iluminação Artificial	0 - 0,10
b6	Ventiladores de teto	0,10
b7	Refrigeradores	0,10
b8	Medição individualizada	0,10
	TOTAL	1,50

Fonte: RTQ-R, 2010

Neste estudo, porém, considera-se apenas as bonificações relacionadas à ventilação natural (porosidade, dispositivos especiais como venezianas, peitoris ventilados e torres de vento, aberturas externas cujos vãos livre tenham o centro geométrico localizado entre 0,40 e 0,70 m medidos a partir do piso e aberturas intermediárias apresentando permeabilidade em relação à circulação do ar) e iluminação natural (profundidade de ambientes e refletância do teto).

2.2.2 Simulação das medidas de conservação de energia

As MCE foram simuladas com melhoramentos gradativos nas alternativas a partir do projeto original do edifício em estudo. Tais medidas estão relacionadas às variáveis consideradas no RTQ-R para avaliação da envoltória (transmitância

térmica (U), capacidade térmica (CT), absorvância (α), área de abertura (AAb), fator de ventilação (Fvent), sombreamento na abertura (somb) e Área de abertura para iluminação). A metodologia *multi-step* utilizada por Lee et al. (2003) e Carlo (2008a) foi adaptada, substituindo a relação custo-benefício pela avaliação prescritiva do RTQ-R.

Como a ordem de aplicação das MCE poderia influir nos resultados, já que uma medida pode alterar os resultados da medida seguinte, foi estabelecido um critério de aplicação das MCE usando a avaliação prescritiva do RTQ-R. Pretende-se que o edifício alcance o nível “A” de eficiência energética, portanto as primeiras MCE propostas foram relacionadas às variáveis que não atendiam aos pré-requisitos da avaliação da envoltória, impedindo que o edifício alcançasse este nível. O projeto original acrescido das alterações mínimas para atender aos pré-requisitos passou a ser identificado como “Caso 1”.

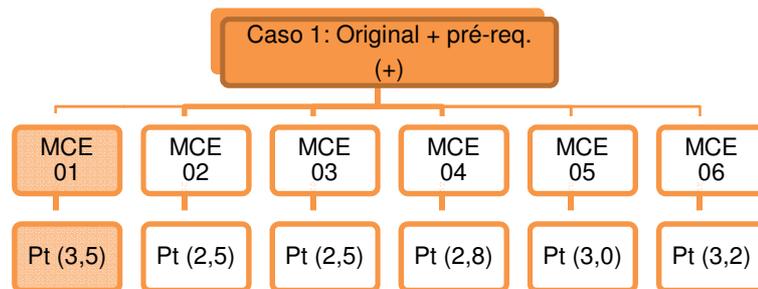
Em seguida, as simulações foram divididas em blocos. Cada bloco contém um número variado de alternativas simuladas, cada alternativa com uma diferente MCE. O primeiro bloco, Bloco Zero, consiste de simulações das MCE isoladamente, cada qual aplicada ao “Caso 1”. Cada avaliação, por meio do RTQ-R prescritivo, fornece a pontuação final para classificação de cada alternativa (caso 1 + MCE). Calculada a pontuação final para todas as alternativas daquele bloco, aquela cuja medida proporcionou uma maior pontuação passa a ser o “Caso 2”. Aplica-se o mesmo processo no Bloco 1, tendo-se o “Caso 2” como base, e assim sucessivamente, até que a envoltória do edifício alcance o nível “A” de acordo com a pontuação obtida.

A Figura 29 apresenta um exemplo para esta situação, em que o Bloco zero consiste da simulação do Caso 1 com cada MCE e resulta no Caso 2. O Bloco 1 de simulações é composto da aplicação das MCE restantes ao Caso 2. Novamente, a medida com maior pontuação (Pt) será considerada para compor o Caso 3 (Caso 2 + MCE de maior Pt).

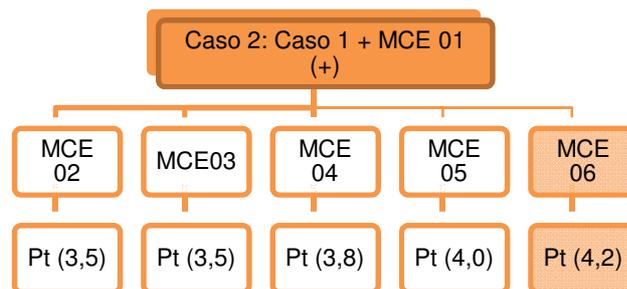
Figura 29 - Procedimento inicial de simulação das MCE, contendo 2 Blocos



Bloco 0:



Bloco 1:



Fonte: Autora, 2013

Este processo se repete até que o edifício alcance o nível “A” de eficiência energética da envoltória, mesmo que isso aconteça antes mesmo de todas as MCE serem incorporadas ao projeto original do edifício. Dessa forma, serão incorporadas ao projeto apenas as MCE necessárias para que o mesmo alcance o nível “A”.

2.3 Avaliação Econômica

Sabe-se que as medidas para melhorar a eficiência da edificação são conhecidas como Medidas de Conservação de Energia (MCE). De forma geral, a economia no consumo de energia reflete-se em uma economia de custos com o uso

da edificação. Para tanto o investimento realizado em uma MCE deve ser compensado pela economia no consumo proporcionada por esta medida.

2.3.1 Impacto nos custos de construção

O acréscimo nos custos com a implementação das MCE foi calculado por meio de uma intervenção na planilha orçamentária, elaborada para o projeto do edifício em estudo, disponibilizada pela Construtora Delman Sampaio. Tal planilha é organizada por grupo de serviços, unidades de medidas, quantitativos e preços unitários médios incluindo a taxa de leis sociais de 126,80%, porém a construtora não forneceu o valor do BDI. Assim, alguns itens como valor de aquisição do terreno, as taxas da construtora, remunerações da construtora e do incorporador, despesas de comercialização, como corretagem e publicidade, entre outros, não foram contemplados na composição da planilha.

Neste estudo, porém, somente os itens referentes à envoltória sofrem alteração e estes já se encontram discriminados na planilha orçamentária, modificando-se apenas os quantitativos. Além disso, profissionais da própria construtora sugeriram que se houvesse a necessidade de inserir algum item não contemplado na planilha, o custo do produto/mão-de-obra deveria ser considerado sem composição, utilizando a sigla “VB” (verba ou valor bruto) já presente em outros itens da planilha.

2.3.2 Indicadores de custos

Diversos indicadores podem ser utilizados para avaliar os custos de implementação de medidas que economizem energia, cada qual com um enfoque específico. Dentre os mais utilizados estão o *pay-back*, por sua facilidade de cálculo, o Custo da Energia Conservada, tradicional na avaliação de MCE, e o Custo do Ciclo de Vida, por abranger diversas variáveis que compõem os custos de uma edificação. Neste estudo, os dois primeiros serão utilizados.

De acordo com a revisão bibliográfica apresentada, para uma avaliação geral da eficiência energética do envoltório, Carlo (2008a) recomenda o uso do CEC, baseando-se na sua facilidade de cálculo e obtenção de dados. Além disso, indica um resultado anual de forma a se ter noção dos resultados imediatos aproximados, sendo ainda avaliado em conjunto com o potencial de economia das medidas de eficiência aplicadas no envoltório. Como em seu estudo nenhum indicador mostrou plena independência em relação à volumetria, cargas internas e demais características das edificações, a restrição ao uso do CEC é a mesma realizada para os demais indicadores.

2.3.2.1 Dados Utilizados nas Equações do Pay-back e do CEC

Para o cálculo do *pay-back* simples, necessita-se apenas dos dados referentes aos valores do investimento realizado nas MCE e ao custo anual da energia que pode ser economizada com a implantação dessas medidas. Já para o cálculo do CEC, deve-se acrescentar informações relacionadas à vida útil da MCE e à taxa de desconto em base anual, equiparada ao INCC (IBGE, 2012).

2.3.2.1.1 Valor do investimento em MCE

O valor do investimento corresponde ao acréscimo nos custos com a implementação das MCE, calculado por meio de uma intervenção na planilha orçamentária.

2.3.2.1.2 Energia economizada pela implementação das MCE

A energia economizada pela implementação das MCE em relação a um caso base - ΔE - (kWh), dado necessário para o cálculo do CEC, e o custo anual da energia que pode ser economizada - CA - (R\$/ano), necessário para o cálculo do *pay-back*, foram obtidos por meio de simulações computacionais. Os resultados

indicaram o consumo anual de energia de do edifício em estudo, de acordo com seu projeto e especificações originais, e do mesmo edifício com as modificações propostas (MCE).

2.3.2.1.2.1 Simulação computacional

A simulação computacional foi realizada com a finalidade de reproduzir o edifício real por meio de um modelo que permitisse identificar seu consumo anual de energia elétrica e a redução deste consumo em outro modelo, incorporando as MCE propostas. Esta diferença no consumo anual de energia dos dois modelos corresponde a energia economizada pela implementação das MCE.

Para esta análise foram utilizados os softwares gratuitos e de distribuição via internet: *Google SketchUp* (versão 8), *EnergyPlus* (versão 7.1) e *Open Studio* (versão 1.0.8). O *Google Sketchup* cria modelos em 3D e é utilizado junto com o *OpenStudio*, *plugin* que foi desenvolvido pelo *National Renewable Energy Laboratory* para o Departamento de Energia dos Estados Unidos com a intenção de possibilitar o uso do modelo diretamente na simulação energética com o *EnergyPlus* (U.S. Department of Energy, 2012).

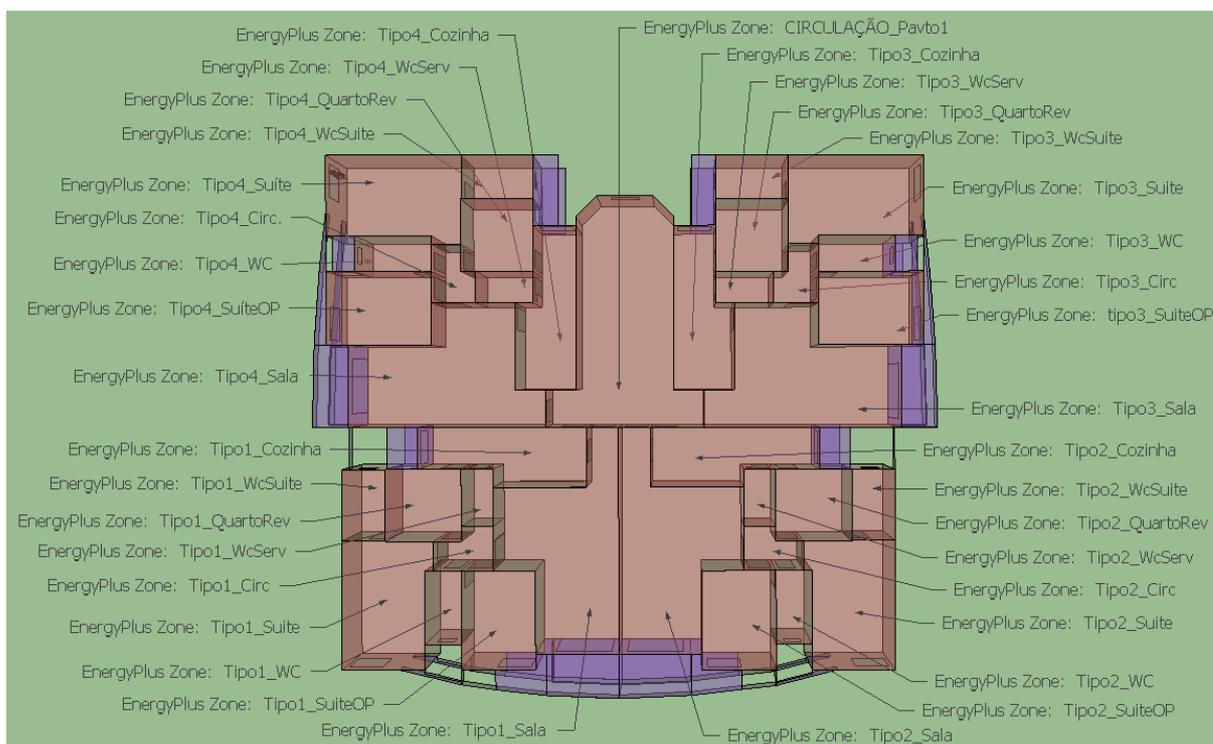
Por meio do *EnergyPlus*, simula-se o desempenho térmico e energético de edificações com todos os sistemas que compõem a edificação e que são relevantes no seu desempenho, tais como climatização (resfriamento, aquecimento e ventilação), iluminação, cargas internas, propriedades térmicas de materiais, e outros elementos que participam das trocas térmicas. Nele é realizada a entrada de dados, como por exemplo, as propriedades dos materiais, elementos construtivos, tipo de vidros, portas, cores externas, número de pessoas que irão frequentar as dependências, localização e o tipo de ar-condicionado que será utilizado para refrigeração e aquecimento.

Para a simulação é necessário um arquivo climático contendo 8760 horas de dados, entre eles temperaturas, umidade, radiação solar incidente no local, vento, pressão atmosférica e iluminância da abóbada celeste. Neste trabalho, foi adotado o arquivo climático EPW de referência para a cidade de Maceió, formato adotado no

EnergyPlus, elaborado a partir de dados horários registrados na estação climatológica do INMET entre os anos de 2000 e 2010. Tal arquivo climático adota o ano climático de referência TMY (Typical Meteorological Year), método que consiste em, para cada estação e cada mês, excluir-se sucessivamente os anos mais quentes e mais frios, até que reste apenas um, que é considerado como o mês típico do lugar. Assim, o TMY foi formado pelos 12 meses selecionados, podendo ser estes meses de diferentes anos (RORIZ, 2012).

Inicialmente foram modelados o primeiro pavimento, um pavimento tipo e o último pavimento do edifício residencial Índice. As UH's foram modeladas com as características geométricas, aberturas, propriedades térmicas dos elementos construtivos e orientação conforme o projeto sob avaliação. Além disso, cada ambiente da cada UH foi modelado como uma única zona térmica (ver figura 30). Esta divisão possibilita analisar a resposta termo-energética das diferentes UH's seguindo a lógica da avaliação prescritiva do RTQ-R. Os ambientes comuns das edificações multifamiliares, tais como circulação vertical, corredores, hall de entrada e similares, foram modelados agrupados em uma única zona térmica.

Figura 30 - Zonas térmicas da modelagem do edifício Índice



Fonte: Autora, 2013

Além disso, os dados de entrada foram especificados apoiando-se nas recomendações para avaliação simulacional no RTQ-R. No que se refere ao sistema de ventilação natural, considerou-se:

- coeficiente de rugosidade do entorno (α) de 0,33. Este valor representa um terreno de centro urbano no qual pelo menos 50% das edificações possuem altura maior que 21 m;
- o coeficiente de descarga¹² (CD) para janelas e portas retangulares deve ser de 0,60;
- o coeficiente do fluxo de ar por frestas (CQ) para janelas e portas retangulares deve ser de 0,001 kg/s.m e o expoente do fluxo de ar (n) deve ser 0,65;
- Padrão de uso da ventilação natural por meio da estratégia de controle automático por temperatura.

Para o sistema de ar condicionado, considerou-se:

- taxa de fluxo de ar por pessoa de 0,00944 m³/s;
- modo de operação do ventilador contínuo;
- eficiência do ventilador de 0,7 e eficiência do motor de 0,9;
- razão entre o calor retirado do ambiente e a energia consumida pelo equipamento (COP) de 3,00 W/W;
- razão entre o calor fornecido ao ambiente e a energia consumida pelo equipamento (COP) de 2,75 W/W;
- número máximo de horas não atendidas do sistema de condicionamento de ar de 10%;

¹² Para correntes de ar canalizadas, ou seja, correntes existentes dentro de espaços enclausurados, como os espaços arquitetônicos, a queda de pressão total depende da configuração geométrica do duto pelo qual o ar passará. Se a corrente incidente na entrada do duto é livre, as perdas dependem da configuração geométrica de entrada e saída da tubulação. Essas perdas são contabilizadas na forma de um coeficiente de descarga – Cd (BITTENCOURTE e CÂNDIDO, 2006)

- capacidade do sistema de condicionamento de ar dos ambientes dimensionada automaticamente pelo programa de simulação, de forma que atenda à exigência do limite de horas não atendidas.

Em relação ao padrão mínimo de ocupação dos dormitórios, considerou-se duas pessoas por ambiente, enquanto a sala deve ser utilizada por todos os usuários dos dormitórios. Modelou-se um padrão de ocupação dos ambientes para os dias de semana e outro para os finais de semana, conforme os horários de ocupação apresentados no RTQ-R (ver anexo C). A ocupação do ambiente é representada pela porcentagem das pessoas disponíveis no horário.

Em função do tipo de atividade desempenhada em cada ambiente, adotou-se uma taxa metabólica para cada atividade. Os valores recomendados pelo RTQ-R (ver anexo C) são baseados na ASHRAE Handbook of Fundamentals (2009), considerando uma área de pele média de 1,80 m² (equivalente à área de pele de uma pessoa média).

Quanto à iluminação, considerou-se dois padrões de uso nos ambientes de permanência prolongada: um para os dias de semana e outro para os finais de semana, conforme RTQ-R (ver anexo C).

Finalmente, as cargas internas de equipamentos devem ser modeladas para a sala. Considera-se o período de 24 horas e a potência das cargas internas de 1,5 W/m² (LabEEE, 2010).

2.3.2.1.3 Vida útil das MCE

Para o cálculo do CEC, as MCE foram consideradas com vida útil de 15 anos. Carlo (2008a) considerou a vida útil de 30 anos, pois, segundo a autora, reposições de elementos da envoltória não são rotineiras no país, e podem ocorrer em um período de tempo semelhante ao escolhido, ou até maior. Porém, de acordo com Vega *et al.* (2010), a vida útil de um sistema de proteção solar do tipo “brise móvel”, uma das MCE consideradas neste estudo, tem uma vida útil de 15 anos.

2.3.2.1.4 Taxa de desconto em base anual

A taxa de desconto foi baseada no Índice Nacional da Construção Civil (INCC) do IBGE. A Tabela 7 apresenta o INCC dos últimos cinco anos quando coletada no ano de 2012, cuja média é 6,45%. Esta média anual foi adotada como cenário único para os custos de construção. As tabelas completas, com os dados para Brasil, Nordeste e Alagoas, encontram-se no anexo A.

Tabela 7 - Média do Índice Nacional da Construção Civil do IBGE nos últimos 5 anos

Variável = Custo médio – variação percentual no ano (percentual)					
Dez 2007	Dez 2008	Dez 2009	Dez 2010	Dez 2011	Média
5,98	10,27	4,51	7,31	4,20	6,45

Fonte: SIDRA – IBGE – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&o=14&i=P&c=2296>

2.3.2.1.5 Preço da tarifa de energia elétrica

O preço da tarifa de energia elétrica foi obtido mediante levantamentos em campo para o grupo B1 em Maceió (baixa tensão – classe residencial – não baixa renda), sendo R\$ 0,50 (cinquenta centavos) para 1 kWh no ano de 2012 (ver figura 31).

Figura 31 - Conta de energia de um apartamento localizado no bairro Jatiúca – Preço da tarifa de energia elétrica

Mês faturado		Classificação					
MAR/2012	RESIDENCIAL						
Apresentação		Linhação					
14/03/2012	TRIFÁSICA						
Leitura atual	14841	14/03/2012	Medidor kWh				
Leitura anterior	13647	07/02/2012	000E3156502				
Dias de consumo	36	Constante	00001,000				
Resíduo kWh		Forma faturamento	NORMAL				
Próxima leitura	13/04/2012	Consumo medido em kWh	1194				
		Consumo faturado em kWh	1194				
CNPJ / CPF:	00022623697420	IE / RG:	108251				
HISTÓRICO DE CONSUMO							
MÊS/ANO	CONSUMO	MÊS/ANO	CONSUMO	MÊS/ANO	CONSUMO	MÊS/ANO	CONSUMO
FEV/12	500	NOV/11	994	AGO/11	834	MAI/11	1237
JAN/12	851	OUT/11	826	JUL/11	1006	ABR/11	1279
DEZ/11	856	SET/11	943	JUN/11	1327	MAR/11	1130
CONSUMO		1194 kWh a R\$	0,505223 =	603,23			
CONTRIBUIÇÃO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA (COP)				6,02			
CORREÇÃO MONETÁRIA (GPM)				2,39			
MULTA POR ATRASO (2X)				18,99			
JÚRIS DE MORA DE IMPORTE / SER				8,21			
Fococep				3,25			
***** REAVISO DE VENCIMENTO DE CONTA *****							
Em 08/03/2012, apuramos o débito abaixo. O não pagamento sujeitará a suspensão do fornecimento a partir de 29/03/2012.							
02/12 301,66							
Caso o pagamento já tenha sido efetuado, favor desconsiderar este reaviso.							
***** LIGUE 0800 082 0196 E FAÇA O PAGO VENCIMENTO 4 9 14 19 24 29 *****							
Reservado ao Fisco: FA71, C969, 1880, 42EC, DOE1, FCBC, F587, F1CC							
COMPOSIÇÃO DA TARIFA (RESOLUÇÃO ANEEL 486/07):						Total a Pagar R\$	
ENERGIA	155,82	TRANSMISSÃO	24,80			638,84	
TRIBUTOS	197,91	DISTRIBUIÇÃO	188,51			Vencimento	
ENC. SETORAIS	36,19					07/04/2012	

Fonte: Autora, 2013

No mês de setembro deste ano, o governo brasileiro detalhou a redução das tarifas de energia elétrica. O anúncio feito pela presidência da república no pronunciamento de 7 de setembro informou o corte de 16,2% para os consumidores residenciais e de até 28% para as indústrias no início de 2013.

Logo, dois cenários foram considerados na avaliação econômica: um com a tarifa de energia elétrica atual, de R\$ 0,50 (cinquenta centavos) para 1 kWh, e outro com uma redução de 16,2% deste valor, resultando em R\$ 0,42 (quarenta e dois centavos) para 1 kWh.

3 RESULTADOS

3.1 Avaliações de Eficiência Energética - Método Prescritivo Do Rtq-R

De forma geral, para se identificar o nível de eficiência energética de uma edificação multifamiliar é necessária a avaliação de todas as suas UH's. Na avaliação de uma UH considera-se os níveis de eficiência energética da envoltória dos ambientes de permanência prolongada e do sistema de aquecimento de água, acrescentando as bonificações para cada item. O resultado da ponderação da classificação das UH's corresponde à classificação do edifício inteiro.

3.1.1 Diagnóstico do edifício Índico

O edifício Índico possui 40 unidades habitacionais, sendo 4 apartamentos tipo por pavimento. O mesmo, localizado na cidade de Maceió, está inserido na zona bioclimática 8. Na primeira avaliação, realizada por meio do método prescritivo, considerou-se o projeto original e suas especificações (ver tabela 8).

Tabela 8 - Especificações de materiais do edifício residencial Índico

Envoltória	
Tijolo 6 furos quadrados, reboco de 2,5cm, revestimento externo em cerâmica nas cores preta, vermelha, marrom e creme	Fechamentos opacos
Alumínio anodizado, linha inova/master, com vidros 4mm, em correr, maxim-ar ou giro).	Fechamentos transparentes
Telha de fibrocimento e laje de concreto	Cobertura
Ambientes das Unidades Habitacionais (UH's)	
Tipo de material	Ambiente aplicado
Piso em cerâmica 33,5 x 33,5 branca	Salas de estar e jantar, circulação, varanda, cozinha/área de serviço, quartos e wc's
Parede em cerâmica 33,5 x 33,5 branca	Cozinha/área de serviço e wc's
Tinta PVA branca (parede e teto)	Salas de estar e jantar, circulação e quartos

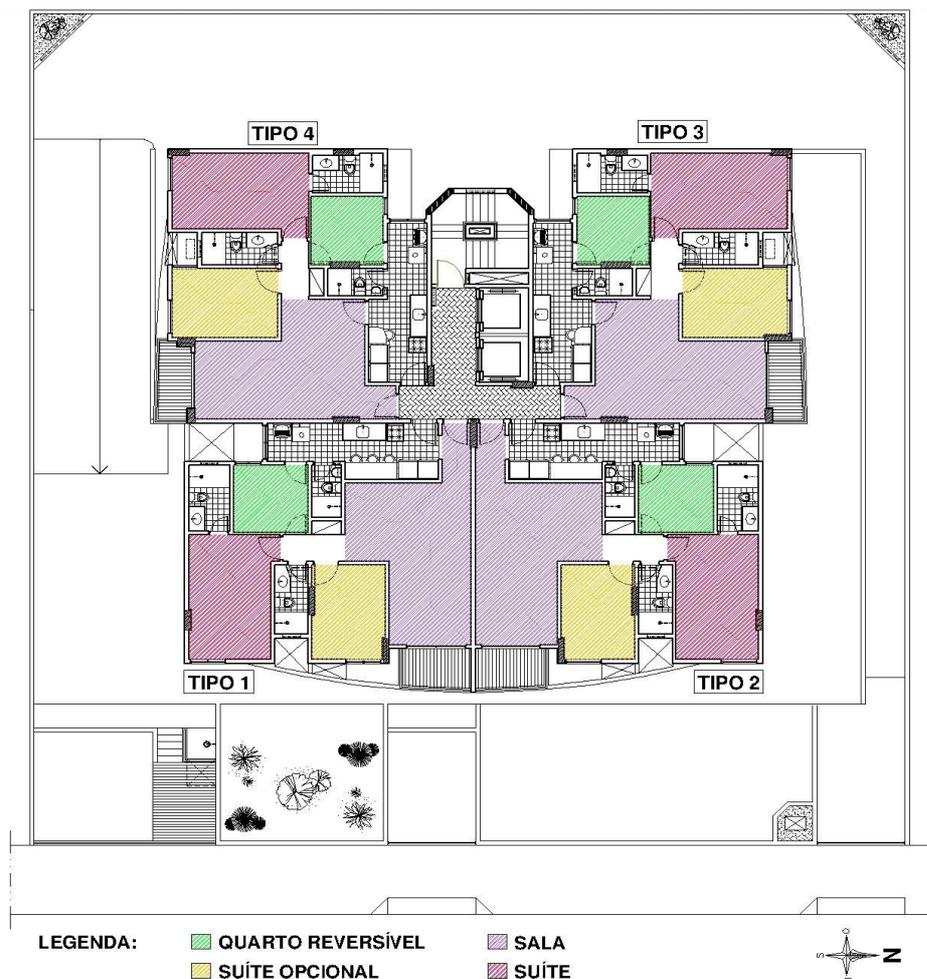
Portas em madeira base verniz	Todos os ambientes
Forro de gesso em placa	WC's, teto abaixo da cobertura (10º pavimento) e varandas

Fonte: Autora, 2013

Primeiramente, verificou-se que o prédio estudado atende em parte, aos pré-requisitos gerais para obtenção dos níveis A e B na avaliação da envoltória, que são medições individualizadas de eletricidade e água. O mesmo possui apenas medição individualizada de eletricidade e começou a ser construído em maio de 2011. Porém, nesta avaliação, considera-se que estes pré-requisitos foram obedecidos, pois tais itens não dependem de decisões arquitetônicas.

O mesmo aconteceu com os pré-requisitos relacionados à avaliação dos ambientes de permanência prolongada de cada UH de acordo com a zona bioclimática. Os resultados das propriedades térmicas dos materiais da envoltória são satisfatórios para que estes ambientes alcancem nível “A”. Os ambientes avaliados em cada UH foram: quarto reversível, suíte opcional, suíte e sala (ver figura 32).

Figura 32 – Planta baixa do pavimento tipo: ambientes de permanência prolongada avaliados



Fonte: Autora, 2013

Quanto à absorvância das paredes externas dos ambientes de permanência prolongada, os valores encontrados foram maiores que 0,6, exceto no quarto reversível e na suíte das unidades das terminações 03 e 04. Como foi visto, quando a absorvância é maior que 0,6 a transmitância deve ser menor ou igual a $2,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ para atender ao pré-requisito. Na avaliação estes valores variaram de 2,04 a 2,34.

Em relação à cobertura, a transmitância encontrada de $1,21 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ também atenderam ao pré-requisito por serem menores ou iguais a $1,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. É importante ressaltar que estes valores correspondem à ponderação por área feita para cada ambiente com materiais, ou cor no caso da absorvância, diferentes. A tabela a seguir expõe os tipos de parede (da envoltória) e cobertura do edifício e suas propriedades térmicas.

Tabela 9 - Análise de pré-requisitos - propriedades térmicas da envoltória do edifício Índice

Índice - Pré-requisitos - Propriedade Térmicas				
paredes tipo 1				
Parede em tijolos cerâmicos 6 furos (9, 14, 24), argamassa e revestimento cerâmico externo				
	Preto	Creme	Marrom	Vermelho
Absortância	0,9	0,3	0,7	0,7
Transmitância	2,04	2,04	2,04	2,04
Capacidade Térmica	151,63	151,63	151,63	151,63
paredes tipo 2 - pilares				
Concreto, argamassa e revestimento cerâmico externo				
	Preto	Creme	Marrom	Vermelho
Absortância	0,9	0,3	0,7	0,7
Transmitância	2,61	2,61	2,61	2,61
Capacidade Térmica	286,72	286,72	286,72	286,72
cobertura				
Forro em gesso, câmara de ar, laje pré-moldada, câmara de ar, madeiramento e telha fibrocimento				
Absortância	0,5			
Transmitância	1,21			
Capacidade Térmica	192,7			

Fonte: Autora, 2013

Quanto a análise dos pré-requisitos de ventilação e iluminação natural, alguns ambientes podem alcançar no máximo o nível “C”.

No que se refere ao percentual mínimo de área de abertura para ventilação, nas terminações 01 e 02 apenas o quarto reversível atendeu ao pré-requisito. Já nas terminações 03 e 04, a suíte opcional e o quarto reversível atenderam ao pré-requisito. Os demais ambientes, mesmo que alcancem um nível maior no cálculo de desempenho da envoltória, não poderão ultrapassar o nível “C” (ver tabela 10).

Tabela 10 - Análise dos pré-requisitos - abertura mínima para ventilação natural

Ventilação Natural - Abertura Mínima								
Terminação UH	Ambiente de PP	AU (m ²)	AA (m ²)	A (m ²)	A (%)	Requisito	Atende?	Níveis
01 e 02	Sala estar/jantar	22,74	1,98	0,09	9	10	Não	E - C
	Suíte opcional	8,31	0,64	0,08	8	10	Não	E - C
	Suíte	12,76	0,64	0,05	5	10	Não	E - C
	Quarto reversível	6,26	0,86	0,14	14	10	Sim	E - A
03 e 04	Sala estar/jantar	21,63	1,98	0,09	9	10	Não	E - C
	Suíte opcional	8,93	1,46	0,16	16	10	Sim	E - A
	Suíte	12,90	0,64	0,05	5	10	Não	E - C
	Quarto reversível	5,90	0,57	0,10	10	10	Sim	E - A

Onde: AU – Área útil do ambiente; AA – Área de abertura para ventilação; A – Percentual de área de abertura para ventilação em relação à área de piso.

Fonte: Autora, 2013

O pré-requisito relacionado à ventilação controlável foi atendido na avaliação do edifício Índice, visto que em todos os ambientes as aberturas são compostas por esquadrias com aberturas dos tipos correr, giro e maxim-ar.

Outro pré-requisito de ventilação natural alcançado se refere à ventilação cruzada, analisado para a UH como um todo. Além disso, a maioria dos banheiros das UH's conta com ventilação natural (ver tabela 11).

Tabela 11 - Análise dos pré-requisitos - ventilação cruzada

Ventilação Natural - Ventilação Cruzada - $A2/A1 \geq 0,25$			
Terminação UH	Ventilação Cruzada	$A2/A1 \geq 0,25$	Maioria dos banheiros com VN
01 e 02	Sim	0,321 - sim	Sim
03 e 04	Sim	0,28 - sim	Sim

Onde: A1 - Somatório das áreas de ventilação da fachada com maior área de abertura; A2 - somatório das áreas de ventilação das demais fachadas.

Fonte: Autora, 2013

Quanto à Iluminação Natural, separando os ambientes de permanência prolongada e ambientes de permanência transitória, calculou-se a área de cada um deles e a área das aberturas efetivas para iluminação. A área de abertura para iluminação deve corresponder a no mínimo 12,25% (1/8) da área útil para os ambientes de permanência prolongada. Não atenderam a esse pré-requisito as suítes de todas as terminações e o quarto reversível das terminações 03 e 04 (ver tabela 12). De acordo com este pré-requisito, estes ambientes podem alcançar no máximo o nível "C" na avaliação da envoltória.

Tabela 12 - Análise dos pré-requisitos - abertura mínima para iluminação

Iluminação Natural - Abertura Mínima (Ambientes de Permanência Prolongada)						
Terminação UH	Ambiente de PP	AU (m ²)	A _{ilum} (m ²)	12,5% Ap	Atende?	Níveis
01 e 02	Sala de estar/jantar	22,74	3,52	15	Sim	E - A
	Suíte opcional	8,31	1,15	13	Sim	E - A
	Suíte	12,76	1,15	9	Não	E - C
	Quarto reversível	6,26	0,86	13	Sim	E - A
03 e 04	Sala de estar/jantar	21,63	3,52	16	Sim	E - A
	Suíte opcional	8,93	1,96	21	Sim	E - A

Suíte	12,90	1,15	9	Não	E - C
Quarto reversível	5,90	0,57	9	Não	E - C

Onde: A_p – Área do piso; A_{ilum} – Área de abertura para iluminação.

Fonte: Autora, 2013

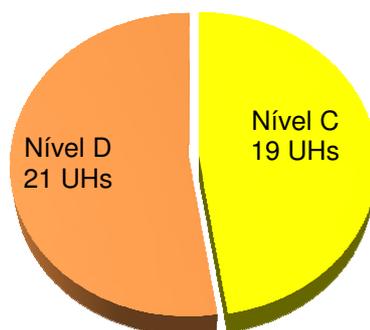
Após esta etapa, optou-se por verificar os itens relacionados às bonificações. As Unidades Habitacionais do 6º ao 10º pavimento receberam bonificações por apresentar porosidade acima dos valores exigidos. Porém este foi o único item alcançado no que se refere à ventilação natural. Já na bonificação para iluminação natural, todas as UH's atenderam a profundidade de ambientes exigidas, assim como a refletância do teto. Tais bonificações, somadas, resultaram no acréscimo de 0,42 pontos para as UH's localizadas do 6º ao 10º pavimento, e 0,3 nas demais unidades.

Após a verificação de todos os pré-requisitos e possíveis bonificações, iniciaram-se os cálculos para identificar o Equivalente Numérico da Envoltória (EqNumEnv). Para tanto, preencheu-se a planilha de cálculo do desempenho da envoltória (método prescritivo), "PLANILHA_RTQ-R- envoltória.xlsx" confeccionada pelo LABEEE, para todos os ambientes de permanência prolongada de cada UH.

A planilha do método prescritivo gera automaticamente, os equivalentes numéricos e os níveis de eficiência energética do indicador de grau-hora para resfriamento, do consumo relativo para aquecimento e consumo relativo para refrigeração. Para a Zona Bioclimática 8, o equivalente numérico para resfriamento (EqNumEnvresfr) é igual ao equivalente numérico da envoltória da UH (EqNumEnv)

De acordo com estes cálculos, os níveis para resfriamento variaram do "E" ao "B", sendo que o quarto reversível da terminação 01 foi o único ambiente que alcançou nível "B". Porém, considerando-se os pré-requisitos verificados anteriormente, os níveis destes ambientes caíram, variando do "E" ao "C". Os equivalentes numéricos da envoltória, respeitando os pré-requisitos, foram 3 (nível "C") e 2 (nível "D").

Gráfico 7 - Nível de eficiência energética das envoltórias das Unidades Habitacionais



Fonte: Autora, 2013

Para identificar o nível de eficiência final de uma UH, deve-se aplicar seu EqNumEnv na equação 6 (equivalente à equação 2.1 do RTQ-R). Nesta equação se aplica ainda o equivalente numérico do sistema de aquecimento de água (EqNumAA) e o coeficiente da equação (a) conforme a região geográfica em que está situada a edificação e bonificações. Na região Nordeste, o coeficiente (a) corresponde a 0,90 e deve ser alterado para o valor de 0,65 sempre que houver um sistema de aquecimento de água projetado ou instalado.

$$PT_{UH} = (a \times EqNumEnv) + [(1 - a) \times (EqNumAA)] + Bonificações \quad [Eq. 6]$$

Como foi explicado anteriormente, o sistema de aquecimento de água não foi avaliado. Já que a PTUH final depende desta avaliação, foram feitas duas simulações dos resultados. A primeira considerou a situação real do edifício, que por não ter sistema de aquecimento de água instalado se considera o nível “D” (EqNumAA = 2), enquanto a outra considerou a existência de um sistema que alcançou nível “A” (EqNumAA = 5).

Na primeira simulação (EqNumAA = 2), os níveis de eficiência das UH's foram “D” a “C”. A classificação da edificação multifamiliar, resultado da ponderação da classificação das UH's pelas áreas das mesmas, alcançou o nível “C”. Já na segunda simulação (EqNumAA = 5), os níveis de eficiência das UH's foram “C” e “B”, sendo a classificação final da edificação multifamiliar nível “B” (ver gráficos 9 e 10).

Gráfico 8 - Nível de eficiência da UH's (EqNumAA=2)

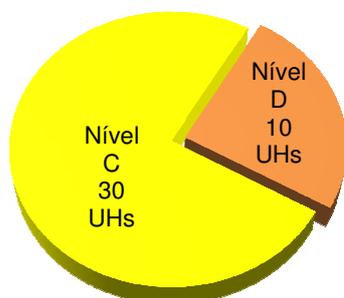
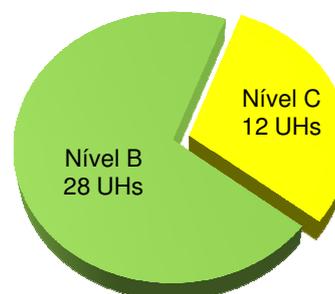


Gráfico 9 - Nível de eficiência da UH's (EqNumAA=5)



Fonte: Autora, 2013

Percebe-se que a classificação do sistema de aquecimento de água provoca variações significativas na pontuação das UH's. Porém, conforme justificado, neste estudo serão propostas apenas as MCE referentes à envoltória.

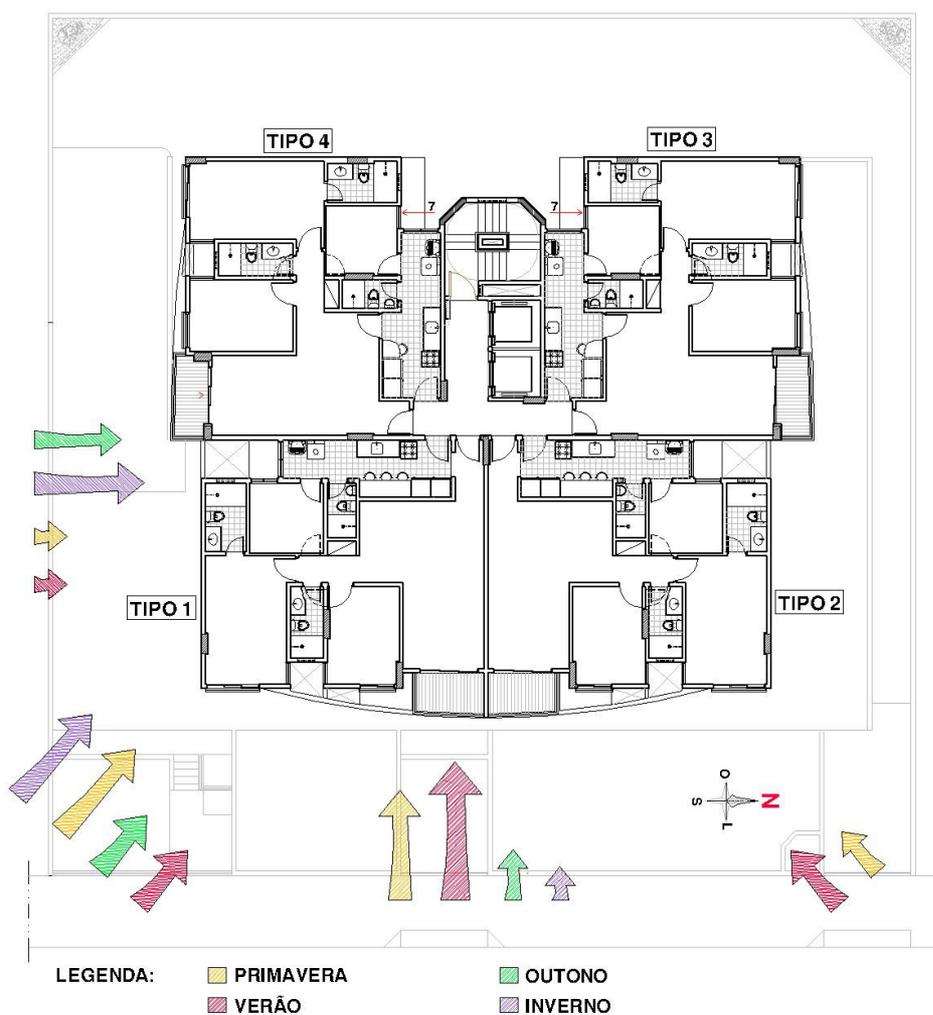
Além disso, constata-se que a edificação não pode alcançar o nível "A" de eficiência energética até que os pré-requisitos referentes à iluminação e à ventilação natural sejam atendidos.

As UH's que alcançaram os níveis de eficiência mais baixos foram os da terminação 03, cujas fachadas estão orientadas à Norte e à Oeste. Este resultado é esperado, visto que, além da incidência do sol durante toda a tarde, os ambientes de permanência prolongada destas unidades contam apenas com a incidência do vento nordeste. Apesar da importância deste vento, frequente nos meses mais quentes do ano, tais ambientes ficam prejudicados com pouca ou nenhuma ventilação entre os meses de abril e setembro.

Apartamentos como estes, orientados à oeste, são conhecidos no mercado imobiliário como "apartamentos poente". Na tabela de preços de vendas do mês de março de 2012, verifica-se que os apartamentos da terminação 03 correspondem aos menores preços (ver figura 16, na seção 2.1.1 da seção 2). Estes são mais baratos até mesmo que os apartamentos da terminação 04 que, apesar de também serem "apartamentos poente", têm a maioria dos ambientes orientada à sul, contando com a ventilação sul, principalmente nos meses de "inverno", e a sudeste, frequente durante todo o ano.

Afigura abaixo apresenta a freqüência de incidência dos ventos predominantes de Maceió nas fachadas do edifício Índico durante as quatro estações do ano.

Figura 33 – Freqüência das ventilações predominantes de Maceió (sul, sudeste, leste e nordeste) durante as estações do ano. Adaptação da figura 08, da seção 1.1.2.2



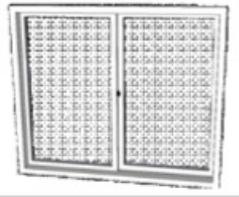
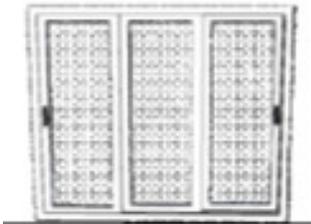
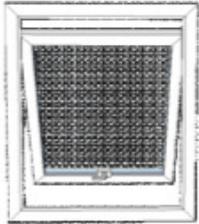
Fonte: Autora, 2013

3.1.2 Estratégias projetuais como medidas de conservação de energia

De acordo com os resultados obtidos na etapa anterior, as primeiras MCE propostas devem contemplar o atendimento dos pré-requisitos de ventilação e iluminação natural, como ajustes das dimensões e tipo de abertura das esquadrias.

Tais modificações foram propostas com o auxílio da tabela a seguir, que informa os percentuais de área de abertura de acordo com os tipos de esquadrias.

Tabela 13 - Percentual de área de abertura de acordo com a tipologia da esquadria

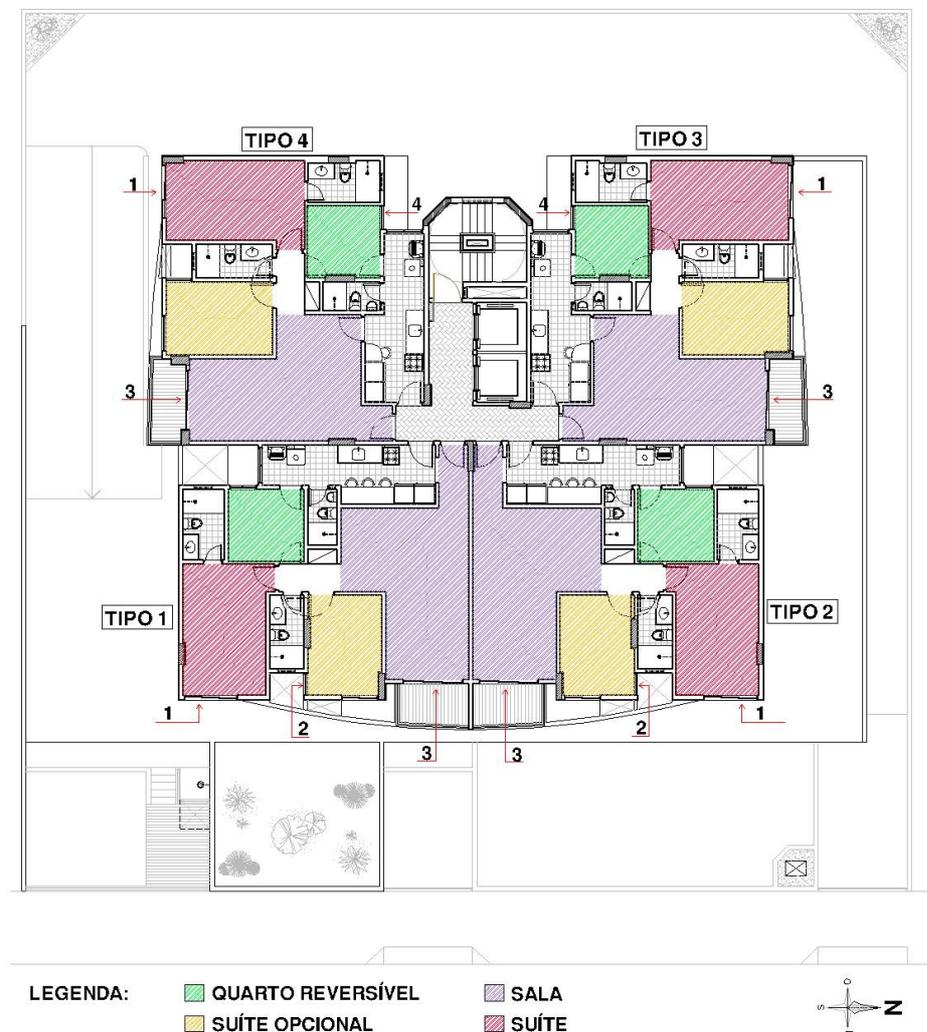
Tipo de esquadria	Ilustração	% de abertura para iluminação natural	% de abertura para ventilação natural
De correr (2 folhas)		80	45
De correr (3 folhas móveis)		75	60
Maxim-ar (abertura 90°)		80	80
Pivotante		90	90

Fonte: Adap. do anexo da portaria INMETRO, 18/ 2012

De acordo com a figura e as tabelas a seguir, os ambientes que sofreram modificação, nesta etapa, foram as salas de estar/jantar de todas as UH's para atender aos pré-requisitos de área mínima de abertura para ventilação, as suítes de todas as UH's (área mínima de abertura para ventilação e iluminação), as suítes opcionais das UH's dos tipos 1 e 2 (área mínima de abertura para ventilação) e os

quartos reversíveis das UH's dos tipos 3 e 4 (área mínima de abertura para iluminação).

Figura 34 - Planta baixa do pavimento tipo com indicação das esquadrias modificadas



Fonte: Autora, 2013

1. Nas suítes, as esquadrias com duas folhas de correr foram substituídas por esquadrias 60 centímetros mais largas com três folhas de correr.
2. Assim como os tipos 3 e 4 no projeto original, as suítes opcionais das UH's dos tipos 1 e 2 passaram a contar com mais uma esquadria, do tipo maxim-ar, além da esquadria com duas folhas de correr existente.

3. As esquadrias com duas folhas de correr das salas de estar/jantar foram substituídas por esquadrias com três folhas de correr, aumentando a área de abertura para ventilação, sem prejudicar a área de abertura para iluminação.
4. Finalmente, os quartos reversíveis das UH's dos tipos 3 e 4 tiveram suas esquadrias tipo maxim-ar substituídas por outras do tipo pivotante 10 centímetros mais largas.

Tabela 14 - Modificações para atendimento ao pré-requisito de abertura mínima para ventilação

Ventilação Natural - Abertura Mínima								
Terminação UH	Ambiente de PP	AU (m ²)	AA (m ²)	A (m ²)	A (%)	Requisito	Atende?	Níveis
01 e 02	Sala estar/jantar	22,74	2,64	0,12	12	10	Sim	E - A
	Suíte opcional	8,31	1,36	0,16	16	10	Sim	E - A
	Suíte	12,76	1,29	0,10	10	10	Sim	E - A
	Quarto reversível	6,26	0,86	0,14	14	10	Sim	E - A
03 e 04	Sala estar/jantar	21,63	2,64	0,12	10	10	Sim	E - A
	Suíte opcional	8,93	1,46	0,16	16	10	Sim	E - A
	Suíte	12,90	1,29	0,10	10	10	Sim	E - A
	Quarto reversível	5,90	0,75	0,13	13	10	Sim	E - A

Onde: AU – Área útil do ambiente; AA – Área de abertura para ventilação; A – Percentual de área de abertura para ventilação em relação a área de piso.

Fonte: Autora, 2013

Tabela 15 - Modificações para atendimento ao pré-requisito de abertura mínima para iluminação

Iluminação Natural - Abertura Mínima (Ambientes de Permanência Prolongada)						
Terminação UH	Ambiente de PP	AU (m ²)	A _{ilum} (m ²)	12,5%Ap	Atende?	Níveis
01 e 02	Sala de estar/jantar	22,74	3,3	2,8	Sim	E - A
	Suíte opcional	8,31	1,78	1,04	Sim	E - A
	Suíte	12,76	1,62	1,60	Sim	E - A
	Quarto reversível	6,26	0,86	0,78	Sim	E - A
03 e 04	Sala de estar/jantar	21,63	3,3	2,70	Sim	E - A
	Suíte opcional	8,93	1,96	1,12	Sim	E - A
	Suíte	12,90	1,62	1,61	Sim	E - A
	Quarto reversível	5,90	0,75	0,74	Sim	E - A

Onde: Ap – Área do piso; A_{ilum} – Área de abertura para iluminação.

Fonte: Autora, 2013

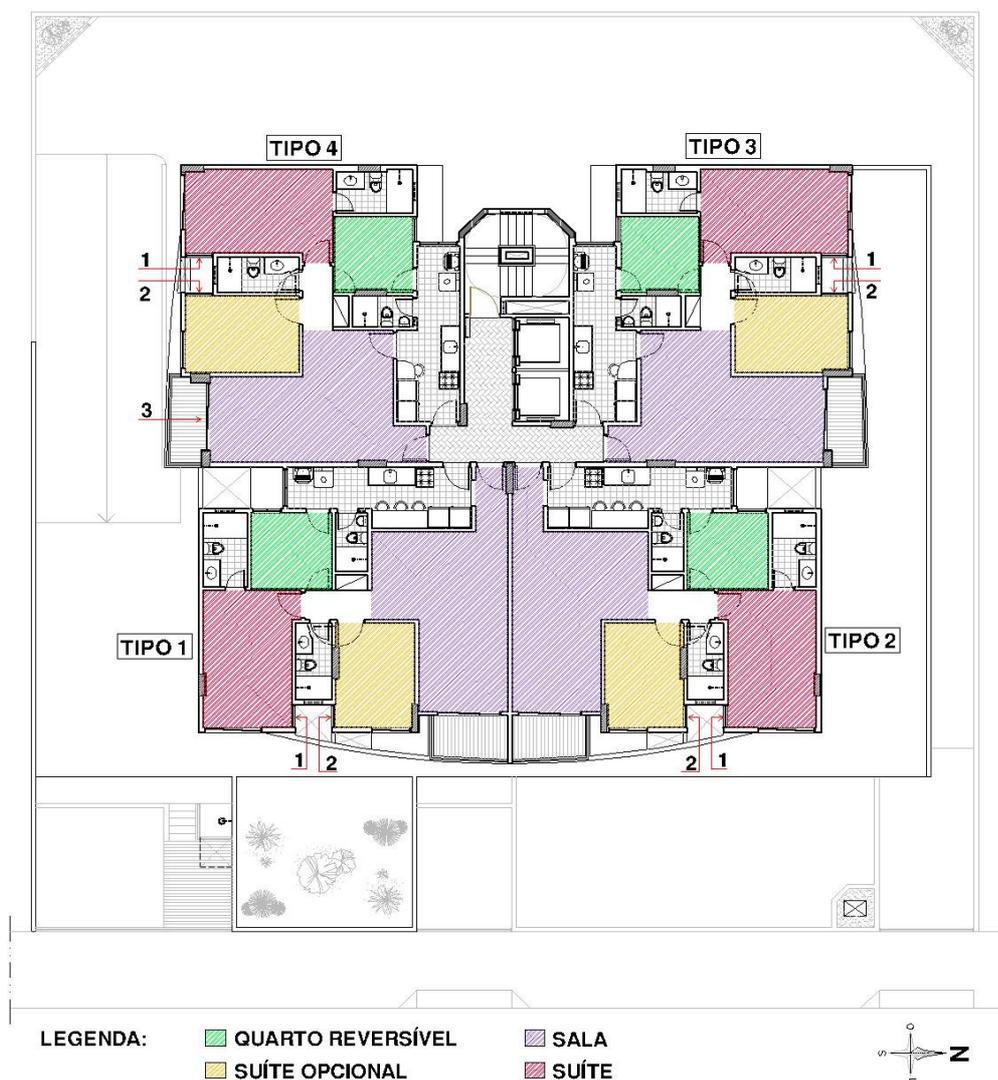
O projeto com tais alterações mínimas necessárias para o atendimento aos pré-requisitos referentes à iluminação e ventilação natural, passou a ser denominado “Caso 1”. Mesmo com tais modificações a classificação deste

permaneceu nível “C” considerando o sistema de aquecimento de água nível “D”, w nível “B” considerando o sistema de aquecimento de água nível “A”.

Para que o edifício alcance o nível “A” independente da classificação do sistema de aquecimento de água, foram elaboradas quatro MCE por meio de estratégias arquitetônicas para a envoltória do mesmo, relacionadas às variáveis consideradas na avaliação do RTQ-R: transmitância térmica (U); capacidade térmica (CT); absorvância (α); área de abertura (AAb); fator de ventilação (Fvent); sombreamento na abertura (somb) e Área de abertura para iluminação.

MCE 01 - estratégias relacionadas às aberturas, buscando aumentar as áreas efetivas para ventilação natural nos ambientes de permanência prolongada. Tais alterações interferem nas variáveis AAb, Fvent, área de abertura para iluminação e nas áreas das paredes externas dos ambientes.

Figura 35 – Planta baixa do pavimento tipo indicando as alterações 1, 2 e 3 relacionadas à área de abertura para ventilação natural



Fonte: Autora, 2013

- (1) Acréscimo de uma esquadria pivotante em todas as suítes;
- (2) Nas suítes opcionais, substituição das esquadrias do tipo maxim-ar por esquadrias do tipo pivotante;
- (3) Nas salas das UH's do tipo 4 as esquadrias aumentara 20 centímetros na largura.

Tabela 16 - Modificações em aberturas para ventilação natural

Terminação UH	Ambiente de PP	AA (m ²)	Fvent
01 e 02	Sala estar/jantar	4,40	0,60
	Suíte opcional	2,34	0,72
	Suíte	3,06	0,70
	Quarto reversível	1,08	0,90
03 e 04	Sala estar/jantar	4,73	0,60
	Suíte opcional	2,46	0,72
	Suíte	3,18	0,65
	Quarto reversível	0,75	0,90

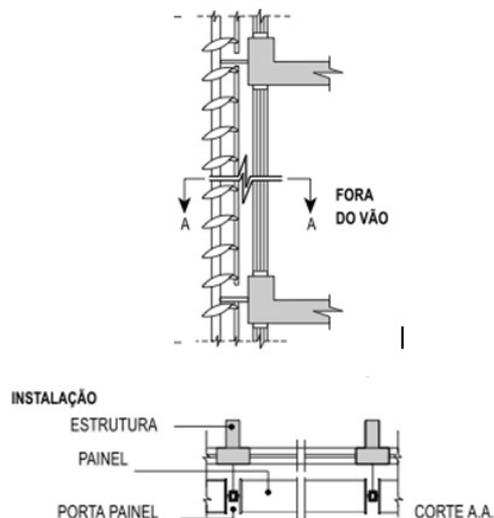
Onde: AA – Área total de abertura do ambiente; Fvent – percentual de área de abertura para ventilação (ponderada pelas áreas das aberturas, nos casos das suítes e suítes opcionais, que têm mais de uma abertura)

Fonte: Autora, 2013

MCE 02 - estratégias para proteger as aberturas da incidência de raios solares, quando necessário, e permitir a regulagem do fluxo de ar por meio de brises móveis (ver figura 36). Tais estratégias interferem nas variáveis Somb, que assume o valor máximo (1) e Fvent, que diminui, pois se considera apenas a área efetiva para ventilação, excluindo a área que as aletas ocupam.

- Em todas as suítes, nas esquadrias com três folhas de correr, colocação de brises móveis horizontais;
- Em todas as suítes opcionais, nas esquadrias com duas folhas de correr, colocação de brises móveis horizontais.

Figura 36 – Foto e desenho esquemático do modelo de brise móvel sugerido como MCE para as suítes principais e suítes opcionais do edifício Índico

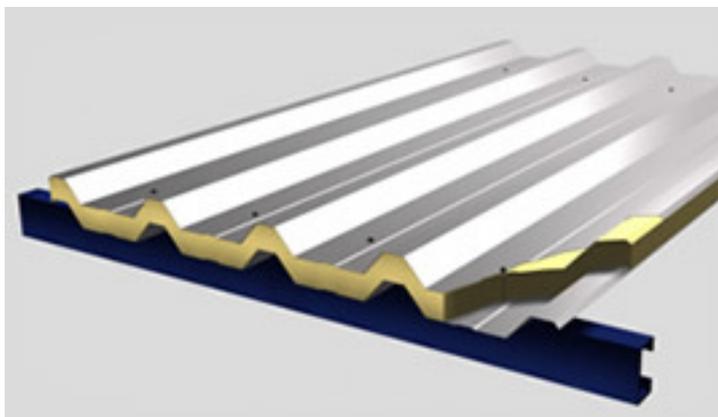


Fonte: <http://nordestebrise.com.br/brise-movel-horizonta/>

MCE 03 - isolamento térmico de paredes e cobertura, que interferem nas variáveis U_{par} , CT_{par} , U_{cob} e CT_{cob} :

- Paredes da envoltória das suítes com Isolamento externo de lã de rocha, pois estes são os ambientes com maior área de parede exposta, inclusive na orientação oeste.
- Substituição das telhas de fibrocimento por telhas termo-acústica (telha metálica + EPS (Poliestireno expandido) + Telha metálica (ver figura x).

Figura 37 – Exemplo de telha termo-acústica sugerida como MCE para o edifício Índico



Fonte: www.roofway.com/produtos

MCE 04 - Modificações nas cores da envoltória, que interferem na absorção (α) das paredes externas e da cobertura, com o objetivo de diminuir a absorção da energia incidente:

- Substituição dos revestimentos externos nas cores preta e marrom por revestimentos em cores claras (branca e creme) nas envoltórias dos ambientes de permanência prolongada. Procurou-se manter a combinação das cores propostas no projeto original, porém as cores escuras foram mantidas apenas nas paredes externas dos ambientes de permanência transitória e detalhes da fachada;
- Pintura de toda a cobertura na cor branca, alternativa de baixo custo que vem sendo utilizada na busca pela sustentabilidade na construção.

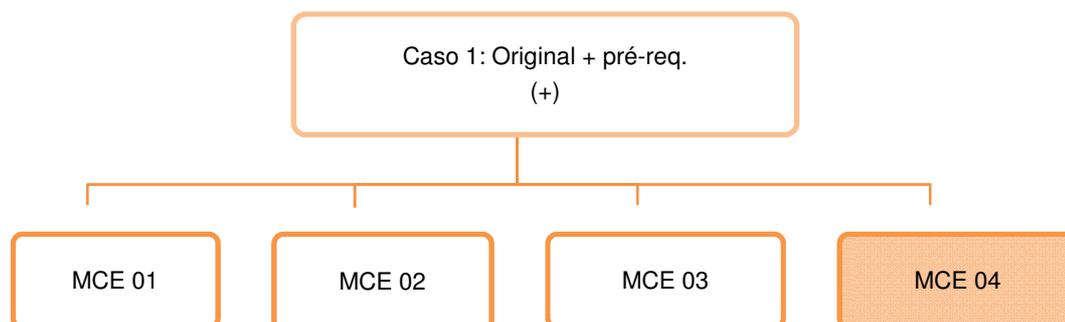
Tabela 17 - Propriedades térmicas dos materiais construtivos sugeridos como MCE

Tabela de Propriedades Térmicas					
Paredes tipo 1					
Parede em tijolos cerâmicos 6 furos (9, 14, 24), argamassa e revestimento cerâmico externo.					
	Preto	Creme	Marrom	Vermelho	Branco
Absortância	0,9	0,3	0,7	0,7	0,2
Transmitância	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04
Capacidade Térmica	151,63	151,63	151,63	151,63	151,63
Paredes tipo 2 - pilares					
Concreto, argamassa e revestimento cerâmico externo					
	Preto	Creme	Marrom	Vermelho	Branco
Absortância	0,9	0,3	0,7	0,7	0,2
Transmitância	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61
Capacidade Térmica	286,72	286,72	286,72	286,72	286,72
Paredes tipo 3 - MCE 03					
Parede em tijolos cerâmicos 6 furos (9, 14, 24), lâ de rocha, argamassa e revestimento cerâmico externo.					
	Preto	Creme	Marrom	Vermelho	Branco
Absortância	0,9	0,3	0,7	0,7	0,2
Transmitância	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
Capacidade Térmica	154,60	154,60	154,60	154,60	154,60
Cobertura – MCE 04					
Forro em gesso, câmara de ar, laje pré-moldada, câmara de ar, madeiramento e telha fibrocimento pintada na cor branca.					
Absortância	0,2				
Transmitância	1,21				
Capacidade Térmica	192,7				
Cobertura – MCE 03					
Forro em gesso, câmara de ar, laje pré-moldada, câmara de ar, madeiramento e telha termo-acústica.					
Absortância	0,2				
Transmitância	0,42				
Capacidade Térmica	213,25				

Fonte: Autora, 2013

Cada MCE foi incorporada ao “Caso 1”, separadamente, gerando quatro alternativas. O primeiro bloco, Bloco Zero, consiste das avaliações destas quatro alternativas. A alternativa que apresentou melhor resultado foi aquela que teve a MCE 04 incorporada ao Caso 1.

Bloco Zero:



Os resultados do Caso 1, nível “C”, com cada MCE incorporada foram os seguintes:

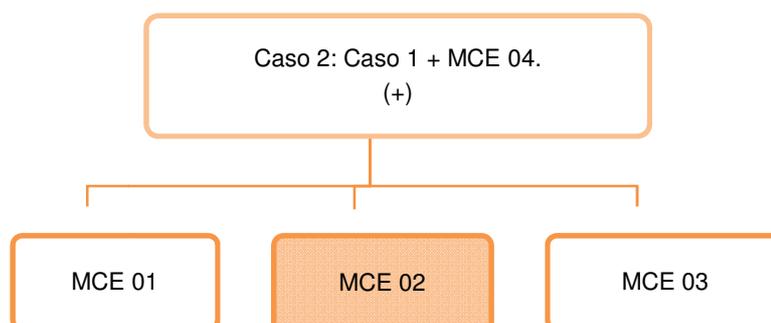
MCE 01: EqNumEnv = 2,65 (C); PT (AqNumAA=2) = 2,95 (C); PT (AqNumAA=5) = 3,73 (B);

MCE 02: EqNumEnv= 2,90 (C); PT (AqNumAA=2) = 3,15 (C); PT (AqNumAA=5) = 4,03 (B);

MCE 03: EqNumEnv= 2,50 (C); PT (AqNumAA=2) = 2,90 (C); PT (AqNumAA=5) = 3,70 (B);

MCE 04: EqNumEnv= 3,40 (C); PT (AqNumAA=2) = 3,55 (B); PT AqNumAA=5) = 4,25 (B);

Bloco 1 (um):



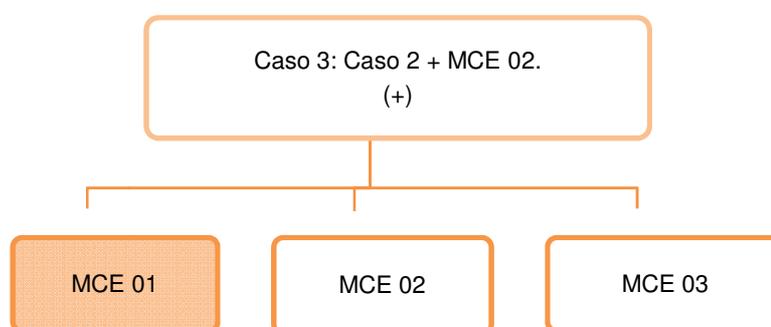
Os resultados do Caso 2, nível “C”, com cada MCE incorporada foram os seguintes:

MCE 01: EqNumEnv= 3,45 (C); PT (AqNumAA=2) = 3,7 (B); PT (AqNumAA=5) = 4,35 (B);

MCE 02: EqNumEnv= 3,85 (B); PT (AqNumAA=2) = 4,05 (B); PT (AqNumAA=5) = 4,6 (A);

MCE 03: EqNumEnv= 3,35 (C); PT (AqNumAA=2) = 3,55 (B); PT (AqNumAA=5) = 4,25 (B);

Bloco 2 (dois):



Os resultados do Caso 3, nível “B”, com cada MCE incorporada foram os seguintes:

MCE 01: EqNumEnv= 4,53 (A); PT (AqNumAA=2) = 4,65 (A); PT (AqNumAA=5) = 5,1 (A);

MCE 03: EqNumEnv= 3,85 (B); PT (AqNumAA=2) = 3,95 (B); PT (AqNumAA=5) = 4,6 (A);

Caso 4 / Final: Caso 3 + MCE 01

Com a incorporação das MCE 04, 02 e 01, nessa ordem, ao “Caso 1”, a envoltória do edifício Índico alcançou o nível “A” de eficiência energética, independente da classificação do sistema de aquecimento da água. A MCE 03 não

precisou ser incorporada para que este o mesmo alcançasse o nível mais alto de eficiência. A equação de graus-hora de resfriamento não apresentou sensibilidade às variáveis U_{par} , CT_{par} , U_{cob} e CT_{cob} nesta avaliação. As tabelas a seguir sintetizam os resultados das avaliações descritas anteriormente.

Tabela 18 - Resumo dos resultados dos “Blocos” de avaliações da envoltória do edifício Índice

Nível de Eficiência Energética da Envoltória	
Projeto original	Nível D
Caso 1	Nível D
Caso 2	Nível C
Caso 3	Nível B
Caso 4	Nível A

Fonte: Autora, 2013

Tabela 19 - Resumo dos resultados dos “Blocos” de avaliações Nível de Eficiência Energética da Edificação Multifamiliar “edifício Índice”

Nível de Eficiência Energética da Edificação Multifamiliar (Envoltória + Aquecimento de Água)		
	AqNumAA=2 (Nível D)	AqNumAA=5 (Nível A)
Projeto original	Nível C	Nível B
Caso 1	Nível C	Nível B
Caso 2	Nível B	Nível B
Caso 3	Nível B	Nível A
Caso 4	Nível A	Nível A

Fonte: Autora, 2013

É importante ressaltar que as MCE foram propostas buscando-se modificar o mínimo possível do projeto original, mantendo a combinação de cores, a forma do edifício, assim como toda a distribuição interna de apartamentos e ambientes. Tais modificações podem ser observadas nas figuras a seguir.

Figura 38 – Comparação entre as fachadas leste do Projeto Original (a) e do “Caso 4” (b)



Fonte: Autora, 2013

Figura 39 - Comparação entre as fachadas norte do Projeto Original (a) e do “Caso 4” (b)



Fonte: Autora, 2013

Figura 40 - Comparação entre as fachadas oeste do Projeto Original (a) e do “Caso 4” (b)



Em relação aos revestimentos das fachadas, a principal estratégia para elevar o nível de eficiência energética da envoltória, mantendo a combinação de cores do projeto original, foi manter as cores escuras apenas nos ambientes de permanência transitória e em alguns detalhes que marcam a paginação, como as faixas de guarda corpo das varandas.

3.2 Avaliação Econômica

Na primeira etapa da avaliação econômica identificou-se o acréscimo de custos para execução da obra do edifício Índico, considerando todas as modificações incorporadas por meio de intervenções na planilha orçamentária do mesmo. Em seguida, os consumos anuais de energia do projeto original do edifício Índico e do “caso 4” foram obtidos por meio de simulações computacionais utilizando o programa *EnergyPlus*. Finalmente, em posse de todos os dados necessários, os indicadores de custos foram calculados.

3.2.1 Impacto nos custos de construção

A planilha orçamentária por grupo de serviços do edifício Índico foi elaborada em agosto de 2012. O valor total dos custos previstos na planilha, que não engloba alguns itens mencionados na seção 2.3.1 da seção 2 (metodologia), é de R\$ 6.549.042,04 (seis milhões, quinhentos e quarenta e nove mil, quarenta e dois reais e quatro centavos). Os itens presentes na planilha orçamentária e a representatividade de cada um deles em relação ao valor total do orçamento encontram-se na tabela a seguir.

Tabela 20 - Itens da planilha orçamentária do edifício Índico, discriminados com suas respectivas participações no custo total

Planilha orçamentária por grupo de serviços – Edifício Índico		
Item	Discriminação	% em relação ao valor total do orçamento
1	Serviços iniciais	14,22
2	Infra-estrutura e obras complementares	5,83

3	Estrutura	24,08
4	Paredes e painéis	4,01
5	Revestimento de parede (argamassas, cerâmicos e complementações)	11,73
6	Pavimentações	5,50
7	Forros	0,38
8	Coberta	0,56
9	Esquadrias de madeira	2,83
10	Esquadrias de alumínio	2,50
11	Esquadrias de ferro	0,39
12	Proteções e tratamentos (impermeabilização)	2,09
13	Instalações (complementares, especiais e mecânicas)	18,65
14	Vidros	0,49
15	Bancadas	0,68
16	Pinturas	4,91
17	Complementação da obra (decoreação, brinquedos, paisagismo, certidões, limpeza final da obra entre outros).	1,15

Fonte: Construtora Delman Sampaio Ltda.

Alguns destes itens tiveram seus quantitativos alterados após a implementação das MCE. Dentre os itens que compõem a planilha, sofreram alterações:

- Paredes e painéis: aumentando a área de esquadrias a quantidade de parede externa diminuiu, reduzindo os preços totais dos subitens alvenaria, tela anti-fissura em paredes e aperto de paredes. Porém, o preço total de vergas e contra-vergas aumentou. Neste item, o resultado da intervenção foi uma redução de R\$ 2.652,38 (dois mil seiscentos e cinquenta e dois reais e trinta e oito centavos).

Tabela 21 - Intervenção na planilha orçamentária do edifício Índico no item “Paredes e painéis”

Intervenção na Planilha orçamentária - Paredes e painéis						
Paredes externas	Unidade	Quant. Modelo Original	Quant. Caso 4	Diferença na quantidade	Preço unitário médio (R\$)	Diferença de preço em relação ao projeto original (R\$)

Alvenaria - tijolo cer. 10cm	m ²	3.257,05	3.169,45	- 87,6	32,5	- 2.847,00
Tela anti-fissura em paredes	m	3.323,822	3.250,822	- 73	1,22	- 89,06
Aperto paredes	m	3.214,85	3.141,85	- 73	3,04	- 221,92
Vergas e contra-vergas	m	1.090,8	1.130,80	+ 40	12,64	+ 505,6
Total						- 2.652,38

Fonte: Autora, 2013

- Revestimentos: aumentando a área de esquadrias e, conseqüentemente, diminuindo a quantidade de parede externa, os subitens “argamassa” (emestramento de paredes, chapisco e emboço externos) e “revestimento cerâmico externo” (dimensões 10x10cm) também tiveram seus preços totais reduzidos. Já no subitem “complementações em revestimentos” a quantidade de capiaço externo aumentou enquanto a quantidade de rejunte da cerâmica da fachada diminuiu. O resultado da intervenção no item “revestimentos” foi uma redução de R\$ 15.845,02 (quinze mil oitocentos e quarenta e quatro reais e oitenta e seis centavos).

Tabela 22 - Intervenção na planilha orçamentária do edifício Índice no item “Revestimento de parede”

Intervenção na Planilha orçamentária – Revestimento cerâmico externo e complementações em revestimentos						
Paredes externas	Unidade	Quant. Modelo Original	Quant. Caso 4	Diferença na quantidade	Preço unitário médio (R\$)	Diferença de preço em relação ao projeto original (R\$)
Cerâmica 10x10 cor branca	m ²	0,00	1.678,10	+ 1.678,10	29,48	+ 49.470,388
Cerâmica 10x10 cor vermelha	m ²	99,16	99,16	0,00	51,66	0,00
Cerâmica 10x10 cor preta	m ²	1.956,96	1.400,03	- 584,81	39,69	- 23.211,10
Cerâmica 10x10 cor marrom	m ²	340,58	362,27	+ 21,69	39,27	+ 851,76
Cerâmica 10x10 cor creme	m ²	2.428,04	1.211,52	- 1.256,52	38,95	- 47.383,54
Emestramento	m ²	4.832,76	4.754,16	- 87,6	3,05	- 267,18
Chapisco	m ²	4.832,76	4.754,16	- 87,6	3,87	- 339,01
Emboço	m ²	4.832,76	4.754,16	- 87,6	13,58	- 1.189,60

Capião externo em cerâmica 10x10 creme	m	1.254,14	1.428,14	+ 174,00	38,95	+ 6.777,30
Rejunte	m ²	4.832,76	4.745,16	- 87,60	6,32	- 553,32
Total						- 15.845,02

Fonte: Autora, 2013

- Esquadria de alumínio: a quantidade de esquadrias de alumínio aumentou. O resultado da intervenção neste item foi um acréscimo no preço total de R\$ 24.646,26 (vinte e quatro mil seiscentos e quarenta e seis reais e vinte e seis centavos).

Tabela 23 - Intervenção na planilha orçamentária do edifício Índico no item “Esquadria de alumínio”

Intervenção na Planilha orçamentária - Esquadria de alumínio						
Esquadrias de alumínio e vidro	Unidade	Quant. Modelo Original	Quant. Caso 4	Diferença na quantidade	Preço unitário médio (R\$)	Diferença de preço em relação ao projeto original (R\$)
Suítes (Tipos 1 e 2)	m ²	57,60	104,40	+ 46,80	281,35	+ 5064,30
Suítes (Tipos 3 e 4)	m ²	57,60	106,08	+ 49,20	281,35	+ 5739,54
Suítes Opcionais (tipos 1 e 2)	m ²	57,60	75,60	+ 18,00	281,35	+ 5064,3
Quartos Reversíveis (tipos 3 e 4)	m ²	14,40	16,80	+ 2,40	281,35	+ 675,24
Total						+ 24646,26

Fonte: Autora, 2013

- Pinturas: Este item também teve um acréscimo em seu preço total, pois se acrescentou a pintura da cobertura do edifício na cor branca. Tal acréscimo foi no valor de R\$ 7.721,25 (sete mil setecentos vinte e um reais e vinte e cinco centavos).

Tabela 24 - Intervenção na planilha orçamentária do edifício Índico no item “Pinturas”

Intervenção na Planilha orçamentária – Pinturas						
Pinturas	Unidade	Quant. Modelo Original	Quant. Caso 4	Diferença na quantidade	Preço unitário médio (R\$)	Diferença de preço em relação ao projeto original (R\$)
Pintura acrílica na cor branca	m ²	488,83	563,55	+ 74,72	16,07	+ 1.205,25
Pintura esmalte sintético branco brilho para metal	m ²	143,13	456,67	+ 313,54	20,82	+ 6.516,00
Total						+ 7.721,25

Fonte: Autora, 2013

Além destes itens que sofreram intervenções, o item referente aos brises móveis, foi acrescentado na planilha orçamentária. Estes são os únicos elementos que não existiam no projeto original. O preço deste item foi baseado em cotação de mercado e entrou na planilha como um valor sem composição (unitário). O orçamento foi fornecido pela empresa Refax Fachadas e Forros Ltda. (ver anexo B).

Tabela 25 - Intervenção na planilha orçamentária do edifício Índico - acréscimo do item “brises móveis”

Intervenção na Planilha Orçamentária - Brises móveis Refax			
Ambiente	Quantidade	Preço unitário - (R\$)	Preço total (R\$)
Suítes	40	971,25	38850,00
Suítes Opcionais	40	656,25	26250
			+ 65100,00

Unidade de medida: valor sem composição/unitário (VB)

Fonte: Autora, 2013

Finalmente, considerando todos os custos apresentados, acrescidos e subtraídos, o orçamento original do edifício Índico apresentou um aumento de R\$ 78.970,24 (ver tabela 45).

Tabela 26 - Valores totais, acrescidos e subtraídos, com a intervenção na planilha orçamentária do edifício Índico

Intervenção na Planilha orçamentária – Edifício Índico	
Valor acrescido (R\$)	+ 97.467,51
Valor Subtraído (R\$)	- 18.497,40
Total (R\$)	+ 78.970,24

Fonte: Autora, 2013

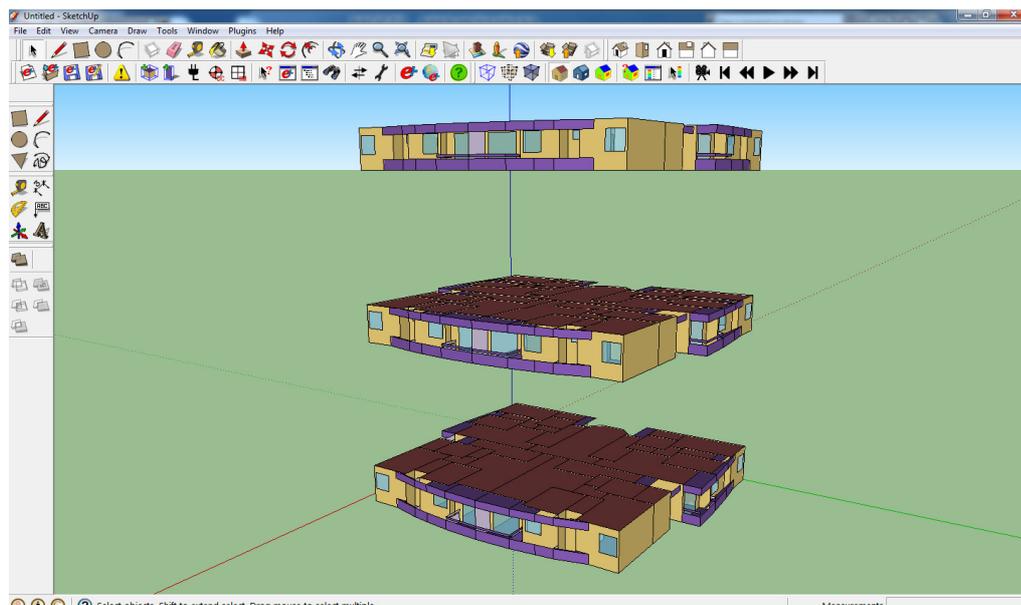
Este valor representa um aumento de 1,20% em relação ao orçamento original. Caso esse aumento de custo fosse repassado integralmente para o preço de vendas, cada apartamento teria um aumento de R\$ 1.974,25. Logo, os preços de venda do mês de março, apresentados na seção 2.1.1 da metodologia deste

trabalho (figura 16), por exemplo, que variam de R\$ 290.631,82 a R\$ 360.211,91 (valores à vista dos apartamentos 203 e 1001, respectivamente), aumentariam para R\$ 292.606,072 a R\$ 362.186,16.

3.2.2 Energia economizada pela implementação das MCE

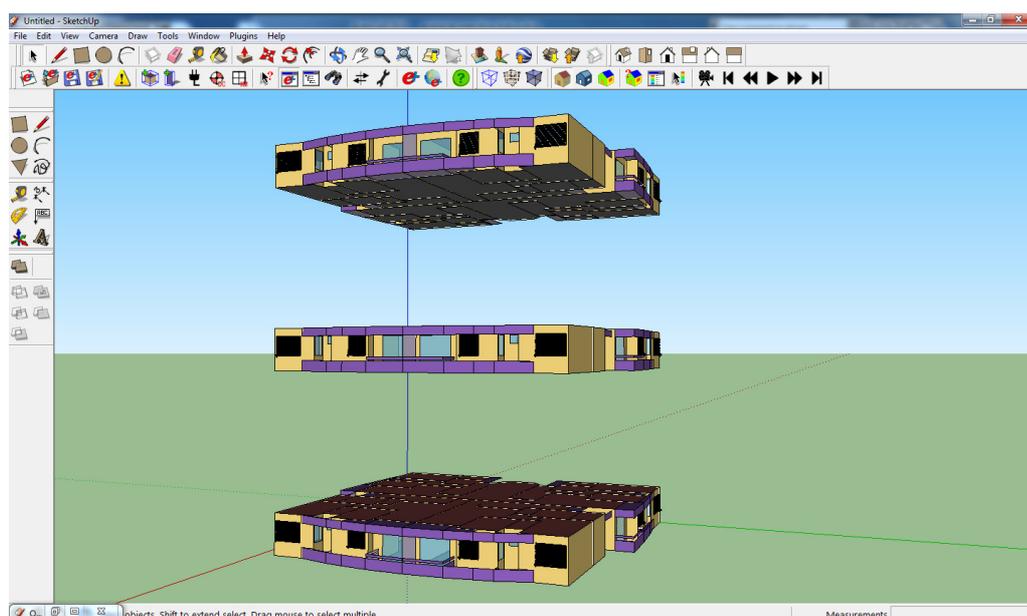
Inicialmente foram modelados o primeiro pavimento, um pavimento tipo e o último pavimento do edifício residencial Índico no *Google SketchUp* (versão 8), conforme características geométricas do projeto original, chamado de “Modelo Original”. No *EnergyPlus* foram inseridos os dados de entrada, como as propriedades térmicas dos elementos construtivos, os padrões de ocupação, iluminação, equipamentos, ventilação natural e climatização artificial e as tipologias das aberturas. Em seguida, este procedimento foi repetido incorporando as modificações (MCE) que resultaram no “Caso 4”, descritas na seção 3.2.2 desta seção (ver figuras 41 e 42).

Figura 41 – Modelo tridimensional criado no *Google SketchUp* (versão 8), do 1º pavimento, pavimento tipo e cobertura do “Modelo original”



Fonte: Autora, 2013

Figura 42 - Modelo tridimensional criado no *Google SketchUp* (versão 8), do 1º pavimento, pavimento tipo e cobertura do “Caso 4”



Fonte: Autora, 2013

Cada modelo foi simulado três vezes, considerando diferentes cenários. Primeiramente, considerou-se um cenário simplificado, com o horário de funcionamento da climatização artificial programado de acordo com o padrão especificado no RTQ-R, das 21h às 8h, durante todo o ano, nos ambientes de permanência prolongada. Este cenário busca representar a realidade de usuários

que utilizam a climatização artificial independente da temperatura do ambiente. As justificativas são variadas, como o fechamento das janelas e cortinas para evitar a claridade ao amanhecer e amenizar os barulhos externos, ou até mesmo pelo costume com o ruído provocado pelo aparelho de ar condicionado.

Os outros dois cenários consideraram o controle automático da ventilação natural de acordo com a temperatura interna dos ambientes de permanência prolongada. Deste modo, independente da hora do dia, se houver pelo menos uma pessoa ocupando o ambiente, de acordo com o padrão de ocupação do RTQ-R, o condicionamento artificial é acionado quando a temperatura interna ultrapassa o limite determinado para ventilação natural.

Dois limites de temperatura para ventilação natural foram considerados. No segundo cenário considerou-se a temperatura neutra de 26°C, calculada por Bittencourt (1993) e abordada na seção 1.1.2.2 da seção 1 desta dissertação. No terceiro cenário, considerou-se a temperatura 28°C, limite da faixa de tolerância em relação à temperatura neutra, dentro da zona de conforto térmico.

Tabela 27 - Consumo anual de energia elétrica dos modelos simulados para cada cenário

Consumo anual de eletricidade (kWh)						
Pavimento	Cenário 01 (horário fixo)		Cenário 02 (limite de 26°C)		Cenário 03 (limite de 28°C)	
	Modelo Original	Modelo Caso 4	Modelo Original	Modelo Caso 4	Modelo Original	Modelo Caso 4
Tipo	19.505,14	17.530,01	20.187,52	18.305,16	18.360,79	15.676,28
Primeiro	19.286,47	17.341,84	18.690,15	17.380,36	17.780,68	13.957,92
Cobertura	20.727,55	17.646,60	23.290,15	19.676,28	21.212,17	16.017,81
Edf. Completo (8 pavimentos tipo + cobertura + 1 ° pavt ⁹)	196.055,14	175.228,52	203.480,46	183.497,92	185.879,17	155.385,97

Fonte: Autora, 2013

Os dados apontam reduções significativas no consumo anual de energia, até mesmo no cenário 01, cujos modelos foram simulados com um horário padrão

para funcionamento da climatização artificial. Alguns fatores contribuíram para estes resultados, como:

- a troca de cores escuras por cores claras na envoltória dos ambientes de permanência prolongada, possibilitando uma menor taxa absorção de energia incidente;
- a maior quantidade de área efetiva de abertura, possibilitando que a ventilação natural resfrie os ambientes removendo carga térmica;
- os brises móveis que além de proteger as aberturas da incidência direta dos raios solares permitem a regulação do fluxo de ar nos ambientes.

Com estas medidas, há uma redução da temperatura interna dos ambientes, aumentando o período de tempo que permanecem na zona de conforto e diminuindo a carga térmica para resfriamento. Dessa forma, em todos os cenários, o sistema de climatização artificial consome menos energia.

3.2.3 Cálculo dos indicadores de custos

Observa-se que as MCE aplicadas ao projeto original ocasionaram um efeito direto no consumo de energia. A análise de viabilidade econômica baseia-se na relação entre a economia de energia alcançada e o tempo de retorno do investimento.

A tabela 47 apresenta as variáveis e o resultado do CEC, calculado conforme a equação 3 apresentada na seção 1.3.3 da seção 1 desta dissertação.

Tabela 28 - Cálculo do custo da energia conservada (CEC)

CENÁRIO	TCC (R\$)	ΔE (kWh ano)	n (anos)	d (%)	CEC (R\$/kWh)
01	78.970,24	20.826,62	15	6,45	0,40
02	78.970,24	19.982,54	15	6,45	0,41
03	78.970,24	30.493,2	15	6,45	0,27

Fonte: Autora, 2013

O *pay-back* de cada cenário foi calculado duas vezes. Na tabela 48, o tempo de retorno foi calculado considerando a tarifa atual de R\$ 0,50 para 1 kWh. Já a tabela 49 apresenta as variáveis e o resultado do *pay-back* considerando a redução de 16,2% anunciada pelo governo brasileiro para o ano de 2013. Tais resultados foram calculados conforme a equação 2 apresentada na seção 1.3.3 da seção 1 desta dissertação.

Tabela 29 - Cálculo do tempo de retorno do investimento em MCE (Pay-back simples) considerando a tarifa de R\$ 0,50/kWh

CENÁRIO	Investimento (R\$)	Economia total (kWh ano)	CA (R\$/ano)	Pay-back simples (anos)
01	78.970,24	20.826,62	10.413,31	7,5
02	78.970,24	19.982,54	9.991,27	7,9
03	78.970,24	30.493,20	15.246,60	5,1

Fonte: Autora, 2013

Tabela 30 - Cálculo do tempo de retorno do investimento em MCE (Pay-back simples) considerando a tarifa de R\$ 0,42/kWh

CENÁRIO	Investimento (R\$)	Economia total (kWh ano)	CA (R\$/ano)	Pay-back simples (anos)
01	78.970,24	20.826,62	8.747,18	9,0
02	78.970,24	19.982,54	8.392,66	9,4
03	78.970,24	30.493,20	12.807,14	6,1

Fonte: Autora, 2013

Os indicadores de custos apontam a viabilidade do investimento nas medidas de conservação de energia aplicadas à envoltória do edifício Índico em todos os cenários simulados.

O conceito do CEC está relacionado a uma comparação com o “Modelo Original” e com a tarifa de energia: caso o CEC seja menor que o custo de 1 kWh (tarifa de energia), o investimento é considerado vantajoso. Nos três cenários

avaliados o CEC resultou em valores menores que as duas tarifas de energia consideradas, de R\$ 0,42 e de R\$ 0,50.

Os resultados do *pay-back* simples, que variaram de cinco a nove anos dependendo do cenário e da tarifa de energia considerada, também caracterizam a viabilidade do investimento, pois são consideravelmente inferiores ao tempo da vida útil das MCE aplicadas à envoltória do edifício. Além disso, com exceção dos cenários 01 e 02 considerando a tarifa reduzida de R\$ 0,42, o retorno do investimento acontece em um período de tempo inferior ao parcelamento de 100 meses, prazo disponibilizado pela Construtora Delman Sampaio para compra de um apartamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta seção são relacionadas as considerações finais do trabalho, incluindo as conclusões obtidas com os resultados da pesquisa, as principais dificuldades encontradas e sugestões para trabalhos futuros.

O objetivo geral desta dissertação foi responder ao questionamento sobre o acréscimo nos custos de construção de um edifício residencial, em Maceió, contemplando a eficiência energética. Este dado é de suma importância para os investidores do mercado imobiliário, porém leva a outro questionamento, relacionado ao tempo de retorno do investimento.

Inicialmente, a revisão bibliográfica foi importante para estabelecer um referencial teórico que desse suporte aos objetivos propostos, abordando assuntos necessários à compreensão do tema. Além disso, foi fundamental a realização de um levantamento documental para a definição de um edifício residencial que se constituísse como estudo de referência. Nesta etapa, o recorte espacial e o recorte temporal foram definidos, assim como as principais características construtivas dos edifícios inseridos neles foram identificadas.

O edifício Índico, da construtora Delman Sampaio, foi selecionado e avaliado pelo método prescritivo do RTQ-R. Os níveis de eficiência energética alcançados pelas envoltórias das unidades habitacionais foram “C” e “D”. Quanto ao nível de eficiência energética final da edificação multifamiliar, o nível “C” foi alcançado, considerando o sistema elétrico para o aquecimento de água do edifício (nível “D”).

Com base no referencial teórico, estratégias projetuais para conservação de energia foram propostas e avaliadas. Aquelas que apresentaram melhores resultados, ou seja, que mais elevaram o nível de eficiência da edificação, foram incorporadas ao projeto original, resultando no “caso 4” com nível “A” de eficiência energética, mesmo com um sistema de aquecimento da água nível “D”.

Apesar das limitações do método prescritivo do RTQ-R, os resultados das avaliações realizadas para definir as MCE que deveriam ser incorporadas ao projeto original se mostraram coerentes. Tais medidas foram determinadas de acordo com

as estratégias bioclimáticas recomendadas para edificações na cidade de Maceió, ou seja, promover a ventilação natural associada com a proteção solar e revestir as fachadas com materiais de baixa absorvância. A equação de graus-hora de resfriamento apresentou sensibilidade às variáveis relacionadas à estas medidas elevando o nível de eficiência energética.

Com as medidas de conservação de energia definidas e aplicadas ao projeto original do edifício, realizou-se um levantamento dos quantitativos dos itens que sofreram intervenção em sua planilha orçamentária. Os custos destes itens foram recalculados, de acordo com os novos quantitativos, e o item referente aos brises móveis foi adicionado.

De fato houve um aumento nos custos previstos no orçamento original para construção do edifício. Porém, este aumento (de R\$ 78.970,24) representa apenas 1,2% do orçamento original e, se fosse repassado integralmente para o preço de vendas, cada apartamento teria um aumento de R\$ 1.974,25. Este valor é considerado baixo e facilmente absorvido pelo mercado imobiliário, principalmente quando se considera o parcelamento de até 100 meses disponibilizado pela construtora.

Finalmente, os indicadores de custos *pay-back* e CEC foram utilizados a fim de avaliar o tempo de retorno e a viabilidade deste investimento. Para possibilitar os cálculos, os consumos anuais de energia do edifício de acordo com seu projeto original e do “caso 4” foram obtidos por meio de simulações computacionais no *EnergyPlus*. Cada modelo foi simulado três vezes, considerando cenários com diferentes padrões de utilização da ventilação natural e climatização artificial. Em todos os cenários houve redução no consumo anual de energia. Da mesma forma, os indicadores de custos apontaram a viabilidade do investimento em todos os cenários simulados.

Nos três cenários avaliados o CEC resultou em valores menores que as duas tarifas de energia consideradas (de R\$ 0,42 e de R\$ 0,50), caracterizando que o investimento é vantajoso. Os resultados do *pay-back* simples, que variaram de cinco a nove anos dependendo do cenário e da tarifa de energia considerada, também caracterizam a viabilidade do investimento, pois são consideravelmente inferiores ao tempo da vida útil das MCE aplicadas à envoltória do edifício. Além

disso, na maioria dos cenários, o retorno do investimento acontece em um período de tempo inferior ao parcelamento da compra de um apartamento, que pode chegar a 100 meses.

Considerando as características construtivas dos edifícios residenciais da cidade de Maceió, conclui-se que realmente há um aumento de custos de construção advindo de medidas de conservação de energia aplicadas à envoltória. Porém, de acordo com os resultados desta dissertação, tal investimento é considerado vantajoso, principalmente em um momento em que a sociedade está assimilando haver um limite de exploração dos recursos energéticos, assim como os impactos ambientais, sociais e econômicos que esta exploração pode causar.

Nesse sentido, a regulamentação para etiquetagem de edificações, por enquanto facultativa, tem um reflexo positivo, na medida em que possibilita o consumidor a optar por soluções mais eficientes. Evitando o desperdício, os usuários podem reduzir os gastos relativos ao consumo de energia sem abdicar do conforto térmico, enquanto o governo pode direcionar recursos para outras áreas mais urgentes. Do ponto de vista do investidor, este fato também pode ser lucrativo, pois a opção do consumidor por empreendimentos energeticamente eficientes pode acelerar o índice de velocidade de vendas.

É importante frisar que, além das medidas adotadas nesta dissertação, há um leque variado de estratégias de projeto, além de equipamentos e sistemas tecnologicamente avançados, que possibilitam alcançar níveis ainda maiores de eficiência energética. Igualmente, os usuários têm participação decisiva no uso eficiente destas através dos seus hábitos, que podem reduzir de forma significativa o consumo de energia, aumentando assim a eficiência das edificações e reduzindo desperdícios.

Constata-se que os resultados, apesar de não esgotarem as possibilidades de abordagem do tema permitem apresentar respostas ao problema. Da mesma forma, a metodologia utilizada mostrou-se satisfatória, tornando possível o alcance dos objetivos propostos.

A maior dificuldade encontrada no desenvolvimento desta pesquisa residiu na configuração do modelo para as simulações computacionais no

EnergyPlus. O programa possui uma grande quantidade de variáveis, o que exige atenção por parte do pesquisador, principalmente no caso simulado que contém 37 zonas térmicas por pavimento, das quais 16 correspondem aos ambientes de permanência prolongada. Apesar das dificuldades encontradas, os resultados das simulações se mostraram satisfatórios.

Sugere-se, para trabalhos futuros, estudar outras tipologias de edificações, podendo ser comerciais, de serviço, públicas, ou até mesmo residenciais, inclusive aquelas destinadas à habitação de interesse social. Além disso, outros cenários podem ser simulados com diferentes padrões de uso da ventilação natural e climatização artificial.

REFERÊNCIAS

AGENDA 21 **on Sustainable Construction**. CIC Report publication no. 237. Rotterdam, CIB, 1999.

ALMEIDA, A. M. de. **Conforto térmico e eficiência energética em edifício multifamiliar na cidade de Maceió - AL**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2009.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE. **ASHRAE Handbook of Fundamentals**. Atlanta, 2009.

ANDRADE, S. F.; BATISTA, J. O.; GUGEL, E. C.; LAMBERTS, R.; MACIEL, A. A.; MARINOSKI, D. L. Projeto casa eficiente: demonstração de eficiência energética em habitação unifamiliar. In: **XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2006.

ANDRADE, S. F. **Estudo de estratégias bioclimáticas no clima de Florianópolis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1996.

ARCOWEB, 2009. Telhados e coberturas verdes. Tecnologias. Ecoeficiência. Texto de Ledy Valporto Leal Publicada originalmente em **FINESTRA** Edição 59, Dezembro de 2009. Disponível em: <<http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/ecoeficiencia-telhados-e-21-12-2009.html>>. Acessado em 10 set. 2011.

ARRIETA, O. **Nova York aposta em telhados brancos contra o aquecimento global**. BBC, Brasília, 14 de agosto de 2012. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2012/08/120813_telhados_branco_nova_york_lgb.shtml>. Acessado em: 15 out. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e

diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

BITTENCOURT, L. S. Clima e repertório arquitetônico. In: **Projetar 2005. Anais** do II Seminário Sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura: Rebatimentos, Práticas e Interfaces, Rio de Janeiro, 2005. v.1. p.1-15.

_____. **Uso das cartas solares:** diretrizes para arquitetos. 4.ed. rev. e ampl. Maceió: EDUFAL, 2004.

_____. **Ventilation as a cooling resorce for warm-humidclimates: an investigation on perforated block wall geometry to improve ventilation inside low- rise buildings.** (Phd). Architectural Association Graduate School Enviroment and Energy Studies Programme, 1993.

BITTENCOURT, L. S.; CANDIDO, C. M. **Introdução à ventilação natural.** 2. Ed., Maceió: Edufal, 2006.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Portaria n.º 18 de 16 de janeiro de 2012, **revisão do Regulamento Técnico da Qualidade - RTQ para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**, 2012.

_____. Ministério de Minas e Energia, 2010. **Balanco Energético Nacional.** Disponível em: <www.mme.gov.br>. Acessado em 17 maio 10.

_____. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria nº 163, de 08 de junho de 2009. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).** Brasília, DF, 2009. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/arquivos/2_RTQ_C.pdf>. Acessado em 20 set. 2010.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia (PNE) 2030 /**

Ministério de Minas e Energia (MME); colaboração Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Brasília: MME: EPE, 2007. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html>. Acessado em: 20 set. 2010.

_____. Lei n. 10295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a **Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia**. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001a. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf>>. Acessado em: 03 jun. 2010

_____. Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a **Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia**. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001b. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/dec20014059.pdf>>. Acessado em: 17 mar. 10

BÜTNER, S.; DUARTE, D. Avaliação de desempenho térmico e energético de coberturas em clima tropical continental. Brasil - Natal, RN. 2009. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 10., 2009, Natal. **Anais...** Natal, 2009. p. 764-773.

CABUS, R. C. **Tropical daylighting: predicting sky types and interior illuminance in North-east Brazil**. Thesis (Doctor of Philosophy). School of architectural Studies. University of Sheffield. 2002.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008a. 196 f.

CARLO, J. C. Relação entre a eficiência estabelecida pela Regulamentação para etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios comerciais e os benefícios econômicos provenientes de investimentos no envoltório. In: **Dr. João Alkaim; Dr. Rocerdo Rüter; Dr. Samuel Luna de Abreu. (Org.). Eco_lógicas: renovar é pensar diferente**. 1 ed. Florianópolis: Insular, 2008b, v. 1, p. 77-90.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para o trópicos**: Conforto Ambiental. São Paulo: Revan, 2003.

FLORIDES, G. A. TASSOU, S. A. KALOGIROU, S. A. Measures used to lower building energy consumption and their cost effectiveness. In: **Applied Energy**. Oxford: Elsevier, 2002. v. 73 pp. 299-328.

ELETROBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.; PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso – Ano Base 2005 – Classe Residencial – Relatório Brasil**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2007. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp>>. Acessado em: 17 mar. 2010.

Empresa de Pesquisa Energética. Consumo no Nordeste cresce acima do país. **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica**, Rio de Janeiro, n° 59, p.3, ago. 2012. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/ResenhaMensal/20120829_1.pdf>. Acessado em: 05 out. 2012.

FROTA, A. B. **Geometria da Insolação**. São Paulo: Geros, 2004.

FUNDAÇÃO VANZOLINE. **Processo AQUA**. Disponível em: <http://www.vanzolini.org.br/hotsite-77.asp?cod_site=77>. Acessado em: 21 abr. 2010.

GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings**. New York: John Wiley & Sons, 1994.

GOULART, S. V. G. **Levantamento da Experiência Internacional** - Experiência nos Estados Unidos - Relatório Labeee n730; 2005. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/RT200508.pdf>>. Acessado em: 26 fev. 2012

INSTITUTO DE ENGENHARIA. **Norma Técnica para elaboração de orçamento de**

obras da construção civil. Norma Técnica IE N° 01/2011. Disponível em: www.iengenharia.org.br. Acessado em: 02 set. 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Gráficos**

Climatológicos. Disponível em:

<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php?lnk=http://www.inmet.gov.br/html/clima/graficos>>. Acessado em: 12 jul. 2011.

JANDA, K. B; BUSCH, J. F. World-wide status of energy standards for buildings. In: **Energy**. Vol. 19, n° 1. Pergamon. London, Great Britain. 1994 pp. 27-44 Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_>. Acessado em: 30 nov. 10.

JANDA, K. B. **Worldwide status of energy standards for buildings: a 2009 update.** European Council for an Energy Efficient Economy - ECEEE 2009 summer study. Disponível em: <<http://www.eci.ox.ac.uk/publications/downloads/janda09worldwidestatus.pdf>>. Acessado em: 30 nov. 10.

KLÜSENER, C. S. **Aplicação do Regulamento para etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios: o caso do centro de tecnologia da UFSM.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – centro de tecnologia, Universidade federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2009.

LABEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Regulamento técnico para eficiência energética de edificações residenciais (RTQ-R)**, 2010a. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/>>. Acessado em: 20 out. 2011

_____. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas.** Florianópolis: LabEEE. 2010b.

_____. **Manual de aplicação do Regulamento técnico para eficiência energética de edificações residenciais (RTQ-R)**. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/>>. Acessado em: 20 out 2011.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L. e PEREIRA, F.. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2ª. ed.rev. São Paulo: Pro Livros, 2004.

LEÃO JÚNIOR, R. S. N. **Impacto econômico do uso de ar condicionado em edifícios residenciais na cidade de Maceió/AL**. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, AL, 2008.

LIMA, Raffaella Germano de. **A influência do sombreamento e da absorvância da envoltória no desempenho termo-energético de edifícios residenciais na cidade de Maceió - AL**. 2010. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós- Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFAL, Maceió.

LIMA, K. M. **Desempenho térmico e luminoso de brises externos em escritórios em Maceió – AL**. 2012. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós- Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFAL, Maceió.

LOMARDO, L. L. B. **Eficiência Energética nos Edifícios e Sustentabilidade no Ambiente Construído**. Trabalho elaborado no âmbito do PROCEL EDIFICA - Eficiência Energética em Edificações. Rio de Janeiro, agosto/2011. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/pci/main.asp?View={2BFFB9EB-68BE-442A-B179-F519C396E0DF}>> Acessado em: 28 set 2011.

MCBRIDE, M. F. Development of Economic Scalar Ratios for ASHRAE Standard90.1R. In: **Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings VI**, Proceedings... Clearwater Beach: ASHRAE/DOE/ORNL, 1995.

MARTINAITIS, V., ROGOZZA, A. BIKMANIENE, I. Criterion to evaluate the "twofold benefit" of the renovation of buildings and their elements. In: **Energy and Buildings**. Oxford: Elsevier, 2004. V. 36. pp 3-8. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science>>. Acessado em: 13 dez. 2011

MASCARÓ, J.; MASCARÓ, L. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios**. Porto Alegre: Sagra-DC Luzzatto, 1992.

MEIER, A.; OLOFSSON, T.; LAMBERTS, L. What Is an Energy-Efficient Building? In: **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 9, 2002. Anais eletrônicos, 2002, Foz do Iguaçu, PR. CD-ROM.

MORISHITA, C. **Impacto do regulamento para eficiência energética em edificações no consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro**. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2011.

OLGYAY, V. Arquitetura y clima. **Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos e Urbanistas**. Editorial Gustavo Gilli S A, Barcelona, 1998.

PASSOS, I. C. da S. **Clima e arquitetura habitacional em Alagoas: estratégias bioclimáticas para Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2009.

PEIXOTO, L. K. O.; BITTENCOURT, L. S. Estudo de ventilação natural na UFAL através da simulação computacional. In: **VII Encontro Nacional e III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações**. Curitiba, 2003. Anais eletrônicos. Curitiba: UFPR, 2003.

POUEY, Maria T. F.; SATTLER, Miguel A.; SCHNEIDER, Paulo S. Coberturas verdes: análise de desempenho térmico. Brasil - Florianópolis, SC. 1998. v.1 p. 473-481. In: **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 7º, Florianópolis, 1998. Artigo técnico. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/biblioteca_resultado.aspx>. Acessado em: 12 nov. 2011.

PROCEL/ELETOBRAS. **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica: áreas de atuação – edificações**, 2009. Disponível em: <<http://www.eletrobras.gov.br/procel>>. Acessado em: 17 maio 2010.

_____. **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**: Procel Info – centro brasileiro de informações de energia elétrica, 2010. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp>>. Acessado em: 30 nov 10.

QUEIROZ, N.; MONTENEGRO, J.; PEDRINI, A.; TINOCO, M. Análises paramétricas de Graus Hora de Resfriamento da Etiqueta Residencial do PROCEL para Zonas Bioclimáticas 5 e 8. In: **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído** – ENCAC, 11, 2011. Anais eletrônicos, 2011, Búzios. CD-ROM.

RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**. São Carlos – SP, 2012. Disponível em: <http://roriz.dominiotemporario.com/doc/Sobre_os_arquivos_EPW.pdf>. Acessado em: 15 mai. 2012.

SANTOS, I. G. dos; SOUZA, R. V. G. Revisão de regulamentações em eficiência energética: uma atualização das últimas décadas. In: **Revista FÓRUM PATRIMÔNIO** – AMBIENTE Construído e Patrimônio Sustentável – Vol. 1, No. 1 (2007) – Cadernos de Trabalho. ARTIGO – Publicado em 25/07/2008. Disponível em: <<http://www.forumpatrimonio.com.br/print.php?articleID=109&modo=1>>. Acessado em: 30 nov. 2010.

SATTLER, M. A.; **Habitações de baixo custo mais sustentáveis**: a casa alvorada e o centro experimental de tecnologias habitacionais sustentáveis. Porto Alegre: ANTAC, 2007. (Coleção Habitare, 8).

SCHIPPER, L.; MEYER, S. **Energy efficiency and human activity**: past trends, future prospects. Cambridge - USA, 2005.

SOUZA, R. O Processo de certificação de eficiência energética nos edifícios (Etiqueta PROCEL) -RTQ-C e RTQ-R. In: **Encontro Nacional, 6, Encontro Latino-Americano sobre edificações e comunidades sustentáveis**, 4, 2011. Anais eletrônicos, 2011, Vitória, ES. CD-ROM.

SPIRN, A. W. Projeto do ecossistema urbano. In: SPIRN, Anne W. **O jardim de granito – a natureza no desenho da idade**. São Paulo: EDUSP, 1995, p.p. 267-287.

SINDUSCON-PA. **Metodologia SINAPI e demais Indicadores Econômicos da Construção Civil Brasileira.** Disponível em: <<http://www.sindusconpa.org.br/link.php?noticia=70>>. Acessado em: 12 ago. 2012.

SINDUSCON-AL. **Indicadores Econômicos da Construção Civil Brasileira.** Disponível em <<http://www.sinduscon-al.com.br/>>. Acessado em 12 ago. 2012.

TOLEDO, A. M. **Avaliação do desempenho da ventilação natural pela ação do vento em apartamentos: uma aplicação em Maceió/AL.** Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, Maio de 2006.

TOLEDO, A. M. **Ventilação Natural e Conforto Térmico em Dormitórios:** aspectos bioclimáticos para uma revisão do código de obras e edificações de Maceió. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

TOLEDO, E. **Ventilação Natural das Habitações.** Maceió: Edufal, 1999.

U.S. Department of Energy (2012). EnergyPlus 7.1. **Energy Simulation Software.** Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>. Acessado em: 10 jul. 2012.

VEGA, N.; CUNHA, E. G. da; SILVA, A. C. S. B. da. Viabilidade do uso de protetor solar na fachada oeste do hotel Jacques George Tower em Pelotas, RS. In: **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído** - ENTAC, 13, Canela-RS, 2010. Disponível em: <http://www.ufpel.edu.br/faurb/prograu/documentos/2011/bibliografia_06_entac_2010.pdf>. Acessado em 8 set. 2012.

VERGARA, L. G. L.; PIPPI, L. G.; BARBOSA, A. Aplicação de telhado verde como tecnologia sustentável para o projeto de edificações residenciais. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 10, 2009, Natal. **Anais...** Natal, 2009. p. 962-971.

WBCSD. WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2007. **Eficiência energética em edifícios: realidades empresariais e oportunidades**. Disponível em: <<http://www.wbcsd.org/plugins/DocSearch/details.asp>>. Acessado em: 28 jun. 2010.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Tabelas do levantamento documental feito na SMCCU e nos web sites das construtoras.

ANO/INº REG. SIMCOU	FOTO/ ESTUDO 3D	NOME DO EDIFÍCIO/CONSTRUTORA	ENDEREÇO	ORIENT. FACHADA PRINCIPAL	Nº DE APLO P/ ANDAR	ÁREAS (m²) (AFTCS/m²)	Nº DE QUARTOS	Nº DE PAVIMENTOS	MATERIAL DE REVEST. DA ENVOLTÓRIA	METODAS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA
5/2006		Edif. Crumbery/ Delman	R. Carlos Teófilo e Antônio Carneação, Ponta Verde	Norte	4	108 a 226.	3 e 4 Q. 2 a 4 suites.	10	Cerâmica.	-
9/2008		Edif. Norte Paraisópolis/ Consenso	R. Dr. Antônio Carneação, Ponta Verde	Sul-este	12	Até 50	1 quarto	11	Cerâmica	-
29/2006		Edif. Damascus/ Delman	R. Vital Barroso, Ponta Verde.	Leste	3	101 a 154	3 Q / até 2 suites.	9	Cerâmica.	SIM
39/2006		Maceió Facilitas/ Record	Rua Coronel João Siqueira Pitão, Ponta Verde.	Leste	Edif. 12 Blocos de 4 por andar.	64,43 a 08,67	1 a 3 Q/ 1 suite.	11	Cerâmica	SIM
36/2006		Edif. breezes construtora contemporânea	Rua Manoel Ribeiro da Rocha, Ponta Verde.	Sul	8 por andar.	68	2 Q / 1 suite.	10	Cerâmica	-

70/2008		Ec. Residência Enfance/ Delirium	Rua Sonador Rui Palmeira, Ponte Verde	Nota	4	64 e 31	1 a 2 Q/ 1 suite.	9	Cerâmica.	SIM
72/2008		Ed. Classic/ Delirium	R. Dep. José Leães, nº 3-5, Ponte Verde	Nota	3	144 a 223	4 Q/ 3 suites.	10	cerâmica, com pele de vidro refletivo	-
102/2008		Ed. Carlos Patil/ Camelo	R. António Cansação, Ponte Verde	Nordeste	3	52,40	3 Q / 2 suites sanita 1 reversível.	10	Cerâmica.	-
146/2008		Ed. Detroit.	R. José Freire Moura, Ponte Verde	Oeste	4	62	2 Q / 1 suite.	9	Cerâmica.	-
176/2008		Ed. Spazio Vital/ Delirium	R. Prof. Vila Barbosa, Ponte Verde	Nota	4	40 a 60	1 a 2 Q/ 1 suite.	8	Cerâmica e pele de vidro espelhado.	SIM

324/2008		Residencial Amalfi/ V2	R. Dr. Correia Filho, nº 18, Ponta Verde	Nordeste			64,40 - 67,40	3 Q. 1 suite.	8	Cerâmica	-
176/2008		Ed. Dubai/ Pacto	Rua Hélio Pradines, 1081 Ponta Verde	Norte	4		95,50	3 Q/1 suite	7	Cerâmica	-
180/2008		Ed. Mont Vernon/ Contrato	Sandoval Airoxelles c/ Lourenço Moreira da Silva, Ponta Verde	Sul	4		147 a 160	4 Q/3 suites	9	Cerâmica e pele de vidro (bronze espeinhado)	-
206/2008		Ed. Palazzo Imperial/ Marroquim	Av. Silvio Viana, Ponta Verde	Sul	2		275	4 suites.	10	Granito e pastilha na frente. Cerâmica atrás.	-
209/2008		Ed. Residencial Giulio Romano/ Lares	Av. Álvaro Otacilio, Ponta Verde	Leste	4		156	3 a 4 Q/ 2 a 3 suites.	10	granito polido, porcelanato ou cerâmica esmaltada e vidro fumê.	SIM

258/2009		Ed. Domus / Conte Imponência	R. Senador Rui Palmeira, Ponta Verde	Norte	4	Até 110,9'	3 Suites, sendo 1 reversiva	10	Cerâmica e de vidro	-
281/2009		Ed. Pérola do Mar/Decisão engenharia	R. Antônio Carragão, nº 181 Ponta Verde	Sulcoto	4	Até 148,40 a 140,40	4 Q / 2 a 3 suites.	11	Cerâmica.	-
377/2009		Ed. Luna Dutilaf Deiman	Av. Sandoval Araújo, Ponta Verde	Sul	7	Até 84	2 a 3 Q 1 a 2 suites.	11	Cerâmica	-
453/2009		Ed. Residencial Quadrado 2	R. Antônio Carragão, Ponta Verde	Norte		110,30 a 112 Cco - 223 a 228	3 Quartos 2 suites.	9	Cerâmica e pastilha	SIM
700/2010		Ed. Orlas / Maucon	R. Prof. Sandoval Araújo, nº 190 Ponta Verde	Sul	3	120	3 Quartos	10	Cerâmica e de vidro	-

39/2010		Ed. Chamber/ Delman	R. Hélio Pradines, 783.Ponta Verde	Norte	4	106 a 223	3 e 4 Q. 2 a 4 suites.	10	Cerâmica.	-
1006/2010		Ed. Soho/ Maucon	R. Campos Teixeira s/n.Ponta Verde	-	5	53	3 Q / 1 suite.	12	Cerâmica.	-
106/2010		Ed. Residencial Maison Blanco/ Placic	Teresessa Arlório Macedo do Oliveira, nº 199 Ponta Verde	Leste	6	99	3 Q / 2 suites	10	Cerâmica	-
184/2010		Ed. Monte Humanari/ Consenco	R. Hélio Pradines, 766.Ponta Verde	Norte	9	56 a 70	2 a 3 Q. 1 5 suite	11	Cerâmica.	-
243/2010		Ed. Vivara/ CCLIL	Av. Senador Rui Palmeira, 203.Ponta Verde	Sul	4	88,45	3 Q / 2 suites e 1 ver.	12	Cerâmica.	-

24/6/2010		Ed. Ytred/ Y2	Rua Machado Lemos, Ponta Verde	Leste	4	218	4 Q / 60 3 suítes.	10	Cerâmica e pastilha	SIM
30/1/2010		Ed. Beliz/ Construam	R. Valdo Omeré - Ponta Verde	Oeste	3	179 a 185	3 3 suítes.	10	Cerâmica e pele de vidro	-
3/9/2010		Ed. Maxir's/ Marrôculim	Av. Silvio Carlos Viana e Cia na Esportista Liberato Guimarães Ponta Verde	Est	3	305	4 3 suítes.	9	Granito e pastilha porcelânica.	-
30/6/2010		Ed. Valência/ Mandouça	Av. Dep. José Sues, vizinho a 100% Vidro, Ponta Verde	Norte	4	-	-	10	Granito, cerâmica e pele de vidro	-
5/2011		sc. Cabemê/ De Man	Rua Carlos I enório, 299, Ponta Verde	Nordesto	3.	154,24	3 Q/2 suítes.	9	Cerâmica e Pele de vidro.	-
9/7/2011		Ed. Zildete Brito/Anelli smp.	Eng. Mário do Gusmão c/ Machec - Amos, 157, Ponta Verde	Est	3	143	3 3 suítes	11	Cerâmica e pele de vidro	-

7/2008		Ed. Castel Del Mar/Delmar	Av. Dr. Júlio Marques Luz (Av. Jatiúca), nº 92, Jatiúca.	Sul	2	105	3 Q/ Até 2 suítes.	9	Cerâmica.	-
118/2008		Ed. El Verde/Maucon	Rua Estudante Antonio C. de Moura Gama, Jatiúca.	Leste	3	120 a 126	3 Q. 1 suite.	11		-
121/2008		Ed. Las Torres/Wagner Cabral	Rua José Carneiro da Cunha Sarmento, Q. 27, Stella Maris	Leste	6	68,40 a 70,79	3 Q /1 suite	10	Cerâmica	-
215/2008		Ed. Mont Sinai/Contrato	R. Olíndina Campos Teixeira, Jatiúca	Leste	6	85 a 102	3 Q / 1 suite	10	Cerâmica	SIM
216/2008		Ed. Vandelli/Consenco	R. Empresário Carlos da Silva Nogueira c/a Raphael Perrelli	Sul	3	86	3 a 4 Q/ 1 suite.	11	Cerâmica.	-
231/2008		Ed. Samsol/Record	Rua Miguel Alcides de Castro, 285, Jatiúca.	Leste	6	107 a 110	3 Q/2 suítes.	10	Cerâmica.	SIM

23/2008		Ed. Residencial Blue Tower/ COLIL	R. Clímério Sarmento, Jatiúca	Oeste	7	39,68 a 56,71	1 a 2 Q.	9	Cerâmica	-
26/2008		Ed. Málagá/ R.C construtora	Rua Amilton de Barros Sotirno, nº 258, Jatiúca	Norte	3	98	2 Q / 1 suite.	9	Cerâmica.	-
27/2008		Ed. Felicitá/ Sampaio Soriano	R. Dr. Aureliano Teixeira de Vasconcelos, Stela Maris, 28	Leste	4	92 a 102	3 Q/ 2 suites.	11	Cerâmica	-
38/2008		Ed. Residencial Le Terrace/ Placis	R. Lourenço Moreira Silva / Av. Julio Marques Luz, nº 18, Jatiúca	Norte	4	Até 120	3 quartos e dep. Emp. / 1 suite.	9	cerâmica e pele de vidro.	-
37/2009		Ed. Saint Laurent/ R. Pontes	R. Carlos Gomes da Silva, Jatiúca.	Leste	4	96,29 a 97,78	3 Q / 2 suites.	11	Cerâmica.	-
18/2009		Ed. Residencial Vogue/ COLIL	R. Santa Fernanda, nº 470, Jatiúca.	Sul	3	108	3 suites/ 1 rev.	11	Cerâmica.	-

199/2009		Ed. Residencial Manhattan/Humbert o Lobo	R. Dra. Rosa Cabus, Stella Mens.	Leste	5	112 e 117	3 Q / 2 suites.	10	Cerâmica.	-
354/2009		Ed. Carrara/Marca	R. Profa. Edith B. Nogueira. Em frente ao G barbosa. Jatiuca	Sul.	8	93 e 100	3 q/ 1 suite.	11	Cerâmica.	-
33/2010		Ed. Francesco Granacci/Lares	Av. Alvaro Otacilio.	Leste	2	350	4 suites.	10	granito polido, porcelanato ou cerâmica esmalçada e pele de vidro.	SIM
159/2010		Ed. Monte Fuji/Consenso	R. Dep Eliseu Teixeira, nº 585, Jatiuca	Leste	11	63	2 quartos.	10	cerâmica e pele de vidro.	-
225/2010		Ed. Indico/Delman	R. José Carneiro da Cunha Sarmento, Jatiuca	Leste	4	8	3 Q /1 suite.	11	Cerâmica.	-
249/2010		Ed. Port Ville III/Contrato	Rua General Newton de Andrade Cavalcante	Leste		41,33 e 72,13	1 a 2 Q.	8	Cerâmica e pele de vidro (fusão espelhado)	-

338/2010		Edif. Lugano. Maucon	Rua Ubiracy Noberto Joazeiro de Faria Costa L. 7, 8 e 9	Leste	3	90 a 120	3 Q/ 1 ou 2 suítes	12	Cerâmica.	-
70/2011		Edif. Palazzo Di Mare/Pacto Engenharia	Av. João Davino, 146, Jatiúca.	Leste	4	Até 108	3 Q/ até 2 suítes	9	cerâmica e pele de vidro.	-

ANEXOS

ANEXO A – Índice Nacional da Construção Civil

Tabela 2296 - Custo médio m ² em moeda corrente e variações percentuais no mês, no ano e em doze meses												
Variável = Custo médio m ² - variação percentual no ano (Percentual)												
Brasil, Grande Região e Unidade da Federação	Mês											
	janeiro 2007	fevereiro 2007	março 2007	abril 2007	maio 2007	junho 2007	julho 2007	agosto 2007	setembro 2007	outubro 2007	novembro 2007	dezembro 2007
Brasil	0,27	0,67	1,30	1,71	2,62	3,16	3,58	3,88	4,32	4,78	5,28	6,08
Nordeste	0,52	1,05	2,17	3,38	4,06	4,48	4,83	5,11	5,51	6,19	6,89	7,41
Alagoas	0,24	0,73	0,93	1,32	3,66	4,19	4,39	4,58	5,31	5,34	5,79	5,98

Tabela 2296 - Custo médio m ² em moeda corrente e variações percentuais no mês, no ano e em doze meses												
Variável = Custo médio m ² - variação percentual no ano (Percentual)												
Brasil, Grande Região e Unidade da Federação	Mês											
	janeiro 2008	fevereiro 2008	março 2008	abril 2008	maio 2008	junho 2008	julho 2008	agosto 2008	setembro 2008	outubro 2008	novembro 2008	dezembro 2008
Brasil	0,44	0,87	1,72	2,09	4,00	5,28	6,36	7,72	9,11	10,15	11,05	11,73
Nordeste	0,45	1,12	2,28	2,58	3,78	4,41	5,23	6,51	7,98	9,19	10,69	11,25
Alagoas	0,31	0,59	0,84	1,12	4,31	5,49	6,09	7,16	8,42	9,40	10,17	10,27

Tabela 2296 - Custo médio m ² em moeda corrente e variações percentuais no mês, no ano e em doze meses												
Variável = Custo médio m ² - variação percentual no ano (Percentual)												
Brasil, Grande Região e Unidade da Federação	Mês											
	janeiro 2009	fevereiro 2009	março 2009	abril 2009	maio 2009	junho 2009	julho 2009	agosto 2009	setembro 2009	outubro 2009	novembro 2009	dezembro 2009
Brasil	0,39	0,71	1,66	1,98	3,31	3,67	4,17	4,37	4,58	4,93	5,28	5,85
Nordeste	0,52	0,84	2,57	3,23	3,49	3,63	3,99	4,26	4,58	5,28	5,76	6,05
Alagoas	0,19	0,35	1,22	1,52	2,60	2,96	3,09	3,16	3,47	3,78	4,00	4,51

Tabela 2296 - Custo médio m ² em moeda corrente e variações percentuais no mês, no ano e em doze meses												
Variável = Custo médio m ² - variação percentual no ano (Percentual)												
Brasil, Grande Região e Unidade da Federação	Mês											
	janeiro 2010	fevereiro 2010	março 2010	abril 2010	maio 2010	junho 2010	julho 2010	agosto 2010	setembro 2010	outubro 2010	novembro 2010	dezembro 2010
Brasil	0,42	0,86	1,62	2,00	3,64	4,33	5,10	5,43	5,80	6,34	7,08	7,36
Nordeste	0,77	1,40	2,72	2,92	3,80	4,58	4,94	5,14	5,36	6,64	7,12	7,50
Alagoas	0,66	0,88	1,18	1,34	2,07	4,49	5,24	5,60	5,96	6,19	6,53	7,31

Tabela 2296 - Custo médio m ² em moeda corrente e variações percentuais no mês, no ano e em doze meses												
Variável = Custo médio m ² - variação percentual no ano (Percentual)												
Brasil, Grande Região e Unidade da Federação	Mês											
	janeiro 2011	fevereiro 2011	março 2011	abril 2011	maio 2011	junho 2011	julho 2011	agosto 2011	setembro 2011	outubro 2011	novembro 2011	dezembro 2011
Brasil	0,27	0,66	1,18	1,67	3,20	3,82	4,39	4,53	4,74	5,13	5,52	5,65
Nordeste	0,46	1,36	1,49	2,72	3,77	4,28	4,45	4,53	4,71	4,99	5,98	6,13
Alagoas	0,08	0,28	0,58	1,10	1,09	3,66	3,68	3,84	3,86	4,08	4,14	4,20

Fonte: SIDRA – IBGE – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&o=14&i=P&c=2296>

1 - Os dados para as variáveis **Custo médio - componente material – moeda corrente e Custo médio – componente mão-de-obra – moeda corrente** estão disponíveis apenas para o nível territorial Brasil e a partir de julho de 1994;

2 - **Série de custos (moedas):**

Devido aos vários planos econômicos que resultaram em mudança da moeda, as séries de custos do SINAPI estão expressas da seguinte forma: março de 1986 à dezembro de 1988:

Cz\$ (cruzado); janeiro de 1989 à março de 1990: NCz\$ (cruzado novo); abril de 1990 à julho de 1993: CR\$ (cruzeiro); agosto de 1993 à junho de 1994: CR\$ (cruzeiro real); julho de 1994 em diante: R\$ (real).

3 - A partir de janeiro de 2011, o custo nacional do SINAPI e os custos relativos às Regiões são calculados com uma nova estrutura de ponderação (número de domicílios com banheiro da PNAD 2009 em relação à PNAD 2004).

Por isso, não devem ser comparados com os resultados anteriores que foram obtidos com outra estrutura de ponderação (crescimento populacional resultante do Censo Demográfico).

ANEXO B – Orçamento de brises articulados fornecido pela empresa Refax Fachadas e Forros Ltda .

				Maceió, Orçamento Nº	21/08/12 0094/12
Orçamento					
Cliente:	Edifício Índico			Att.:	Bruna Accioly
CGC:				Fone:	
Ref.:	Brises Janelas			Fax:	
I.	Q.	Un.	Descrição	Unitário	Total
1	92,50	m ²	Fornecimento e montagem brise retratil de aluminio AS288 liso para 40 vãos de 180x120mm, em cor a ser definida pela Arquitetura (Janelas)	420,00	38850,00
2	62,50	m ²	Fornecimento e montagem de brise retratil de aluminio AS288 liso, para 40 vãos de 120x1200mm, em cor a ser definida pela Arquitetura (janelas)	420,00	26250
Total Geral				R\$	65100,00
Condições da Venda:					
Validade:		04/09/12			
Entrega:		21 dias do pedido.			
Instalação:		2 dias da entrega.			
Faturamento:		Refax Fachadas e Forros Ltda			
Pagamento:					
		40 % no pedido			
		30 % com 30 dias			
		30 % com 60 dias			
Atenciosamente,					

Cibelle Esteves
 Depto Vendas
vendas3@refax.com.br
www.refax.com.br
vendas3@refax.com.br
www.refax.com.br

ANEXO C – Tabelas de “Padrão de ocupação para dias da semana e final de semana”, “Taxas metabólicas para atividades” e “Padrão de uso da iluminação” (LabEEE, 2010, p. 69 - 71,)

Tabela 3.39: Padrão de ocupação para dias de semana e final de semana

Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)
1 h	100	100	0	0
2 h	100	100	0	0
3 h	100	100	0	0
4 h	100	100	0	0
5 h	100	100	0	0
6 h	100	100	0	0
7 h	100	100	0	0
8 h	0	100	0	0
9 h	0	100	0	0
10 h	0	50	0	0
11 h	0	0	0	25
12 h	0	0	0	75
13 h	0	0	0	0
14 h	0	0	25	75
15 h	0	0	25	50
16 h	0	0	25	50
17 h	0	0	25	50
18 h	0	0	25	25
19 h	0	0	100	25
20 h	0	0	50	50
21 h	50	50	50	50
22 h	100	100	0	0
23 h	100	100	0	0
24 h	100	100	0	0

Tabela 3.40: Taxas metabólicas para cada atividade

Ambiente	Atividade realizada	Calor produzido (W/m ²)	Calor produzido para área de pele = 1,80 m ² (W)
Sala	Sentado ou assistindo TV	60	108
Dormitórios	Dormindo ou descansando	45	81

Tabela 3.41: Padrão de uso da iluminação

Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)
1 h	0	0	0	0
2 h	0	0	0	0
3 h	0	0	0	0
4 h	0	0	0	0
5 h	0	0	0	0
6 h	0	0	0	0
7 h	100	0	0	0
8 h	0	0	0	0
9 h	0	100	0	0
10 h	0	0	0	0
11 h	0	0	0	100
12 h	0	0	0	100
13 h	0	0	0	0
14 h	0	0	0	0
15 h	0	0	0	0
16 h	0	0	0	0
17 h	0	0	100	100
18 h	0	0	100	100
19 h	0	0	100	100
20 h	0	0	100	100
21 h	100	100	100	100
22 h	100	100	0	0
23 h	0	0	0	0
24 h	0	0	0	0