

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA
ESPECIALIZAÇÃO EM GERENCIAMENTO DE OBRAS

HENRIQUE WOLLZ NETTO

**USO DA FERRAMENTA BIM NA PRODUÇÃO DE
PROJETOS SUSTENTÁVEIS – ESTUDO DE CASO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2015

HENRIQUE WOLLZ NETTO

USO DA FERRAMENTA BIM NA PRODUÇÃO DE PROJETOS SUSTENTÁVEIS – ESTUDO DE CASO

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gerenciamento de Obras da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em gerenciamento de Obras.

Orientador: Prof. M. Eng. Carlos Alberto da Costa.

CURITIBA

2015

A escola é o mundo e o estudo é uma vida
(Criolo)

RESUMO

As formas de mitigar as ações que depredam o meio em que vivemos são várias e compreendem todas as atividades do cotidiano. Com isso, o objetivo desse trabalho é estudar como às novas tecnologias de projeto podem contribuir para maximizar a qualidade do ambiente construído no que tange a eficiência energética das residências. O método utilizado foi a revisão bibliográfica de normas e referenciais técnicos, foi analisado como a plataforma *Building Information Modeling* (BIM) pode contribuir para a análise da eficiência energética na obtenção das variáveis exigidas pelo método prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e, foi feito um estudo de caso comparando os resultados alcançados de forma convencional com os valores obtidos neste trabalho. O resultado foi a produção de um *template* que se mostrou eficaz para a análise crítica do projeto arquitetônico, bem como da escolha dos elementos construtivos.

Palavras-chave: Eficiência energética. BIM. Certificação. Sustentabilidade.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Normais Climatológicas, séries de 1961 a 1990 obtida pela Estação Climatológica de Curitiba.....	15
Quadro 2 Normais Climatológicas, séries de 1961 a 1990 obtida pela Estação Climatológica de São Paulo.	15
Quadro 3: Variáveis para obtenção do GH e Ca	32
Quadro 4: Relação das fórmulas utilizadas na produção do template.....	35
Quadro 5: Características da cobertura	42
Quadro 6: Características da parede.....	42
Quadro 7: Características da abertura	43
Quadro 8: Valores necessários para avaliação da eficiência energética pelo método prescritivo do RTQ-R.....	46
Quadro 9: Ângulos de referência para fachada oeste para a cidade de Curitiba, PR	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama desenvolvido por Givoni para países em desenvolvimento	12
Figura 2: Carta Psicométrica proposta para o Brasil	13
Figura 3: Zonas Bioclimáticas do Brasil	14
Figura 4: Exemplo da ENCE.....	20
Figura 5: Relação de Tipos e Instâncias de uma mesma família de janelas.....	25
Figura 6: Diagrama de aplicação de parâmetros em projeto.	25
Figura 7: Diagrama de aplicação de parâmetros em família.	26
Figura 8: Modelo 3D desenvolvido para o estudo.	31
Figura 9: Campo destinado ao preenchimento das condições da parede em destaque.....	36
Figura 10: Exemplo de preenchimento dos campos referente ao Piso.	37
Figura 11: Exemplo de preenchimento dos campos referente ao forro.....	37
Figura 12: Exemplo de preenchimento dos campos referente à cobertura.....	38
Figura 13: Exemplo de preenchimento dos campos referente à parede.	38
Figura 14: Exemplo de preenchimento dos campos referente à janela.	39
Figura 15: Ângulos de referência para a cidade de Curitiba.	39
Figura 16: Família de janela com parâmetros de dimensão e ângulos.....	40
Figura 17: Exemplo de obtenção da variável Pil.....	40
Figura 18: Planta baixa da UH.....	44
Figura 19: Modelo 3D desenvolvido com base no estudo de caso.....	45
Figura 20: Método de trabalho para validação dos parâmetros criados no <i>template</i>	45
Figura 21: Parede em planta: comparação entre a medida tomada pelo eixo e pela face interna da parede.....	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	CONTEXTO	7
1.2	OBJETIVO	7
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
1.4	JUSTIFICATIVA	7
2	REFERENCIAL TEÓRICO	8
2.1	MEIO AMBIENTE	8
2.2	ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA	9
2.2.1	Cartas bioclimáticas	11
2.2.2	Zona bioclimática	13
2.3	NORMATIVAS	15
2.4	CERTIFICAÇÕES	16
2.4.1	LEED	16
2.4.2	Selo Casa Azul	17
2.4.3	Processo AQUA	18
2.4.4	PROCEL Edifica	19
2.4.4.1	RTQ-R	20
2.5	SISTEMA BIM	21
2.6	REVIT	24
2.6.1	Famílias, tipos e instâncias	24
3	METODOLOGIA	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1	MÉTODO DE OBTENÇÃO DOS DADOS	30
4.1.2	Modelo 3D	30
4.1.3	Criação dos parâmetros	31
4.1.4	Tabelas	35
4.1.4.1	Piso	36
4.1.4.2	Cobertura	37
4.1.4.3	Paredes	38
4.1.4.4	Aberturas	38
4.1.4.5	Ambiente	41
4.2	ESTUDO DE CASO	41
4.2.1	Envoltória	41
4.2.2	Modelo	44
4.2.3	Resultados	45
4.2.4	Discussões	47
4.2.4.1	Valor obtido para Capacidade Térmica Baixa	47
4.2.4.2	Valor das áreas das paredes	48
4.2.4.3	Valor das áreas de abertura das janelas	48
4.2.4.4	Valor de Fator de ventilação da abertura	48
4.2.4.5	Valor da transmitância térmica das aberturas	49
4.2.4.6	Valor da variável binária para sombreamento sobre as aberturas	49
5	CONCLUSÃO	51
	BIBLIOGRAFIA	52

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

Diante dos acontecimentos climatológicos que vemos agravados nas últimas décadas e considerando a grande quantidade de energia consumida pelas edificações no Brasil, correspondente a um montante de 46,7% de energia total consumida, onde o setor residencial chega à 23,3% do total nacional (LAMBERTS, 2014), quais ferramentas legais e normativas existem para nortear o projeto arquitetônico com o objetivo de manter o conforto térmico das edificações, e ainda, como as novas tecnologias de modelagem podem contribuir para a elaboração destes projetos?

1.2 OBJETIVO

Pretende-se, através dos estudos desenvolvidos nesse trabalho, avaliar como a plataforma *Building Information Modeling* (BIM) pode contribuir para analisar a envoltória de uma unidade de habitação familiar com base no método prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) como ferramenta de produção do projeto de arquitetura e seus elementos.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Entender o método prescritivo do RTQ-R e como obter as variáveis que condicionam a eficiência energética da edificação.

Avaliar como o BIM contribui para a extração dos dados necessários para a avaliação da eficiência energética.

Comparar, através de um estudo de caso, os valores obtidos para o RTQ-R pelo método proposto nesse trabalho com os dados obtidos por uma análise convencional.

1.4 JUSTIFICATIVA

Aliado à necessidade de minimizar o consumo de energia elétrica na indústria da construção civil, este estudo busca afirmar a importância e os benefícios do processo de produção de projetos através do uso da tecnologia BIM direcionado a obter níveis de eficiência energética ideais para minimizar os custos de produção e uso e operação do ambiente construído.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MEIO AMBIENTE

Nas últimas décadas, foi observado esforços consideráveis por parte dos governos e entidades não governamentais, no que tange a obtenção de um consenso global para atingir metas que minimizem o efeito erosivo no planeta terra, o qual é causado pelo modelo atual de desenvolvimento. O primeiro esforço realizado que repercutiu de forma contundente no mundo foi o Protocolo de Montreal, reunindo governantes e cientistas em 1987 para discutir as emissões de gás CFC na atmosfera (PROTOCOLO DE MONTREAL, 2015). Em 1992, no Brasil foi sediada a Eco'92, evento da Organização das Nações Unidas (ONU), nela foi elaborado um documento reunindo 40 capítulos contendo planos de ações visando o desenvolvimento sustentável, recebeu o nome de Agenda 21 (MMA, 2015). Neste mesmo ano o Protocolo de Kyoto definiu metas para a redução de emissão de CO² na atmosfera (ONU, 2015).

O evento promovido pela ONU mais recente foi a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (CNUDS) que ficou mais conhecido como RIO+20, O objetivo da Conferência foi a renovação do compromisso político com o desenvolvimento sustentável, por meio da avaliação do progresso e das lacunas na implementação das decisões adotadas pelas principais cúpulas sobre o assunto e do tratamento de temas novos e emergentes. (RIO20, 2015)

A Agenda 21 ressalta que a necessidade de comprometimento deve ser de todos, não só dos Governos, mas também todas as organizações que atuam no cenário público e privado. Como o Ministério do Meio Ambiente (2015), aponta:

A Agenda 21 está voltada para os problemas prementes de hoje e tem o objetivo, ainda, de preparar o mundo para os desafios do próximo século. Reflete um consenso mundial e um compromisso político no nível mais alto no que diz respeito a desenvolvimento e cooperação ambiental. O êxito de sua execução é responsabilidade, antes de mais nada, dos Governos. Para concretizá-la, são cruciais as estratégias, os planos, as políticas e os processos nacionais. A cooperação internacional deverá apoiar e complementar tais esforços nacionais. Nesse contexto, o sistema das Nações Unidas tem um papel fundamental a desempenhar. Outras organizações internacionais, regionais e sub-regionais também são convidadas a contribuir para tal esforço. A mais ampla participação pública e o envolvimento ativo das organizações não governamentais e de outros grupos também devem ser estimulados.

2.2 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

Os primeiros estudos feitos de forma sistemática sobre o conforto na edificação tiveram início no século XX, as pesquisas buscaram determinar qual a influência que as condições termo-higrométricas causariam no trabalho do operário. Estes primeiros estudos demonstraram a importância que as boas condições no ambiente de trabalho, no que diz respeito conforto térmico, representam para a produtividade, pois, para o trabalho físico, a variação da temperatura de 20°C para 24°C ocasiona uma baixa de rendimento de 15%, variações mais amplas nas temperaturas, como de 19% para 27% pode reduzir até 41% do rendimento do trabalhador. (FROTA, 2014)

Como define Lamberts (1994), arquitetura bioclimática é aquela que “fazendo uso da tecnologia que se baseia na correta aplicação dos elementos arquitetônicos, com o intuito de fornecer ao ambiente construído, um alto grau de conforto higrotérmico, com baixo consumo energético”. Complementando essa definição, pode-se citar também o exposto por Grünberg (2003):

...o objetivo da Arquitetura Bioclimática é prover um ambiente construído com conforto físico, sadio e agradável, adaptado ao clima local, que minimize o consumo de energia convencional e precise da instalação da menor potência elétrica possível, o que também leva à mínima produção de poluição.

Na mesma linha Mascaró (1993) aponta a íntima relação entre clima e moradia, relacionando-os à importância do uso consciente dos recursos naturais:

...a intrínseca relação do clima com a edificação composto por FATORES ESTÁTICOS (posição geográfica e relevo) e FATORES DINÂMICOS (temperatura, umidade, movimento do ar e radiação). O CLIMA tem-se mostrado, desde a antiguidade, como um dos elementos-chave no projeto e construção da habitação do homem. Hoje, depois de um longo período de uso intensivo (e irreflexivo) da energia, criada a nível mundial (crise essa não só de energia, mas também cultural, já que o modelo vigente, consumista-esgotador, tendo como única referência o sistema produção-consumo, tem se mostrado falho e, portanto questionável), construir com o clima não é mais uma posição ecológica, idealista ou contestatória. É uma necessidade quando se analisa o panorama mundial e local da evolução do consumo em relação à disponibilidade de energia.

Assim, a arquitetura bioclimática utiliza como premissa a eficiência energética, que pode ser entendida, de acordo com Lamberts (2014), como um “atributo inerente à edificação representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos seus usuários com baixo consumo de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menos consumo de energia”.

Mesmo que as condições climáticas do local da edificação sejam rígidas, apresentando temperatura muito quente ou fria ou umidade muito baixa ou alta, deve-se, de acordo com Frota (2014), “procurar propostas que maximizem o desempenho térmico natural, pois assim, pode-se reduzir a potência necessária de equipamentos de refrigeração ou aquecimento, visto que a quantidade de calor retirada ou fornecida ao ambiente resultará menor.” Em regiões de clima quente e seco de dia e frio à noite, por exemplo, “partidos arquitetônicos que tenham, primordialmente, uma inércia elevada, a qual acarretará grande amortecimento do calor recebido e um atraso significativo no número de horas que esse calor levará para atravessar os vedos da edificação”. Deste modo, é possível gerar uma situação que permita o calor, criado pela incidência solar, atingir o ambiente interno apenas no período noturno, quando a temperatura externa decai, Grünberg (2003) conclui que:

...minimizar os ganhos de energia solar pelas janelas e coberturas e alocar isolantes térmicos nas superfícies mais ensolaradas são estratégias para o controle dos ganhos de calor por radiação. Outras táticas bioclimáticas são combinar a ventilação noturna com inércia térmica e transferir o calor para zonas com menor temperatura que o ambiente habitado (depósitos, garagens, subsolos, etc.). A movimentação do ar é importante para remover o excesso de umidade e aumentar a sensação de conforto térmico.

Outra estratégia para controlar o ganho de calor pela incidência solar trata do dimensionamento das aberturas. Em climas de temperatura baixa o tamanho desta pode proporcionar aquecimento do ambiente interno durante o dia, e assim, usar dessa energia no período noturno tornando o ambiente mais agradável e sem necessidade de condicionamento artificial (LAMBERTS, 2014).

De acordo com Mori (2012), “o montante de energia demandada pela construção civil em edifícios (iluminação, condicionamento de ar, funcionamento de equipamentos) é responsável por pelo menos 40% do total da energia utilizada na maioria dos países”. Deste montante, o condicionamento do ar das residências no Brasil corresponde a cerca de 20% da energia total consumida, o aquecimento da água a 24% e a iluminação a 14%, apenas essas três categorias de consumo correspondem a 58% do gasto total de uma residência brasileira o restante, 42%, corresponde a utilidades do dia-a-dia como lava roupas, geladeira, freezer, micro-ondas, etc. de acordo com dados apresentados por Lamberts (2014). Essas três categorias estão intimamente relacionadas com o projeto arquitetônico, tendo em vista que condicionamento do ar, aquecimento da água e a utilização da energia elétrica para iluminação podem, em fase de projeto, representar

estratégias determinantes para a eficiência na operação do edifício adotando soluções e técnicas que minimizem o consumo de energia elétrica.

A avaliação do conforto térmico está relacionada a diversos índices, como velocidade e umidade relativa do ar, vestimenta e atividade do indivíduo e o clima atuante na região, nesta linha, Frota (2014) observa que:

...os índices de conforto térmico procuram englobar, num parâmetro, o efeito conjunto dessas variáveis. E, em geral, esses índices são desenvolvidos fixando um tipo de atividade e a vestimenta utilizada pelo indivíduo para, a partir daí, relacionar as variáveis do ambiente e reunir, sob a forma de cartas ou namogramas, as diversas condições ambientais que proporcionam respostas iguais por parte dos indivíduos.

2.2.1 Cartas bioclimáticas

Para analisar uma edificação, com o objetivo de avaliar o conforto que ela causa no indivíduo, é necessário estratégias e índices que permitam qualificar o ambiente em estudo, esses índices, podem ser classificados em três grupos, índice biofísico, índices fisiológicos e índices subjetivos. (FROTA, 2014)

De acordo com Frota (2014), “a Carta Bioclimática de Olgyay - índice biofísico – foi desenvolvido a partir de estudos acerca de efeitos do clima sobre o homem, quer ele esteja abrigado quer não, de zonas de conforto e de relações entre elementos de clima e conforto”.

Entretanto, Lamberts, (1994), afirma que o método de Olgyay apresenta algumas limitações, embora deva se reconhecer sua importância como pioneiro em estudo de bioclimatologia.

Como aponta Lamberts (1994), em relatório interno de bioclimatologia, “a Carta Bioclimática para edifícios, (BBCC) ‘Building Bioclimatic Chart’, foi desenvolvida por GIVONI (1969), para corrigir as limitações do diagrama bioclimático idealizado por OLGAYAY...” e complementa que, “em seu trabalho mais recente GIVONI (1992) afirma que novas pesquisas trouxeram mais informações e base científica para a demarcação das condições climáticas sob as quais diferentes estratégias de projeto para o conforto de verão poder ser aplicadas”.

As opções para estratégias bioclimáticas para o ambiente construído para países subtropicais são ventilação durante o dia, inércia térmica com ou sem ventilação, resfriamento direto, resfriamento evaporativo indireto (através de tanques no forro). (LAMBERTS, 1994). Contudo estas estratégias desconsideram as variações bruscas de clima que se pode ter em um país.

A figura 1, apresenta as estratégias bioclimáticas para países em desenvolvimento de acordo com as condições de clima. As estratégias são: ventilação durante o dia, inércia térmica com ou sem ventilação, resfriamento por evaporação e resfriamento indireto. (LAMBERTS, 1994)

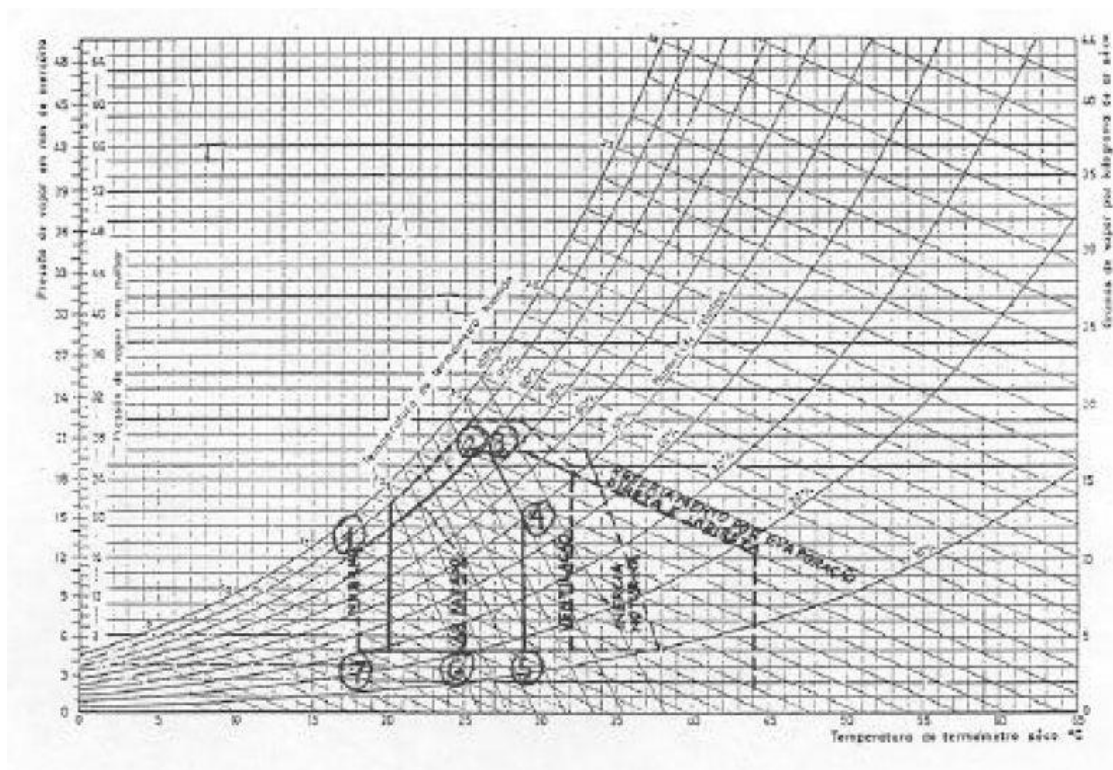


Figura 1: Diagrama desenvolvido por Givoni para países em desenvolvimento
Fonte: LABEE (1994).

A zona de conforto definida pela *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE), entidade global que atua na área de pesquisas tecnológicas de cunho sustentável, especifica limites para temperatura de ar e umidade para pessoas sedentárias, dentro dos quais o sistema mecânico de condicionamento do ar deve manter o clima interno. Foi idealizada para uso em edifícios de escritórios com ar condicionado, mas pode ser usada na avaliação de clima interno de edifícios residenciais. A zona de conforto da ASHRAE é bastante utilizada como base para a estruturação de cartas bioclimáticas. (LAMBERTS, 1994).

Na figura 2, estão as estratégias propostas para o Brasil, a saber: 1–zona de conforto; 2–zona de ventilação; 3–zona de resfriamento evaporativo; 4–zona de inércia térmica para resfriamento; 5–zona de ar condicionado; 6–zona de umidificação; 7–zona de aquecimento artificial; 8–zona de aquecimento solar; 9–zona de massa térmica; 10–

zona de ventilação/ inércia térmica para resfriamento; 11–zona de ventilação/ inércia térmica para resfriamento / resfriamento evaporativo.

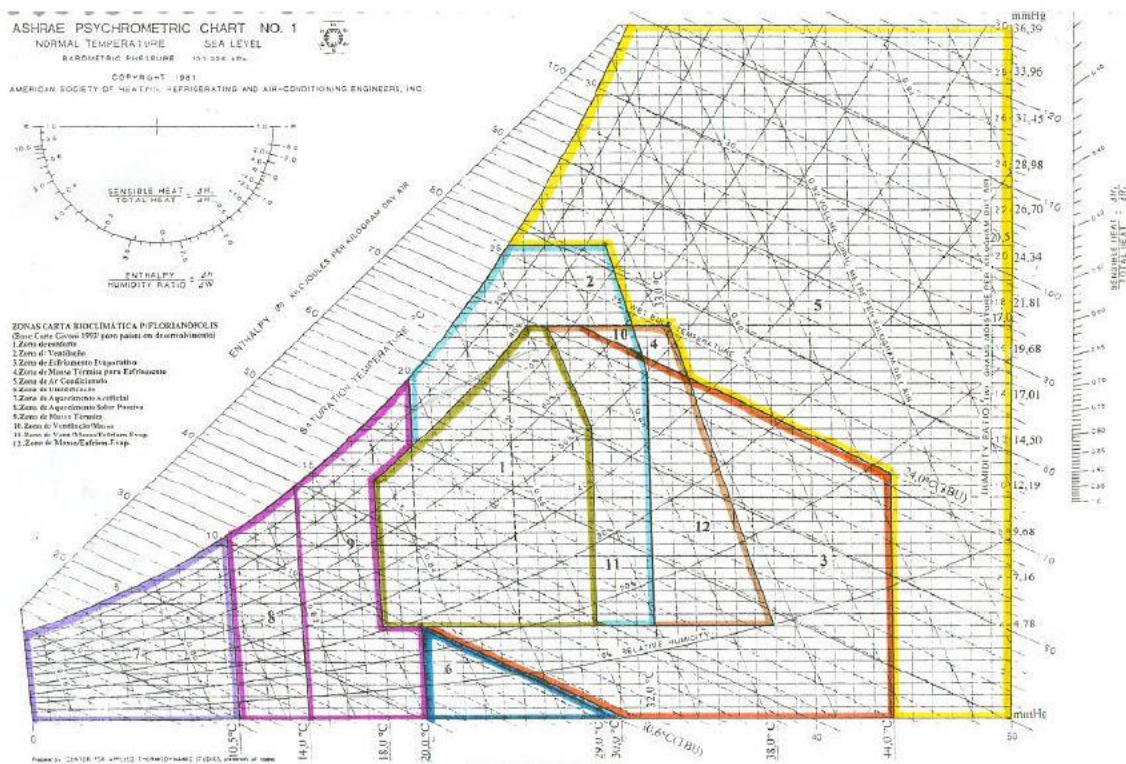


Figura 2: Carta Psicométrica proposta para o Brasil
Fonte: LABEE (1994).

De acordo com Lamberts (1994) a Carta Bioclimática Para Edifícios de Givoni é a que melhor se adequa às condições da realidade brasileira, pois: Givoni desenvolveu um trabalho voltado para países quentes e em desenvolvimento. Seu trabalho foi baseado na aclimação das pessoas a climas quentes e úmidos, este estudo foi confirmado por experimentos realizados na Tailândia. Como descreve Lamberts (1994):

A metodologia de Givoni adota limites maiores de velocidade do ar para temperaturas mais elevadas, coerentes com a realidade dos países de clima quente úmido. O espaço interno pode ser resfriado, quando necessário, com menor consumo de energia, já que a temperatura máxima de conforto estabelecida está mais próxima da temperatura externa do local.

2.2.2 Zona bioclimática

A parte 3 da NBR 15220-3 (2003) subdivide o Brasil em oito Zonas Bioclimáticas, cada uma delas, de acordo com Lamberts (2014), “define as características principais e dá diretrizes construtivas para cada uma destas oito zonas bioclimáticas em relação ao tamanho de, ao sombreamento necessário, ao tipo ideal de

paredes e coberturas e também às estratégias bioclimáticas mais recomendadas para o local”.

De acordo com a definição da própria NBR 15220-3 (2003) Zona Bioclimática é uma “região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano”.

Em outro estudo, Lamberts (2014) completa:

A Zona Bioclimática (ZB) tem por objetivo determinar estratégias que uma edificação deve seguir para obter o conforto térmico dos seus ocupantes. Desta forma, 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.

A figura 3, indica a divisão das Zonas Bioclimáticas do território brasileiro:

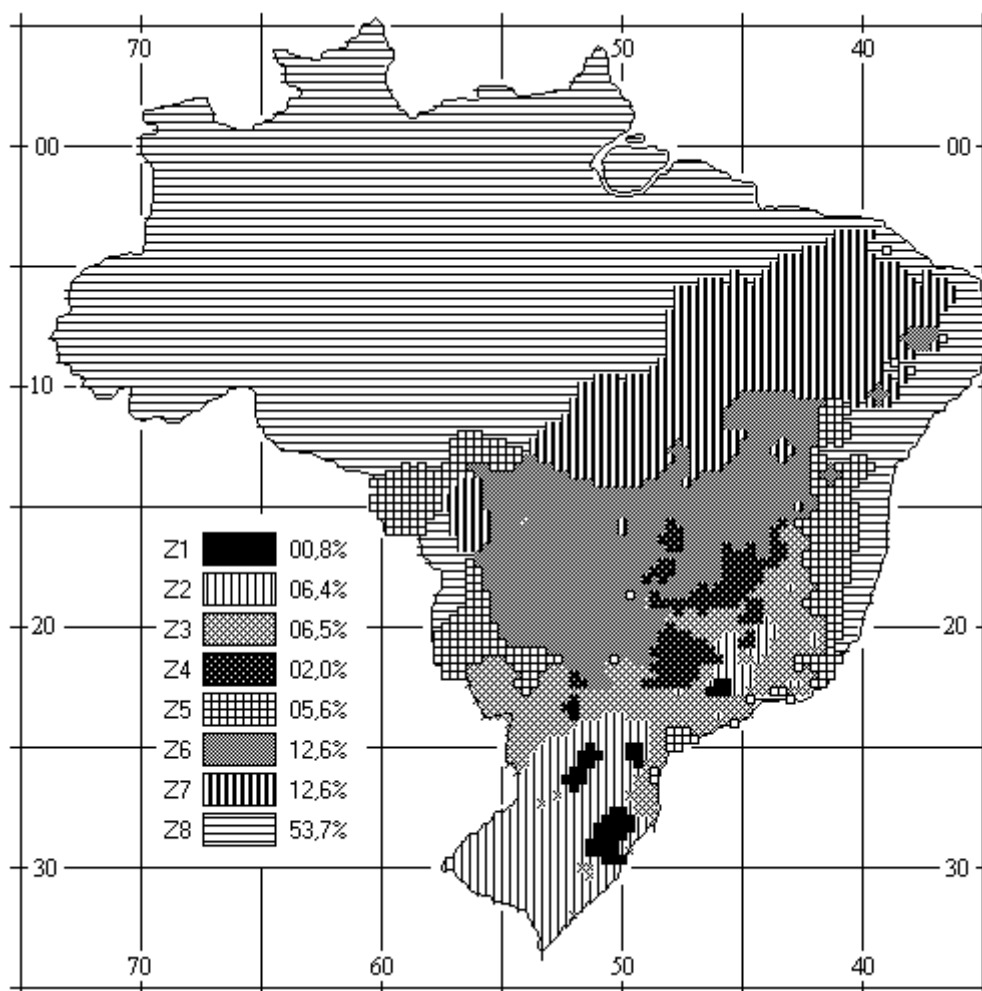


Figura 3: Zonas Bioclimáticas do Brasil
Fonte: LABEEE (2014).

Dentro desta classificação Curitiba situa-se na Zona Bioclimática 1 (ZB1), as recomendações construtivas para esta zona, como pontua Lamberts (2014), “é o uso de aberturas de ventilação de dimensões médias, o sombreamento destas aberturas de forma a permitir o sol do inverno e o uso de paredes e coberturas de inércia térmica leve, sendo as coberturas idealmente isoladas.”

Além das Zonas Bioclimáticas, pode-se analisar, considerando apenas a amplitude térmica, as variações de temperatura pontualmente, ou seja, cidade a cidade através das normais climatológicas. Para a cidade de Curitiba entre os anos de 1961 e 1990 as médias mensais e anuais, estão no quadro 1:

Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
Médias mensais	20,4	20,6	19,6	17,2	14,5	13,1	12,9	14,1	15,0	16,5	18,2	19,3	16,8
Máximas (°C)	26,6	26,7	25,7	23,1	21,1	19,6	19,4	20,9	21,3	22,6	24,5	25,4	23,1
Mínimas (°C)	16,4	16,3	15,4	12,8	10,2	8,4	8,1	9,2	10,8	12,5	14,0	15,4	12,5

Quadro 1: Normais Climatológicas, séries de 1961 a 1990 obtida pela Estação Climatológica de Curitiba.
Fonte: Adaptado de BRASIL (2015).

Como pode-se ver na tabela das Normais Climatológicas da ZB1, o clima apresenta temperaturas mais amenas, quando comparado ao quadro 2, onde apresenta as normais climatológicas da cidade de São Paulo, localizada em uma ZB3.

Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
Médias mensais	22,1	22,4	21,8	19,7	17,4	16,3	15,8	17,1	17,9	19,0	20,2	21,1	19,2
Máximas	27,3	28,0	27,2	25,1	23,0	21,8	21,8	23,3	23,9	24,8	25,9	26,3	24,9
Mínimas	18,7	18,8	18,2	16,3	13,8	12,4	11,7	12,8	13,9	15,3	16,6	17,7	15,5

Quadro 2 Normais Climatológicas, séries de 1961 a 1990 obtida pela Estação Climatológica de São Paulo.
Fonte: Adaptado de BRASIL (2015).

A NBR 15220-3 (2003) apresenta tabelas com diretrizes construtivas para cada ZB, quanto à: aberturas para ventilação e sombreamento, tipos de vedações externas e estratégias de condicionamento térmico passivo. Deste modo, através da análise da NBR 15220- (2003), para a ZB1 a utilização de paredes leves, ou seja, com valores baixos de transmitância térmica, atraso térmico e fator solar, para ganho de calor, é uma estratégia bioclimática melhor que para as construções da ZB3.

2.3 NORMATIVAS

A Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT) através das Normas Brasileiras (NBR's) estabelece critérios e valores para a execução e especificação na

construção civil. A NBR 15220 (2003) que dispõe sobre o desempenho térmico de edificações, está dividida em cinco partes: Parte 1: Definições, símbolos e unidades; Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações; Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social; Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida; Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluxométrico. (ABNT, 2003)

As normas técnicas, como destaca Lamberts (2014), “embora, por si só, não garantam edificações mais eficientes e confortáveis, são passos importantes em direção a um cenário mínimo de exigências que irá, certamente, provocar alterações na maneira como os projetos de arquitetura vêm sendo feitos e na consciência ambiental dos arquitetos e da própria sociedade”.

2.4 CERTIFICAÇÕES

Atualmente, em um contexto global, existe um esforço grande por parte das instituições governamentais e não governamentais em difundir e/ou promover as técnicas, os conhecimentos e os parâmetros para que uma edificação tenha certa eficiência energética. As certificações são um meio de garantir a eficiência energética da edificação, elas prescrevem diversos processos, que qualificam desde a edificação em si até o empreendimento como um todo.

2.4.1 LEED

O *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), mantido pelo *World Green Building Council*, foi desenvolvido para orientação e certificação de construções sustentáveis, o sistema avalia indicadores, como a escolha de uma implantação que cause baixo impacto ambiental, evitando ilhas de calor e que minimize o uso de veículos, inovação na gestão da água, indicadores de conforto térmico, obtidos através das estratégias bioclimáticas, simulações energéticas, utilização de equipamentos e sistemas eficientes, etc. Estes e os demais indicadores estão divididos nos seguintes tópicos: Espaço Sustentável; Eficiência do uso da água; Energia e Atmosfera; Materiais e Recursos; Qualidade ambiental interna; Inovação e Processos; Créditos de Prioridade Regional (LEED, 2015). A metodologia LEED trabalha com um

sistema de pontuação voluntário, ao mercado e baseia-se em princípios ambientais e energéticos, dirigido mercado norte-americano, procura equilibrar práticas estabelecidas com conceitos emergentes (PARDINI, 2009). O nível que o empreendimento em processo de certificação pode atingir é condicionado pela sua pontuação, que varia de 40 a 110 pontos. São eles, do nível mais básico de certificação ao mais alto: *certified, silver, gold e platinum*. (LEED, 2015)

Pardini (2009) aponta as dificuldades que o LEED enfrenta no Brasil por não atender a realidade do país.

Muitos requisitos e pré-requisitos contidos no LEED fogem, e muito, às práticas brasileiras de mercado e, para a busca de uma certificação, bem como a aplicação de práticas mais sustentáveis na execução de edifícios, faz-se necessária à adequação de toda a cadeia e agentes da construção civil.

2.4.2 Selo Casa Azul

É um sistema de classificação da sustentabilidade de projetos criada pela Caixa Econômica Federal, de acordo com Moacyr et al. (2010), o selo:

...busca reconhecer os empreendimentos que adotam soluções mais eficientes aplicadas à construção, ao uso, à ocupação e à manutenção das edificações, objetivando incentivar o uso racional de recursos naturais e a melhoria da qualidade da habitação e de seu entorno...

O sistema de classificação é aplicável aos projetos submetidos ao financiamento ou programas de repasse da CAIXA. O método para a concessão do Selo Casa Azul consiste em verificar, durante a análise de viabilidade técnica do empreendimento, o atendimento aos critérios estabelecidos pelo instrumento, que estimula a adoção de práticas voltadas à sustentabilidade dos empreendimentos habitacionais (MOACYR et al., 2010).

São 53 critérios de avaliação entre obrigatórios e de livre escolha que determinam os níveis de graduação do Selo Casa Azul, a quantia de critérios atendidos define a graduação da edificação, classificada pelos níveis: ouro, prata e bronze. Dentre estes critérios, o “2.7 - Desempenho térmico – orientação” e o “2.8 - Desempenho térmico - vedações ao sol e ventos”, são obrigatórios. No primeiro item exige-se que seja apresentado projeto de arquitetura com indicação e/ou descrição dos itens atendidos, tabelas fornecidas pelo Selo Casa Azul assinaladas e preenchidas, demonstração gráfica de projeção dos sombreamentos das aberturas e detalhamentos, caso seja necessário deve-se apresentar simulações de desempenho (MOACYR et al., 2010). No segundo item deve-se apresentar, como Moacyr et al. (2010). pontuam:

Projeto de implantação e arquitetura com indicação/ descrição dos itens atendidos. As estratégias adotadas no projeto devem ser justificadas em face de implantação, geometria solar, localização de aberturas e demais componentes, mostrando a insolação do local, a direção e frequências dos ventos predominantes, elementos físicos do entorno e demais parâmetros climáticos que se encontrem disponíveis, como temperatura, umidade, nebulosidade etc., bem como, através do projeto, uso de cartas solares, máscaras, ou mediante simulação computacional, se necessário.

2.4.3 Processo AQUA

A Alta Qualidade Ambiental (AQUA) é definida como sendo um processo de gestão de projeto visando obter a qualidade ambiental de um empreendimento novo ou envolvendo uma reabilitação. Adaptado do modelo Francês *Dérmarche* HQE pela Fundação Carlos Alberto Vanzolini (FCAV) o processo AQUA foi desenvolvido para atender a realidade do Brasil. A edificação deve atender 14 categoriais, dividido em quatro famílias: Sítio e Construção, Gestão, Conforto e Saúde. (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2013)

De acordo com a Fundação Vanzolini (2013) este processo estrutura-se em torno dos seguintes aspectos:

Implementação, pelos empreendedores, de um sistema de gestão ambiental; Adaptação do edifício habitacional à sua envolvente e ambiente imediato, o que se traduz pela obrigação de responder aos principais contextos e prioridades ambientais de proximidade, identificados na análise do local do empreendimento; Informação transmitida pelo empreendedor aos compradores e usuários das habitações, estimulando a adoção de práticas mais eficientes em termos de respeito ao meio ambiente.

O referencial está estruturado em cinco partes, das quais é fundamental citar a Parte II que trata do Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE) e da Parte III, que dispõe sobre a avaliação da Qualidade Ambiental do Edifício (QAE) onde estão as exigências que o edifício deve atender para obter-se o certificado. (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2013)

O SGE é o conjunto de elementos que definem as categorias de QAE e organizam o empreendimento para alcançar a certificação. Para concluir todo o processo do referencial, são definidos quatro passos: Comprometimento do empreendedor; Implementação e funcionamento; Gestão do empreendimento e Aprendizagem. (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2013).

A QAE está definida, pela Fundação Vanzolini (2013), como “a capacidade do conjunto de suas características intrínsecas, às do edifício, de seus equipamentos e de seu terreno, a satisfazer as exigências relacionadas ao controle dos impactos sobre o

ambiente externa e à criação de um ambiente interno confortável e saudável”. As 14 categorias são desmembradas nas principais preocupações associadas a cada desafio ambiental, e em seguida em exigências expressas por critérios e indicadores de desempenho. A partir desses indicadores é possível categorizar o edifício em três níveis diferentes: Bom; Superior; Excelente. A categoria 8, por exemplo, traça os parâmetros máximos e mínimos para a edificação, tais como, transmitância térmica, capacidade térmica, fator solar e temperaturas interna, além de exigir estudos que demonstrem como a concepção arquitetônica adotada pode favorecer, por exemplo, a ventilação natural, a fim de garantir o conforto higrotérmico, ou seja, o conforto relacionado à humidade e à temperatura (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2013)

2.4.4 PROCEL Edifica

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) foi iniciado na década de 70 e direcionado ao setor automotivo. Atualmente o PBE possui trinta e oito programas de avaliação da conformidade em diferentes fases de implementação. Ligado ao PBE está o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET) e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) (PEB/EDIFICA, 2015).

Como documento que normatiza os requisitos para a classificação da eficiência energética das edificações residenciais, comerciais, de serviço e públicas foi criado o Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ), este documento foi desenvolvido em parceria com Inmetro e a Eletrobras/PROCEL Edifica.

Como forma de identificar o nível de eficiência avaliado pelo PBE foi criada a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) concedida tanto para produtos como para edificações. Para fins residenciais temos: ENCE das Unidades Habitacionais Autônomas, ENCE da Edificação Multifamiliar e ENCE das Áreas de Uso Comum, sendo elas independentes entre si (RTQ-R, 2012). A figura 4 ilustra um selo ENCE para edificações, nela estão indicadas informações gerais da edificação, bem como a classificação do nível de eficiência desta, na parte inferior da etiqueta é discriminado o nível por envoltória, iluminação e condicionamento do ar.

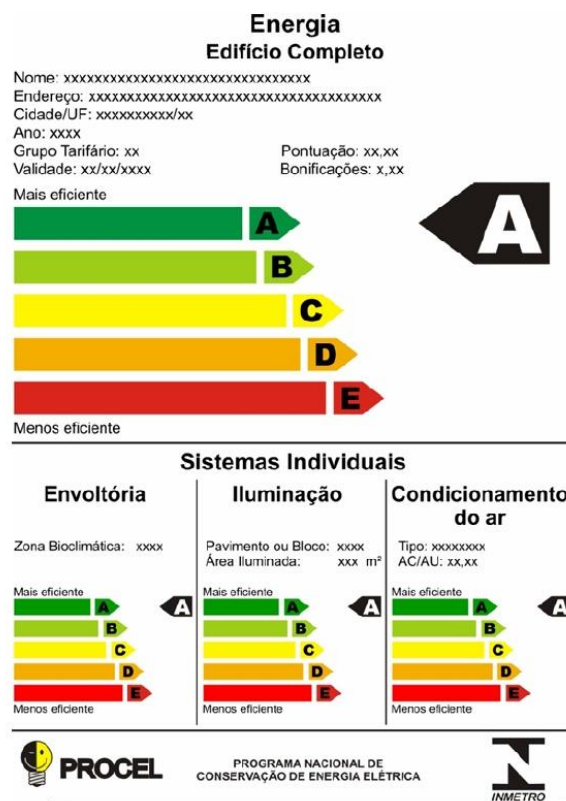


Figura 4: Exemplo da ENCE.
 Fonte: PEB/EDIFICA (2015).

2.4.4.1 RTQ-R

O Regulamento Técnico de Qualidade para edificações residenciais foi publicado no Diário Oficial da União em 2012, como Portaria número 18, de 16 de janeiro de 2012. É um documento que “especifica requisitos técnicos, bem como os métodos para classificação de edificações residenciais quanto à eficiência energética.” (RTQ-R, 2012).

O RTQ-R classifica o nível de eficiência energética de: unidades habitacionais autônomas, edificações unifamiliares, edificações multifamiliares e áreas de uso comum de edificações, multifamiliares ou de condomínios de edificações residenciais. Os critérios definidos para calcular o nível de eficiência da unidade habitacional autônoma (UH) são utilizados para fazer a classificação das edificações unifamiliares e edificações multifamiliares. A classificação da edificação unifamiliar é equivalente ao resultado da classificação da UH e a classificação do nível de eficiência de edificações multifamiliares é o resultado da média ponderada das UH por suas áreas, excluindo terraços e varandas (RTQ-R, 2012).

Para submeter a UH à avaliação de seu nível de eficiência, exige-se que a envoltória, ou seja, conjunto de planos que separam o ambiente interno do ambiente externo, atenda pré-requisitos quanto à transmitância térmica, capacidade térmica, absorvância solar das superfícies, ventilação natural e iluminação natural. Depois de verificado os pré-requisitos, a eficiência da UH poderá ser obtida por dois métodos: Método Prescritivo ou Método de Simulação. O primeiro, de acordo com o RTQ-R (2012), “é determinado pelo seu equivalente numérico (EqNumEnv), estabelecido através de equações de regressão múltipla para unidades habitacionais, de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação está localizada”. O segundo método “compara o desempenho da edificação sob avaliação com os valores de referência das tabelas de classificação dos níveis de eficiência energética da envoltória...”.

O Método prescritivo baseia-se em calcular o indicador de graus-hora (GH_R) e o consumo relativo anual para aquecimento (C_A) para cada ambiente. Para ambos indicadores é dada uma lista de variáveis que serão usados para o cálculo do EqNumEnv (Ver Anexo A). (RTQ-R, 2012).

De acordo com o RTQ-R (2012) o GH_R pode ser definido como:

Indicador de desempenho térmico da envoltória da edificação naturalmente ventilada, baseado no método dos graus-hora, que utiliza uma temperatura base, independente de temperaturas de conforto, consistindo em uma temperatura de referência para comparações. Neste RTQ, o indicador representa o somatório anual de graus-hora, calculado para a temperatura de base de 26°C para resfriamento. O cálculo é realizado através da temperatura operativa do ambiente.

Já o C_A , o RTQ-R (2012), define como “consumo anual de energia (em kWh) por metro quadrado necessário para aquecimento do ambiente durante o período de 21 h às 8 h, todos os dias do ano, com manutenção da temperatura em 22°C”.

2.5 SISTEMA BIM

Como coloca Santos (2009) em entrevista concedida a Gisele C. Cichinelli

...o BIM é um conceito que fundamentalmente envolve a modelagem das informações do edifício, criando um modelo digital integrado de todas as disciplinas, e que abrange todo o ciclo de vida da edificação. A modelagem 3D paramétrica e a interoperabilidade são características essenciais que dão suporte a esse conceito.

Atualmente existe uma preocupação do meio acadêmico em difundir o conhecimento BIM através de pesquisa como ressalta a reportagem feita por Silva (2015):

Um dos principais pontos desta agenda diz respeito à formação de mão de obra técnica e acadêmica, na qual devem ser analisados e propostos novos currículos, pois com a inserção da modelagem na construção, o trabalho de times interdisciplinares sobre um mesmo modelo exigirá profissionais diferenciados dos que temos no mercado. Universidades como Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Universidade Federal do Paraná (UFPR), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRS) e a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo do Mackenzie (FAU Mack) têm trabalhado para a inserção do tema em seus currículos, porém entraves organizacionais e/ou institucionais não têm permitido ainda maior velocidade.

Igualmente como vemos na notícia veiculada pela Poli-USP (2014):

...mesmo que nosso senso comum esteja acostumado a perceber elementos como o cimento, a areia e os blocos como os insumos principais de uma obra, a informação é o verdadeiro item imprescindível de um projeto, pois é o que determina diversos aspectos do planejamento à execução final da construção, além da necessária manutenção posterior.

De fato, na mesma notícia toma-se conhecimento da opinião do professor Eduardo Toledo Santos, do Departamento de Engenharia de Construção Civil da USP que complementa, Poli-USP (2014):

Tradicionalmente atrasada na aplicação da Tecnologia da Informação (TI) em relação a outros setores, a construção civil tem atualmente a oportunidade de, com o BIM, dar um salto para a modernidade, com isso, ela poderá se alinhar ao que há de mais adiantado em termos de TI para projeto, planejamento e controle em outros setores econômicos.

Mas para iniciar de forma sistemática a difusão do conhecimento BIM, existem níveis de aprendizado, ou seja, estágios de assimilação pelos quais os profissionais devem passar para o aprendizado dessa sistemática projetiva, por meio de Succar apud Ruschel (2013), sabe-se que:

...no primeiro estágio de adoção, a ênfase está na modelagem paramétrica. Esse estágio é caracterizado pela modelagem baseada em objetos e está relacionado ao uso de uma ferramenta BIM específica, como, por exemplo, as de autoria, que gera ou analisa modelos de informação (TOBIN, 2008). Geralmente envolve uma única disciplina de projeto no desenvolvimento do modelo 3D e fica-se restrito a uma fase específica do processo (projeto, construção ou operação). Apesar de o processo ser interativo, sequencial, a comunicação ainda acontece de forma assíncrona. Os produtos resultantes desse estágio de adoção de BIM são modelos 3D da geometria e documentação (desenhos, imagens, quantitativos de materiais e vários tipos de relatórios), extraídos a partir do modelo. Nesse estágio de adoção observam-se pequenas mudanças em políticas, médias mudanças em processos e grandes mudanças em tecnologia. Em virtude de a ênfase, nesse primeiro estágio, estar essencialmente relacionada à aplicação de ferramentas de autoria BIM em projeto, pode decorrer a falsa impressão de que BIM se trata apenas de tecnologias, dada a necessidade de se apropriar dessa nova tecnologia e investir em recursos de renovação de infraestrutura e software.

A segunda etapa, de acordo com Ruschel (2013), traria mais benefício do ponto de vista gerencial, onde diversas disciplinas trabalhariam juntas. Nesse estágio a arquitetura, estrutura e engenharia de custos estariam trabalhando de forma integrada a partir da coordenação dos projetos, mitigando assim as interferências de projeto. Esse estágio incorpora conceito de modelos 4D e 5D, relacionados ao tempo e custo respectivamente. Já na terceira etapa trabalha-se com a integração dos diversos envolvidos na produção da edificação em um modelo hospedado em um ambiente de rede, possibilitando assim, uma forma de trabalho onde o processo é simultâneo e recursivo, envolvendo análises complexas já nos estágios iniciais de concepção do projeto.

Além da quebra dos paradigmas no processo de projeto o Sistema BIM permite elaborar análises de eficiência energética de acordo com ANSI/ASHRAE Standard 140-2004 (*Standart Method of Test for the Evaluation of Builfing Energy Analysis Computer Programs*) entidade que delimita padrões para a validação de programas que desenvolve análises computacionais. O RTQ-R e consequentemente o certificado AQUA, exigem que os programas sejam verificados de acordo com o teste propostos pela ASHRAE (RTQ-R, 2012). O software Green Building Studio, desenvolvido pela empresa Autodesk e verificado pela ANSI/ASHRAE Standard 140-2004 é um software de análise energética baseado na nuvem que utiliza modelos importados do software Revit, através do formato de arquivo *Industry Foundation Classes* (IFC), sendo assim, capaz de gerar relatórios de consumo de carbono, de consumo de energia além de poder estimar pontuações do LEED (AUTODESK, 2015). Os arquivos com formato IFC's, como a Autodesk (2015) exemplifica, podem ser definidos da seguinte maneira:

...modelos de informações de construção desenvolvidos com Revit são salvos no formato de arquivo RVT. É possível exportar o modelo de construção usando o formato IFC para um aplicativo certificado IFC que não usa o formato de arquivo RVT. O desenho pode ser aberto e trabalhado no aplicativo não nativo. Da mesma forma, no Revit você pode importar um arquivo IFC, criar um arquivo RVT e trabalhar no modelo de construção em Revit.

Santos (2009) ressalta que:

...o BIM, por suas muitas vantagens potenciais, tem atraído cada vez mais a atenção dos profissionais de AEC [arquitetura, engenharia e construção] no mundo todo e também no Brasil. À parte de alguns esforços organizados de associações profissionais, o que se vê são iniciativas individuais de escritórios de projetos, grandes incorporadoras e construtoras no sentido de experimentar essa tecnologia no Brasil, procurando utilizá-la em projetos-piloto. Há registro de vários casos de sucesso, mas o BIM ainda não faz parte da rotina do processo de trabalho das empresas nacionais e da

maioria no exterior. No entanto, já está claro que a tendência de adoção dessa tecnologia é irreversível.

2.6 REVIT

Os programas que operam na plataforma BIM em geral trabalham com elementos próprios da edificação, como parede, laje, janela, treliça, viga, etc., esses elementos, são nomeados como famílias, ou seja, existe uma família para cada um desses elementos. A cada tipo de família existem diversos parâmetros que podem ser atribuídos a ela, como dimensões, material, custo, propriedades térmicas e físicas.

A possibilidade de inserir vários parâmetros e a interoperabilidade entre eles é uma das principais características que diferencia o BIM de qualquer outro software de modelagem 3D, pois, através desses parâmetros, é possível extrair informações, como áreas totais e parciais, posicionamento e orientação de elementos e ainda gerar tabelas que filtram e quantificam esses parâmetros.

2.6.1 Famílias, tipos e instâncias

Antes de explicar o que são os parâmetros e como utilizá-los, é necessário comentar alguns aspectos das Famílias. O primeiro conceito fundamental para trabalhar com parâmetros refere-se aos tipos e instâncias das Famílias. A Família é formada por, no mínimo, um Tipo e a cada Tipo pode-se atribuir parâmetros que podem ter propriedade de tipo ou de instância, a diferença entre as duas é a forma como elas se comportam dentro de um Projeto. Um parâmetro com propriedade de tipo significa que quando alterado os valores atribuídos a ele dentro do Projeto, todos os outros elementos da mesma Família e do mesmo Tipo serão alterados. Já o parâmetro com propriedade de instância, quando alterado o valor deste dentro do Projeto, apenas o elemento sofrerá alteração. (AUTODESK, 2015)

Na figura 5, a seguir, ilustra as particularidades da Família no Revit, neste exemplo a largura da janela é definida por um parâmetro com propriedade de tipo e a altura do peitoril é definida por um parâmetro com propriedade de instância.

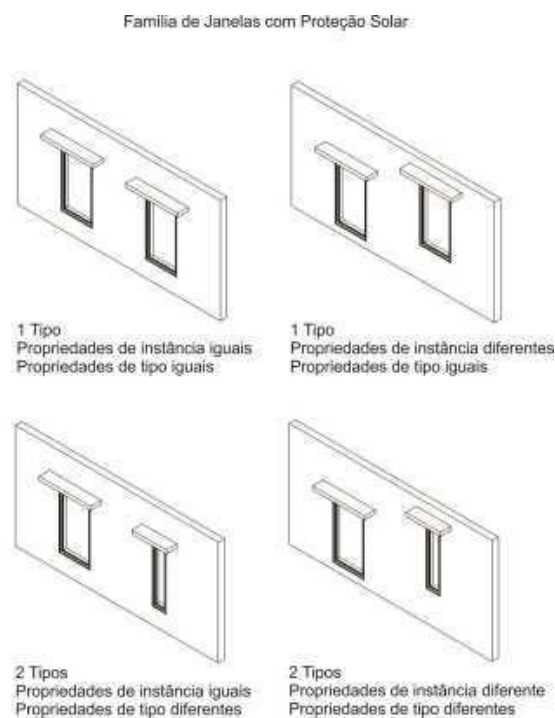


Figura 5: Relação de Tipos e Instâncias de uma mesma família de janelas.
Fonte: Autoria própria (2015).

Os valores atribuídos aos parâmetros podem também ser obtidos através de fórmulas matemáticas. Os diagramas apresentados na figura 6 e 7, exemplificam as relações entre as famílias e os parâmetros, bem como as propriedades de tipo e de instância dos parâmetros.

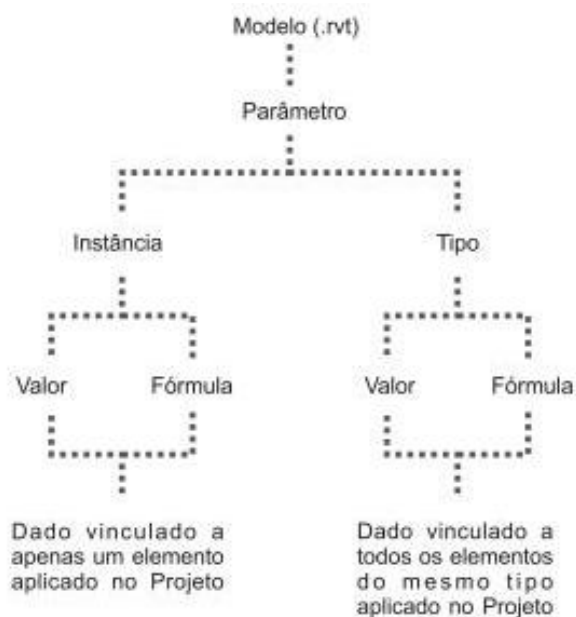


Figura 6: Diagrama de aplicação de parâmetros em projeto.
Fonte: Autoria própria (2015).

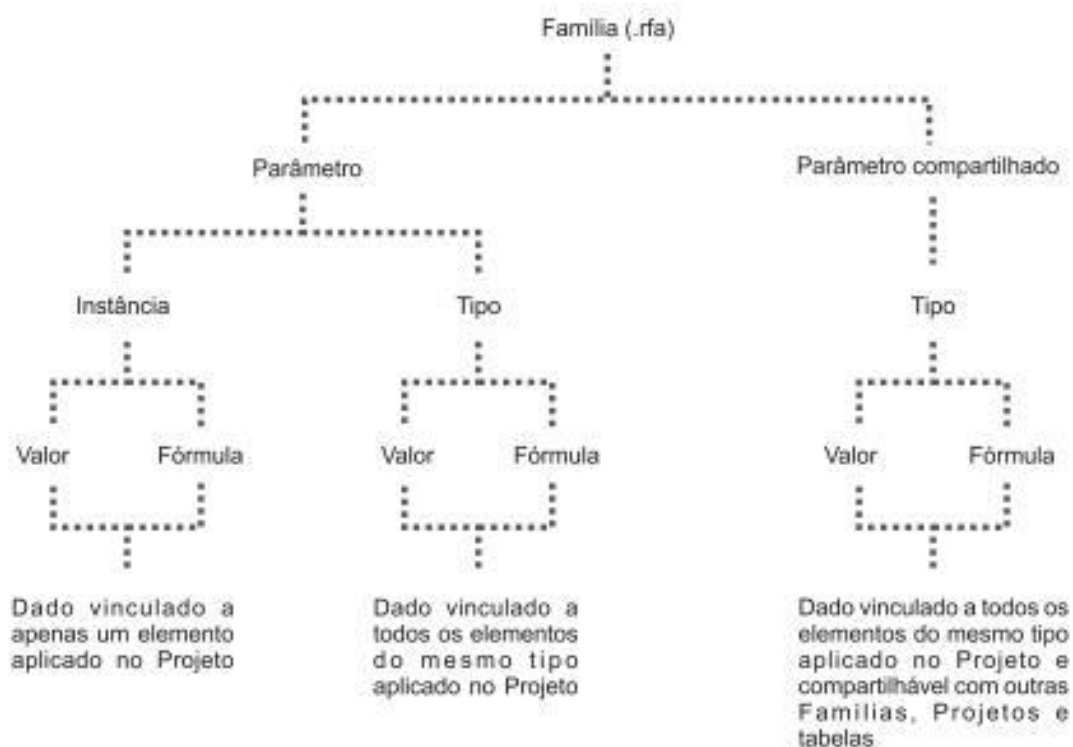


Figura 7: Diagrama de aplicação de parâmetros em família.
Fonte: Autoria própria (2015).

Na figura 7, além do Parâmetro temos também o parâmetro compartilhado, esse outro tipo, como esclarece a Autodesk (2015), “são definições de parâmetros que podem ser adicionados às famílias ou projetos. As definições dos Parâmetros compartilhadas são armazenadas em um arquivo independente de qualquer arquivo de família ou projeto Revit; isso permite que você acesse o arquivo a partir de diferentes famílias ou projetos.” O parâmetro compartilhado pode ser usado em várias famílias ou projetos, contudo, as suas definições não são aplicadas automaticamente para outra família ou projeto que usa o mesmo parâmetro compartilhado.

Dentro das tabelas que o Revit produz, é possível criar fórmulas relacionando os parâmetros, seja eles de tipo ou instância. Além das operações matemáticas básicas como adição, subtração, multiplicação e divisão, pode-se inserir fórmulas condicionais, como explica a Autodesk (2015), “o software insere valores para um parâmetro com base em se uma condição especificada foi satisfeita. Declarações condicionais são úteis em determinadas circunstâncias; no entanto, elas tornam as famílias mais complexas e devem ser usadas somente quando necessário”.

A sintaxe da declaração condicional é definida, de acordo com a Autodesk (2015), como:

Uma declaração condicional usa esta estrutura: SE(IF) (<condição>, <resultado-se-verdadeiro>, <resultado-se-falso>) Isto significa que os valores inseridos para o parâmetro dependem se a condição é satisfeita (verdadeiro) ou não satisfeita (falso). Se a condição é verdadeira, o software retorna o valor verdadeiro. Se a condição é falsa, ele retorna o valor falso. As declarações condicionais podem conter valores numéricos, nomes de parâmetros numéricos e parâmetros Sim/Não. É possível usar as seguintes comparações em uma condição: <, >, =. Também pode-se usar operadores Booleanos com uma declaração condicional: E, OU, NÃO (AND, OR, NOT). Atualmente, <= e >= não estão implementados. Para expressar tal comparação, pode-se usar um lógico NÃO (NOT). Por exemplo, a<=b pode ser inserido como NOT(a> b).

Além da criação de parâmetros o programa Revit permite a possibilidade de customização do produto. Através de uma interface direcionada à pessoas com conhecimentos básicos em programação, é possível criar *plug-ins* de diversas funcionalidades através do *Application Programming Interface* (API). (AUTODESK, 2015)

Deste modo é possível “automatizar tarefas repetitivas e demoradas e estender os recursos do núcleo sem sair do ambiente de Autodesk Revit. A API pode ser usada para criar ferramentas personalizadas e recursos que se conectam diretamente ao Autodesk Revit, estendendo sua funcionalidade” (GONÇALVES, 2011)

3 METODOLOGIA

O presente trabalho foi estruturado em três diferentes frentes de estudos, inicialmente, buscou fundamentar-se em revisão bibliográfica, com o objetivo de ter um amplo panorama do conceito e das relações existentes entre tecnologia arquitetura, conforto ambiental e eficiência energética na edificação. Para tanto, a revisão bibliográfica, em um primeiro momento, focou o estudo nos movimentos mundiais em prol de um desenvolvimento menos agressivo ao meio ambiente e mais responsável socialmente. Assim, buscou-se entender como arquitetura bioclimática e a eficiência energética podem contribuir para a produção de edificações residenciais mais eficientes, do ponto de vista energético e ainda, explorou-se a relação do clima, homem e região geográfica, e como apropriar-se dela para projetar uma morada que atenda a necessidade do homem quanto ao conforto higrotérmico, considerando o local do empreendimento.

Para dar subsidio técnico à problemática, fez-se um levantamento dos principais órgãos certificadores e das normativas em vigor no Brasil. Foram apontadas suas principais características quanto aos seus respectivos modos de operar. Foi estudada também, a metodologia BIM, com ênfase no programa Revit, tendo em vista, que modelos tridimensionais gerados nesta plataforma permitem a extração de diversos tipos de dados, além de permitir a criação de parâmetros específicos de arquitetura bioclimática que servem de base de dados para o projeto, ou seja, permite armazenar grande quantidade de informação no próprio modelo tridimensional.

Assim, para dar sequencia na segunda parte do trabalho foi desenvolvido um projeto arquitetônico de uma unidade residencial unifamiliar dentro de um software BIM. Com o objetivo de extrair todos os dados necessários para os cálculos de eficiência energética previsto no método prescritivo do RTQ-R. O processo de modelagem da informação consistiu em utilizar e criar parâmetros dentro do próprio arquivo RVT e, depois de criados estes parâmetros, foram editadas e formatadas tabelas específicas dentro do próprio arquivo, para filtrar e classificar os dados extraídos do modelo tridimensional, gerando assim, um arquivo padrão, ou seja, um *template* que pode ser utilizado por qualquer usuário do software Revit. As tabelas citadas filtram informações pertinentes ao método prescritivo do RTQ-R, elas são divididas em três grupos: envoltória, aberturas e relação da forma com o meio externo. O conjunto destas tabelas fornecem as variáveis exigidas pelo regulamento.

Para concluir o processo de pesquisa e como meio de validação do *template* desenvolvido pelo autor, a estratégia adotada baseou-se em comparar o resultado obtido através dos dados retirados diretamente do modelo 3D com dados obtidos de forma convencional, por meio de um estudo de caso.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 MÉTODO DE OBTENÇÃO DOS DADOS

4.1.1 Criação do *template*

A fim de extrair as informações necessárias do modelo 3D proposto e para submetê-lo ao método prescritivo do RTQ-R, no *template* foram aplicados parâmetros de tipo e de instância nas famílias de paredes, pisos, coberturas, forros e aberturas. Além dos parâmetros, foi necessário também, modelar a UH de acordo com as especificidades dos dados exigidos. Na família de aberturas foi criado parâmetros de tipo e parâmetros compartilhados, para que as informações geradas por ela fossem inseridas nas tabelas do *template*.

4.1.2 Modelo 3D

Pensado na execução da UH na cidade de Curitiba, o modelo foi projetado de forma a possibilitar a aplicação de todas as variáveis que o RTQ-R utiliza para o cálculo do método prescritivo. O partido arquitetônico consiste em um formato simples, composto basicamente por dois prismas de base quadrada, um com o dobro da altura do outro, o programa de necessidades, consiste em uma sala integrada com a cozinha, dois quartos, um banheiro e um pátio de serviço externo. O local de implantação simula um declive de aproximadamente 12% e apenas parte da UH está apoiada sobre o solo. Para as paredes externas foi definida uma alvenaria mais e espessa que para as paredes internas. Deste modo, o modelo 3D atendeu amplamente e de forma diversificada as variáveis que o RTQ-R exige para o cálculo da eficiência da envoltória.

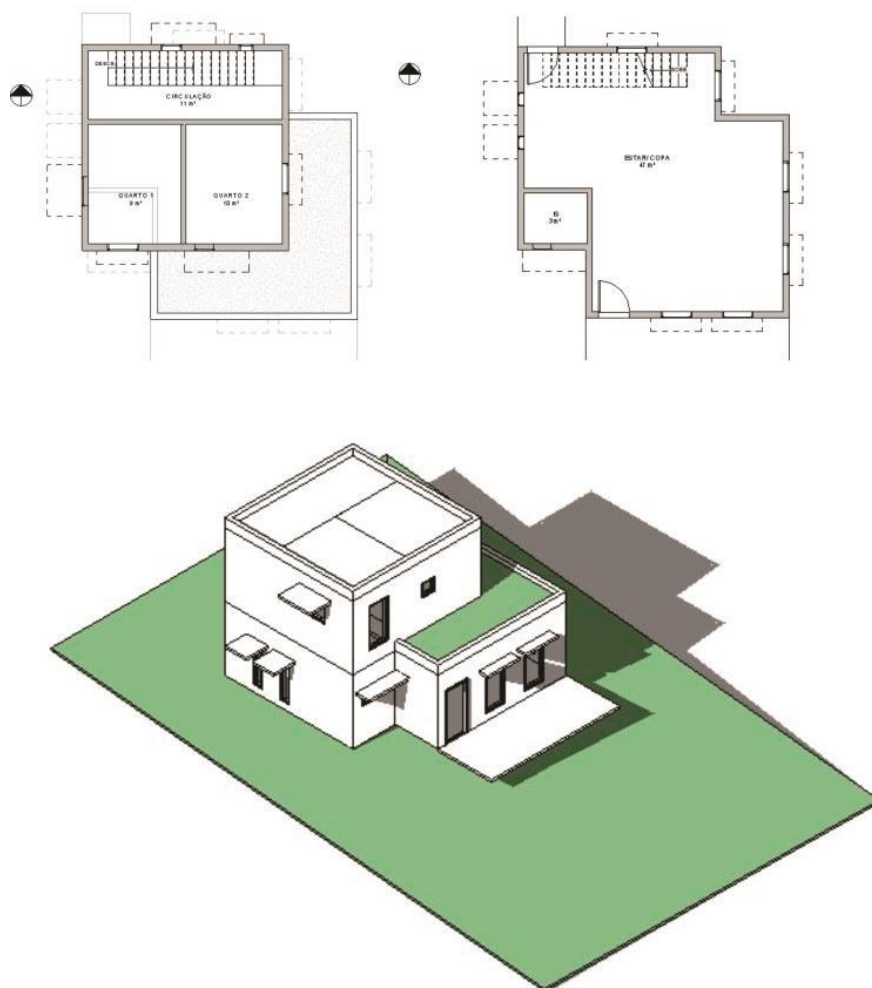


Figura 8: Modelo 3D desenvolvido para o estudo.
Fonte: Autoria própria (2015).

4.1.3 Criação dos parâmetros

De acordo com o RTQ-R (2012), para o método prescritivo:

...o desempenho térmico da envoltória da UH é determinado pelo seu equivalente numérico (EqNumEnv), estabelecido através das equações de regressão múltipla para unidades habitacionais autônomas, de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação está localizada.

Depois de verificadas as exigências quanto à transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar das superfícies, ventilação natural e Iluminação natural, o procedimento para a obtenção do EqNumEnv, de acordo com o RTQ-R (2012), deve atender os seguintes passos:

- Cálculo do indicador de graus-hora para resfriamento;
- Cálculo do consumo relativo para aquecimento;
- Determinação dos equivalentes numéricos da envoltória dos ambientes para resfriamento e aquecimento;

- Determinação do equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma para resfriamento;
- Determinação do equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma para aquecimento;
- Determinação do equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma.

O quadro de variáveis para obtenção do GH_R e C_A , a seguir classifica a forma como foram extraídos os dados do arquivo *rvt* através das tabelas pré-definidas:

AbL;	cob
AbN;;	CTalta [kJ/(m K)];
AbO;;	CTbaixa [kJ/(m K)];
AbS ;	CTcob [kJ/(m K)];
AAbL (m);	CTpar [kJ/(m K)];
AAbN (m);	Fvent.
AAbO (m);	isol;
AAbS (m);	PambL (m);
APambL (m);	PambN (m);
APambN (m);	PambO (m);
APambO (m);	PambS (m);
APambS (m);	PD (m): pé-direito do ambiente analisado;
AparInt (m2);	pil
AUamb (m);	solo
α_{cob} ;	SomAparext;
α_{par} ;	somb;
Caltura;	

Sendo:
Lat ;
α ;
γ
Ucob [W/(m K)];
Upar [W/(m K)];
Uvid [W/(m K)];
vid;
volume (m3)

Onde:
Cor verde: refere-se à dado extraído por análise do modelo
Cor amarela: refere-se a dado extraído por parâmetros de tipo e de instância e parâmetro compartilhado atribuído ao modelo
Cor vermelha: refere-se às médias ponderadas

Quadro 3: Variáveis para obtenção do GH e Ca
Fonte: Adaptado de RTQ-R (2012).

O quadro 3 é um resumo do Anexo A e busca, por meio da diferenciação de cores, demonstrar como foi feita a extração de dados do *template*. Durante o processo de modelagem foram encontradas duas limitações do programa Revit para o trabalho em questão. A primeira é quanto à inexistência de meios em relacionar a face externa de uma parede com as coordenadas geográficas do modelo 3D, para, assim, filtra-las por meio das tabelas. A segunda refere-se à possibilidade de relacionar, dentro das tabelas filtradas, as paredes com a mesma orientação solar, com o intuito de obter a média ponderada das capacidades térmicas pelas áreas. Para solucionar a primeira questão, foi criado um parâmetro no projeto para identificar qual a orientação da parede. A segunda questão foi resolvida por meio da confecção de uma tabela no software Excel, onde é feita a entrada de dados das paredes e obtêm-se os valores de CT alta, CT baixa e CT das paredes. (Ver apêndice A)

De maneira a organizar a criação de dados, foram analisados os fechamentos horizontais, verticais e aberturas, cada um como um grupo separado, onde é possível alocar as variáveis do cálculo de G_{HR} e C_A do RTQ-R (2012). Para cada grupo, é necessário seguir um procedimento de modelagem e método de inserção das informações. Para obter todos os dados possíveis, foram desenvolvidas tabelas que indicam os valores das variáveis por meio de parâmetros e fórmulas.

Os parâmetros de tipo foram usados para extrair dados relativos aos materiais do elemento e de suas características intrínsecas, a seguir estão listados os parâmetros criados e utilizados para a composição das tabelas:

- Transmitância térmica;
- Capacidade térmica;
- Absortância;
- Dimensões;
- Fator de ventilação;
- Fator solar.

Para esses Parâmetros, foram utilizados os valores do Manual A do RTQ-R (2012).

Os parâmetros de instância foram utilizados para extrair dados relativos à condição do elemento, como o ambiente em que está situado, a orientação geográfica em relação à face externa da parede ou janela, permanência prolongada, existência de vidro duplo na janela, piso voltado para pilotis e/ou contato com o solo. Assim, foram

desenvolvidos parâmetros específicos dentro do software para atender o cálculo do G_{H_R} e C_A , listados a seguir:

- Ambiente;
- Orientação;
- Permanência prolongada;
- Vidro duplo;
- Brise Solei;
- Ângulos α e γ ;
- Piso voltado para pilotis;
- Piso em contato com solo.

Foram, também, usados parâmetros com fórmulas dentro das próprias tabelas para filtrar e apresentar corretamente os dados extraídos do projeto:

- Pé-direito;
- Ângulos de sombreamento;
- Pil (variável binária que define o contato externo do piso do ambiente com o exterior através de pilotis);
- Solo [variável binária que define o contato do piso do ambiente com o solo (laje de terrapleno)];
- Cob [variável que define se o ambiente possui fechamento superior voltada para o exterior (cobertura)];
- Isol (variável binária que representa a existência de isolamento nas paredes externas e coberturas);
- Somb brise soleil e Somb venezianas (variável que define a presença de dispositivos de proteção solar externos às aberturas ou a presença de proteção por veneziana, respectivamente);
- Somb Abertura (parâmetro auxiliar para a determinação de Somb);
- Valores de referência Somb (parâmetro auxiliar para a determinação de Somb);
- Fvent (relação entre área de ventilação com área do vão da janela)
- Vid (variável binária que indica a existência de vidro duplo no ambiente);
- Transmitância térmica total;
- Capacidade térmica total;

- Área das janelas.

O quadro a seguir expõe as fórmulas aplicadas no arquivo:

1	Vid	if(Vidro duplo, 1, 0)
2	Coeficiente de Altura	(Pé-direito / Área)
3	Isol	if(not([Trasmittância Térmica (U) (W/m ² K)] > 1), 1, 0)
4	somb abertura	$(\alpha + \gamma_d + \gamma_e) / ([\alpha \text{ (referência)}] + [\gamma_d \text{ (referência)}] + [\gamma_e \text{ (referência)}])$
5	somb	$0.5 * \text{somb abertura} / 0.75$
6	Alpha	if(Brise Soleil, α , 0°)
7	%cob	if(Cobertura voltada para área externa, % * 100, 0)
8	Cob	if(%cob < 25, 0, if(%cob < 75, 0.5, if(%cob > 75, 1, 1)))
9	%pil	if(Piso voltado para pilots, % * 100, 0)
10	Pil	if(%pil < 25, 0, if(%pil < 75, 0.5, if(%pil > 75, 1, 1)))
11	%solo	if(Contato com solo, % * 100, 0)
12	Solo	if(%solo < 25, 0, if(%solo < 75, 0.5, if(%solo > 75, 1, 1)))

Quadro 4: Relação das fórmulas utilizadas na produção do template.
Fonte: Autoria própria (2015).

No quadro acima, pode-se perceber a semelhança das fórmulas, principalmente as condicionantes, com a do programa Excel da Microsoft.

4.1.4 Tabelas

Neste tópico será descrito o *check-list* para o preenchimento dos campos da aba *Energy Analysis* do campo de propriedades da família. Nessas abas serão definidas as condições dos elementos arquitetônicos para que as tabelas filtrem essas informações e as estruturam conforme a formatação dada. Assim, após atender todos os campos conforme indicado a seguir, as tabelas estarão preenchidas como nos apêndices B, C e D.

A figura 9 apresenta a planta desenvolvida pelo autor com os ambientes e suas respectivas dimensões, em destaque está a aba *Energy Analysis* para paredes, onde se deve preencher as condições na qual esta se encontra, ou seja, o padrão de preenchimento deve informar a orientação, caso seja uma parede interna este campo fica vazio, deve-se indicar o ambiente onde está situada, informar se é de permanência

prolongada ou não e se a parede é interna ou externa. Como a parede selecionada pertence a uma área de permanência prolongada, na parte interior da casa e situa-se no ambiente Sala/ Coz. o preenchimento fica condicionado ao exposto na figura 9.

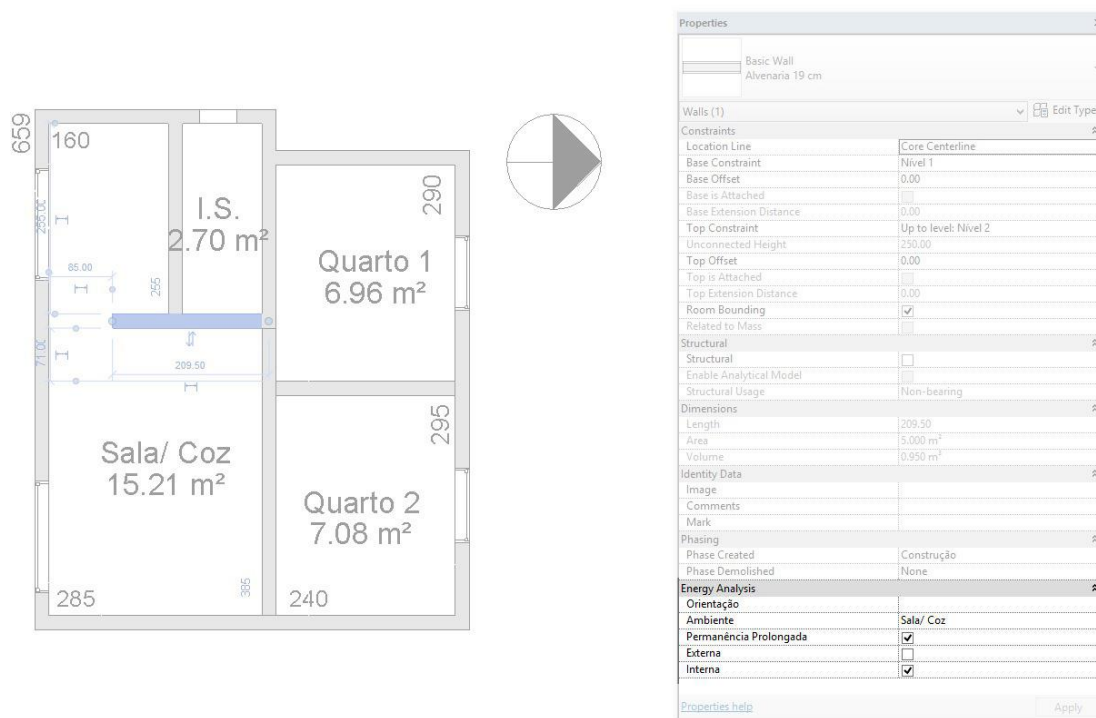


Figura 9: Campo destinado ao preenchimento das condições da parede em destaque
Fonte: Autoria própria (2015).

4.1.4.1 Piso

As tabelas para piso são: Variável binária – pil, Variável binária – solo (Ver apêndice B).

Identificação: Deverá ser identificado o ambiente referente ao piso e se o piso é relativo a um ambiente de permanência prolongada ou não (Ver figura 10).

Padrão de modelagem: modelar de forma que cada ambiente possua seu próprio elemento de piso. Se existirem dois ambientes em um mesmo nível e ambos de permanência prolongada, o piso deve ser separado, de forma que cada ambiente tenha seu próprio piso. Em caso do piso ter parte voltada para pilotis ou em contato com solo, o elemento deverá ser modelado em partes separadas de modo que uma das partes represente a área voltada para pilotis ou em contato com solo e a outra a área que não se enquadra nessa condição.

A área de piso voltada para pilotis ou em contato com solo deverá ser tido “Piso voltado para pilots” ou “Contato com solo”, respectivamente.

Energy Analysis	
Ambiente	Sala/Copa
Contato com solo	<input type="checkbox"/>
Piso voltado para pilots	<input checked="" type="checkbox"/>
Permanência Prolongada	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 10: Exemplo de preenchimento dos campos referente ao Piso.
Fonte: Autoria própria (2015).

4.1.4.2 Cobertura

As tabelas de cobertura são: Cobertura (Ver apêndice B) e Variável Binária – cob (Ver apêndice B).

Padrão de modelagem: modelar de forma que cada ambiente possua seu próprio elemento de cobertura. Se existem dois ambientes em um mesmo nível, a cobertura deve ser separada, de forma que cada ambiente tenha sua própria cobertura.

Identificação: Deverá ser identificado o ambiente referente à cobertura e se a cobertura é relativa a um ambiente de permanência prolongada ou não.

No caso de existir edificação superior, a área de cobertura que estiver na parte interna deve ser modelada como piso, para não comprometer a modelagem do nível superior.

Para obter o “cob”, deverá ser modelado o forro do ambiente, mesmo que este não seja previsto para o local, a modelagem deste se faz necessário pois, caso exista um ambiente imediatamente acima do ambiente em análise, a modelagem total da cobertura deste estará comprometida pela modelagem do piso do ambiente acima. Deste modo, se não houver forro no ambiente analisado, para fins de representação técnica, este pode ser escondido pela ferramenta “hide”, e servindo apenas como auxiliar na obtenção dos dados de “cob”. O forro deverá ser modelado em elementos separados, levando em consideração a área da cobertura que está voltada para o exterior e interior.

A área de forro correspondente à cobertura voltada para o exterior deverá ter tido o campo “Cobertura voltada para área externa”.

Energy Analysis	
Ambiente	Quarto 2
Cobertura voltada para área externa	<input checked="" type="checkbox"/>
Permanência Prolongada	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 11: Exemplo de preenchimento dos campos referente ao forro.
Fonte: Autoria própria (2015).

Energy Analysis	
Ambiente	Quarto 2
Permanência Prolongada	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 12: Exemplo de preenchimento dos campos referente à cobertura.
Fonte: A autoria própria (2015).

4.1.4.3 Paredes

As tabelas de paredes são: Paredes Externas (Ver apêndice C) e Paredes Internas (Ver apêndice C)

Padrão de modelagem: modelar de forma que, cada ambiente possua seus próprios elementos de envoltória e divisões internas.

Identificação: Deverá ser identificado o ambiente referente à parede e se a parede é relativa a um ambiente de permanência prolongada ou não. Deverá, também ser indicada a orientação que a face externa possui, se é norte, leste, sul, oeste, nordeste, sudeste, sudoeste e noroeste. Se a parede for externa, o parâmetro de instância “Externa” deverá ser ticado, se for interna, deverá ser ticado “Interna”.

Como as tabelas possuem filtros para os parâmetros atribuídos aos elementos construtivos, a não marcação da parede com a identificação do ambiente ou da permanência prolongada, excluirá, automaticamente este elemento das tabelas. Essa observação, além de alertar sobre a importância do correto preenchimento dos parâmetros é útil para elementos de parede que pertencem a nenhum ambiente sob análise, como ambientes de curta permanência, platibandas, muros de divisas, etc.

Energy Analysis	
Orientação	Leste
Ambiente	Quarto 2
Permanência Prolongada	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 13: Exemplo de preenchimento dos campos referente à parede.
Fonte: A autoria própria (2015).

4.1.4.4 Aberturas

As tabelas para aberturas são: Aberturas (Ver apêndice D) e Variável – somb (Ver apêndice D)

Padrão de modelagem: Deverá ser inseria um tipo de janela da mesma família para cada variação de dimensão de brise soleil.

Identificação: Deverá ser identificado o ambiente referente à janela, se é relativa a um ambiente de permanência prolongada ou não, deverá ser indicada a orientação que a face externa possui, se é norte, leste, sul, oeste, nordeste, sudeste, sudoeste e noroeste.

No caso de existir brise soleil ou vidro duplo, deverá ser ticado o campo Brise Soleil e Vidro duplo, respectivamente.

Energy Analysis	
Brise Soleil	<input checked="" type="checkbox"/>
Orientação	Oeste
Ambiente	Estar/ Copa
α (referência)	75.000°
γ_e (referência)	30.000°
γ_d (referência)	10.000°
Vidro duplo	<input checked="" type="checkbox"/>
Permanência Prolongada	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 14: Exemplo de preenchimento dos campos referente à janela.
Fonte: Autoria própria (2015).

Se existir ângulos de referência para a janela sob análise, deverá ser escrito o valor no ângulo em seu respectivo campo, “ α (referência)”, “ γ_e (referência)” e “ γ_d (referência)”. De acordo com a figura 15, os ângulos de referência para a cidade de Curitiba, são:

FACHADA NORTE	Curitiba	FACHADA OESTE	Curitiba	FACHADA SUDESTE	Curitiba
Edificações Residenciais		Edificações Residenciais		Edificações Residenciais	
Área da janela < 25% área do piso		Área da janela < 25% área do piso		Área da janela < 25% área do piso	
α	β_d β_e γ_d γ_e	α	β_d β_e γ_d γ_e	α	β_d β_e γ_d γ_e
--	-- -- -- -- --	--	-- -- -- -- --	--	-- -- -- -- --
Área da janela > 25% área do piso		Área da janela > 25% área do piso		Área da janela > 25% área do piso	
α	β_d β_e γ_d γ_e	α	β_d β_e γ_d γ_e	α	β_d β_e γ_d γ_e
--	-- -- -- -- --	75°	-- 30° 30°	--	-- -- -- -- --
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)		Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)		Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)	
α	β_d β_e γ_d γ_e	α	β_d β_e γ_d γ_e	α	β_d β_e γ_d γ_e
--	-- -- -- -- --	--	-- -- -- -- --	--	-- -- -- -- --
FACHADA SUL		FACHADA NORDESTE		FACHADA NOROESTE	
Edificações Residenciais		Edificações Residenciais		Edificações Residenciais	
Área da janela < 25% área do piso		Área da janela < 25% área do piso		Área da janela < 25% área do piso	
α	β_d β_e γ_d γ_e	α	β_d β_e γ_d γ_e	α	β_d β_e γ_d γ_e
--	-- -- -- -- --	--	-- -- -- -- --	--	-- -- -- -- --
Área da janela > 25% área do piso		Área da janela > 25% área do piso		Área da janela > 25% área do piso	
α	β_d β_e γ_d γ_e	α	β_d β_e γ_d γ_e	α	β_d β_e γ_d γ_e
--	-- -- -- -- --	--	-- -- -- -- --	75°	-- 10° 30°
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)		Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)		Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)	
α	β_d β_e γ_d γ_e	α	β_d β_e γ_d γ_e	α	β_d β_e γ_d γ_e
--	-- -- -- -- --	--	-- -- -- -- --	--	-- -- -- -- --
FACHADA LESTE		FACHADA SUDOESTE			
Edificações Residenciais		Edificações Residenciais			
Área da janela < 25% área do piso		Área da janela < 25% área do piso			
α	β_d β_e γ_d γ_e	α	β_d β_e γ_d γ_e		
--	-- -- -- -- --	--	-- -- -- -- --		
Área da janela > 25% área do piso		Área da janela > 25% área do piso			
α	β_d β_e γ_d γ_e	α	β_d β_e γ_d γ_e		
--	-- -- -- -- --	--	-- -- -- -- --		
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)		Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)			
α	β_d β_e γ_d γ_e	α	β_d β_e γ_d γ_e		
--	-- -- -- -- --	--	-- -- -- -- --		

Figura 15: Ângulos de referência para a cidade de Curitiba.
Fonte: PROCEL (2015).

O corte e elevação a seguir demonstra como é obtido, por meio da modelagem e inserção de parâmetros, os ângulos α , γ_e , γ_d :



Figura 16: Família de janela com parâmetros de dimensão e ângulos.
Fonte: Autoria própria (2015).

Para exemplificar parte do funcionamento do *template*, a figura 17, ilustra como definir o valor da variável Pil:

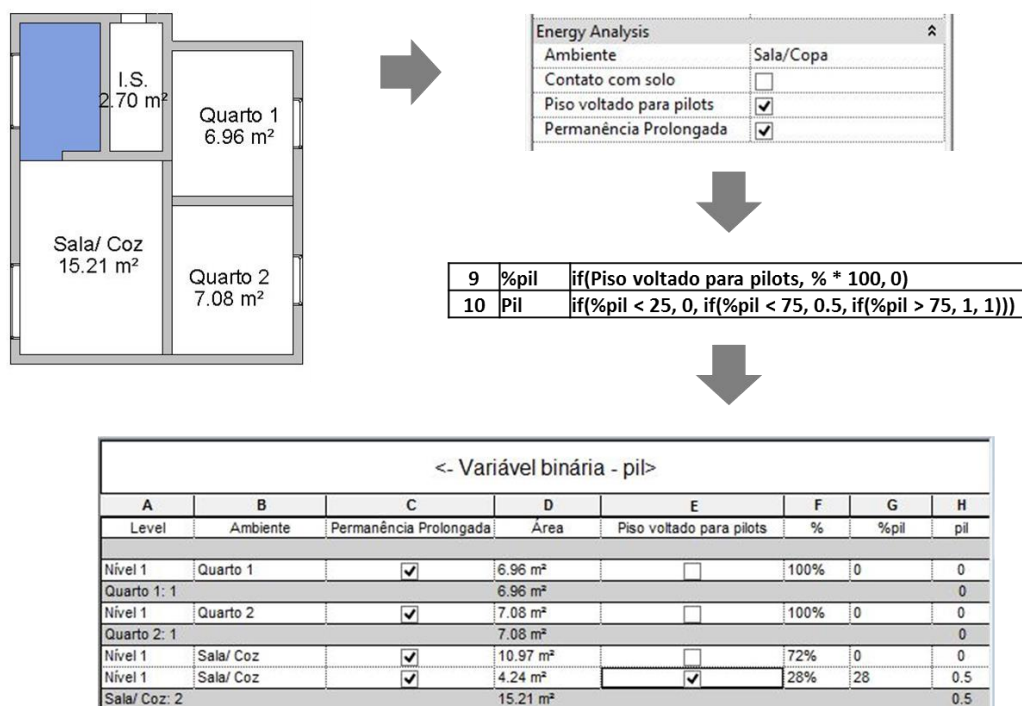


Figura 17: Exemplo de obtenção da variável Pil
Fonte: Autoria própria (2015).

O piso do ambiente Sala/ Coz foi modelado em duas partes separadas, onde a parcela que corresponde à sala, simula o contato do piso com o solo e a parcela do piso da cozinha simula a face inferior voltada para pilotis. Desta maneira, a porcentagem da parcela do piso marcada como voltada para pilotis serve de base para o cálculo imediato da variável Pil, indicado na última coluna do gráfico *Variável binária – Pil* da figura 17.

4.1.4.5 Ambiente

A tabela do ambiente é: Ambientes (Ver apêndice B)

Identificação: Na própria tabela referente aos ambientes, deverá ser identificado se é o ambiente de permanência prolongada ou não.

Modelagem: Em *Areas Plans* deverão ser identificadas todas as áreas para que cada uma seja indicada na tabela Ambiente. A altura do pé direito deverá ser indicada, na própria tabela.

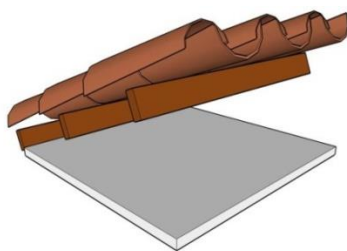
4.2 ESTUDO DE CASO

Com o objetivo de comparar os valores das variáveis exigidas pelo RTQ-R e o resultado final do nível de eficiência energética obtido pelo *template* desenvolvido nesse trabalho, analisou-se o estudo de Moreno, (2013). Neste estudo a autora avalia o desempenho de uma unidade habitacional unifamiliar típica do Programa Minha Casa Minha Vida – PMCMV. Nele, foram definidos, para a UH, sete tipos de paredes, cinco de cobertura e um de abertura. Deste modo foram feitas combinações entre os elementos da envoltória e assim submetida à avaliação de desempenho térmico nas ZB's. (MORENO, 2013)

4.2.1 Envoltória

Para validar o *template* foi feita a análise em cima dos seguintes elementos construtivos: cobertura, parede e abertura. A seguir, estão ilustrados os elementos com suas respectivas composições e propriedades térmicas e físicas. Os valores usados foram extraídos do estudo de Moreno (2013), com a finalidade de obter um modelo fiel ao estudo, assim temos:

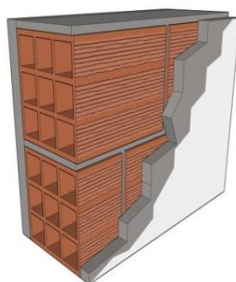
Cobertura:



Sistema de cobertura	Propriedades térmicas		
	Absortância (α)	Transmitância térmica (U)	Capacidade térmica (Ct)
<ul style="list-style-type: none"> • Telha Cerâmica e Lâmina de Alumínio (1cm); • Câmara de ar (5cm); • Forro Gesso (3cm) 	0,37	1,09 W/m ² .K	37 KJ/m ² .K

Quadro 5: Características da cobertura
Fonte: Adaptado de Moreno (2013).

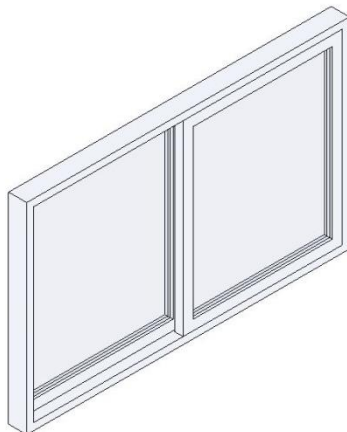
Parede:



Sistema de parede	Propriedades térmicas		
	Absortância (α)	Transmitância térmica (U)	Capacidade térmica (Ct)
<ul style="list-style-type: none"> • Pintura externa; • Argamassa externa (2,5cm); • Bloco cerâmico (14,0x19,0x29,0 cm); • Argamassa interna (2,5cm). 	0,30	1,89 W/m ² .K	170 KJ/m ² .K

Quadro 6: Características da parede
Fonte: Adaptado de Moreno (2013).

Abertura:



Sistema de abertura	Propriedades térmicas		
	Densidade de massa aparente (ρ)	Condutividade Térmica (λ)	Calor Específico (c)
<ul style="list-style-type: none"> • 2 folhas de correr • Vidro comum (3mm) 	2700	1,10 [W/(m.k)]	0,84 [J/(Kg.K)]

Quadro 7: Características da abertura
Fonte: Adaptado de Moreno (2013).

Para obter a transmitância térmica das aberturas utilizou-se o método proposto pela NBR 15220-2 (2013), deste modo tem-se:

Considerando:

- Transmitância térmica total do objeto:

$$U = \frac{1}{R_T} (m^2 \cdot K)/W \quad (\text{Equação 1})$$

- Resistência superficial:

$$R = \frac{1}{h} (m^2 \cdot K)/W \quad (\text{Equação 2})$$

- Resistência do material:

$$R = \frac{e}{\lambda} (m^2 \cdot K)/W \quad (\text{Equação 3})$$

- Resistência total do elemento:

$$R_T = R_i + R_e + R = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{e}{\lambda} (m^2 \cdot K)/W \quad (\text{Equação 4})$$

Deste modo, considerando os valores de resistência superficial interna e externa e as propriedades físicas do vidro especificadas no estudo de caso, podemos calcular a transmitância térmica da abertura utilizada através da equação 1:

$$\frac{1}{U} = 0,13 + 0,04 + \frac{0,003}{1,1} (m^2 \cdot K)/W$$

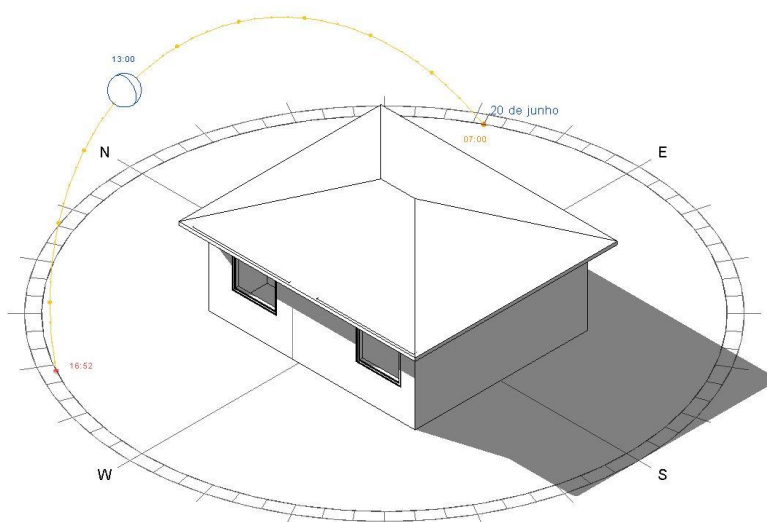


Figura 19: Modelo 3D desenvolvido com base no estudo de caso
Fonte: Autoria própria (2015).

4.2.3 Resultados

Para obter o melhor desempenho do *template* desenvolvido, o modelo foi testado de forma sistemática até alcançar o melhor nível de automatização tendo como base a referência bibliográfica. Após esta fase foi feita uma análise crítica comparando os valores obtidos nas tabelas do *template* com os valores do estudo de caso. Na figura 20, de forma esquemática, está apresentado o método de validação dos parâmetros.

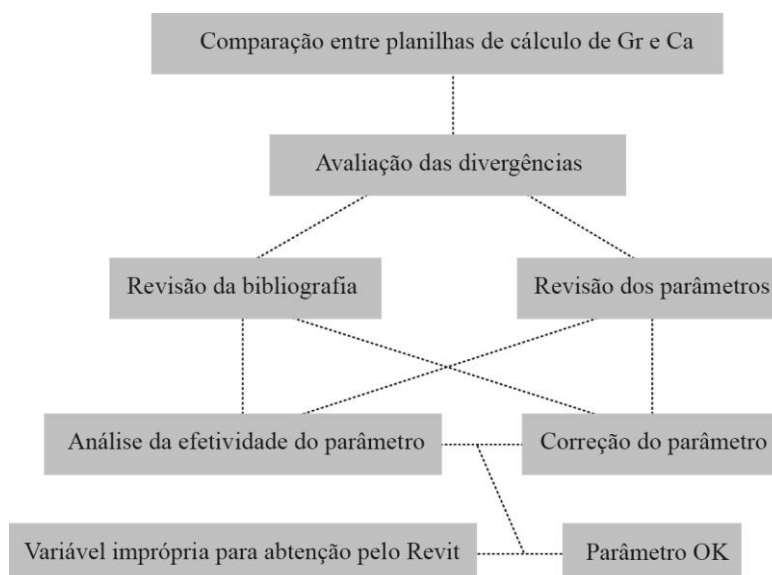


Figura 20: Método de trabalho para validação dos parâmetros criados no *template*
Fonte: Autoria própria (2015).

A partir do método proposto e de posse da planilha de apoio à classificação do nível de eficiência energética de edificações disponibilizada pelo Laboratório de

Eficiência Energética em Edificação (LABEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e analisada comparativamente com a tabela elaborada por Moreno. (2013). O quadro a seguir categoriza, item a item, os valores obtidos nos dois estudos:

Sala/ Cozinha	Variáveis		Valores extraídos do <i>template</i>	Valores extraídos do estudo de caso
	Área útil do APP	m ²		
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	1	1
	Contato com solo	adimensional	1	1
	Sobre Pilotis	adimensional	0	0
Cobertura	Ucob	W/m ² .K	1,09	1,09
	CTcob	kJ/m ² .K	37,00	37,00
	αcob	adimensional	0,37	0,37
Paredes Externas	Upar	W/m ² .K	1,89	1,89
	CTpar	kJ/m ² .K	170,00	170
	αpar	adimensional	0,30	0,30
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	1
	CTalta	binário	0	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m ²	4,24	4,00
	SUL	m ²	7,36	7,13
	LESTE	m ²	0,00	0,00
	OESTE	m ²	13,83	12,65
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m ²	0,00	0,00
	SUL	m ²	0,00	0,00
	LESTE	m ²	0,00	0,00
	OESTE	m ²	2,88	3,60
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,56	0,50
	Somb	adimensional	0	0,10
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m ²	21,00	20,87
	Pé Direito	m	2,50	2,5
	C altura	adimensional	0,164	0,164
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0
	vid	binário	0	0
	Uvid	W/m ² .K	5,81	0,00

Quadro 8: Valores necessários para avaliação da eficiência energética pelo do método prescritivo do RTQ-R Adaptado de: PROCEL (2015).

Nas três primeiras colunas do quadro estão as identificações e as variáveis necessárias para o cálculo do Gr e do Ca. A quarta coluna contém os valores obtidos pelo *template* e na quinta coluna estão os valores do obtido no trabalho de Moreno (2013). Constataram-se as seguintes divergências na obtenção dos dados, a saber:

- Valor obtido para CT Baixa;
- Valor das áreas das paredes;

- Valor das áreas de abertura das janelas;
- Valor de Fvent;
- Valor de Uvid;
- Valor do Somb.

4.2.4 Discussões

Este item trata das divergências constadas entre os dois trabalhos em questão. Será pontuado e discutido cada questão observando o RTQ-R e os resultados apresentados no quadro 8.

4.2.4.1 Valor obtido para Capacidade Térmica Baixa

A partir da seguinte definição do RTQ-R (2012) podemos analisar a primeira divergência:

Variável binária que define se os fechamentos dos ambientes possuem capacidade térmica baixa, considerando a média ponderada das capacidades térmicas das paredes externas, internas e cobertura pelas respectivas áreas, excluindo as aberturas. Para este RTQ é considerada capacidade térmica baixa valores abaixo de 50 kJ/m K. Se o ambiente possuir fechamentos com capacidade térmica baixa o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero).

Assim, considerando a média ponderada pelas áreas das paredes e da cobertura onde:

- $\Sigma(CTp \cdot Apamb)$ = Somatória do produto entre CT das paredes externas e internas pelas suas respectivas áreas do ambiente analisado;
- $\Sigma(CTcob \cdot Acobamb)$ = Somatório do produto entre CT da cobertura e sua área
- $(Apamb + Acobamb)$ = Somatório das áreas das paredes externas, internas e da cobertura.

Tem-se:

$$CT = \frac{\Sigma(CTp \cdot Apamb) + \Sigma(CTcob \cdot Acobamb)}{(Apamb + Acobamb)} \text{ (kJ/mK) (Equação 5)}$$

$$CT = \frac{4323,1 + 2585,7 + 562,77}{25,43 + 15,21 + 15,21} \text{ (kJ/mK)}$$

$$CT = 133,77 \text{ kJ/m K}$$

Deste modo o valor da CT é 133,77(kJ/mK) maior que 50(kJ/mK) o que corresponde à 0 para CT_{baixa} , conforme a definição do RTQ-R.

4.2.4.2 Valor das áreas das paredes

A diferença entre as áreas das paredes provêm do método de cálculo de área de parede do Revit. O programa toma como área total a face que corresponde ao eixo da parede, deste modo, a área obtida pelo *template* torna-se ligeiramente maior que a área de Moreno (2013), tendo em vista que a autora considerou a medida interna da parede. A figura 21, ilustra a diferença entre o comprimento utilizado nos estudos.

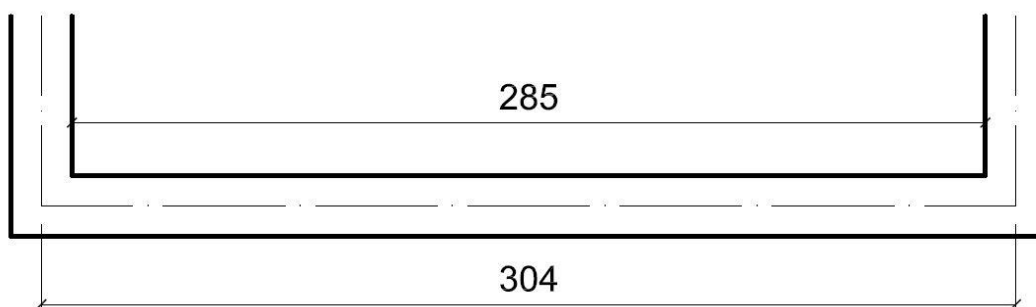


Figura 21: Parede em planta: comparação entre a medida tomada pelo eixo e pela face interna da parede.
Fonte: Autoria própria (2015).

4.2.4.3 Valor das áreas de abertura das janelas

Na questão da área total das aberturas voltadas para o oeste observou-se que no estudo de caso não foram desconsiderados os caixilhos, como define o RTQ-R (2012) onde deve-se calcular a “área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada”.

4.2.4.4 Valor de Fator de ventilação da abertura

Para o cálculo do F_{vent} observou-se que não foi considerado o valor da área livre para ventilação, como define o RTQ-R (2012):

Fator das aberturas para ventilação: valor dimensional proporcional à abertura para ventilação em relação a abertura do vão. Os valores variam de 0 (zero) a 1 (um). Por exemplo, se a abertura para ventilação for igual à abertura do vão, o valor deve ser 1 (um); se a abertura estiver totalmente obstruída, o valor deve ser 0 (zero); se a abertura possibilitar metade da área da abertura para ventilação, deve ser 0,5.

Ou seja, sendo a área de abertura do vão (A_{ab}) de $1,44\text{m}^2$ e abertura de ventilação (A_v) de $0,81\text{m}^2$ temos que o F_{vent} corresponde a $0,56$, como se pode confirmar na seguinte expressão:

$$F_{vent} = \frac{A_v}{A_{ab}} \text{ (Equação 6)}$$

$$F_{vent} = \frac{0,81 \text{ m}^2}{1,44 \text{ m}^2}$$

$$F_{vent} = 0,56$$

4.2.4.5 Valor da transmitância térmica das aberturas

No item corresponde à U_{vid} , transmitância térmica das aberturas, como já observado no item 4.2.1, o valor da transmitância térmica das aberturas voltadas para oeste corresponde à $5,81(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$, considerando as especificações técnicas da abertura expostas no estudo de caso.

4.2.4.6 Valor da variável binária para sombreamento sobre as aberturas

O Valor de $Somb_{abertura}$ apresentado no estudo de caso para a janela da sala voltadas à oeste é de 0 e para a janela da cozinha 0.56. Para análise desses resultados deve-se observar dois pontos, primeiro, a definição do RTQ-R sobre a classificação da abertura se pequena ou grande.

- Aberturas pequenas: aberturas com área menor que 25% da área do piso;
- Aberturas grandes: aberturas com área maior que 25% da área do piso.

Esta classificação condiciona o uso dos ângulos de referência. No caso de Curitiba, para fachada oeste temos:

Área da janela < 25%		
α	β	γ
-	-	-
Área da janela > 25%		
α	β	γ
75°	30°	30°

Quadro 9: Ângulos de referência para fachada oeste para a cidade de Curitiba, PR
Adaptado de: PROCEL (2015).

O segundo ponto refere-se ao entendimento de Moreno (2013) quanto à área de piso a ser considerada para a classificação das janelas. No estudo o autor calculou separadamente a relação abertura/área de piso para a cozinha e para a sala. Assim a

janela presente na cozinha obteve a classificação de grande e a janela da sala de pequena, de tal forma que o Somb obtido foi de 0,10. Entretanto, conforme o RTQ-R (2012) define, “varandas fechadas com vidro, cozinhas ou outros ambientes que não possuam separação através de parede ou divisória até o forro com ambientes de permanência prolongada são considerados extensão dos ambientes contíguos a eles”, portanto, a área a ser considerada para a verificação da classificação da janela deve considerar a área da sala somada a da cozinha e para a área de aberturas e deve-se considerar a área das duas janelas para avaliar o dimensionamento da abertura para o ambiente sob análise.

Fica evidente que a concentração de divergências corresponde às variáveis que dependem de diversos tipos de cálculos e considerações, e que variam conforme o projeto arquitetônico, como é o caso da variável Somb, Fvent e Ct baixa. Como o referencial apresenta fragmentada e incompleta a forma de aplicação do método prescritivo em uma unidade residencial autônoma, o pleno entendimento do processo de verificação da eficiência energética fica comprometido.

5 CONCLUSÃO

No processo de pesquisa o RTQ-R apresentou falta de clareza e explicação nas definições de algumas variáveis, tornando-o limitado para a concepção arquitetônica. No caso de Somb, por exemplo, não é definido como obter a variável, caso exista mais de uma abertura em um mesmo ambiente de permanência prologada e com diferentes tipos de brise-soleil. Deste modo pode-se classificar o regulamento como falho no objetivo de difundir uma regra para os profissionais envolvidos com a construção civil.

O *template* desenvolvido nesse trabalho possibilita fazer a análise da eficiência energética de forma rápida e segura, pois, a inter-relação entre os parâmetros já existentes no programa, com os parâmetros criados especificamente para a obtenção dos valores exigidos pelo RTQ-R, permite que seja feito inúmeras alterações no projeto arquitetônico, como altura do pé-direito, área das aberturas, uso de determinado tipo de vedação, uso de *brise-soleil*, área do piso ou cobertura em contato com o ambiente externo, etc., sem que seja necessário refazer os diversos cálculos para essas variáveis. Deste modo, é possível estressar o modelo, através da criação de diversos cenários na configuração do projeto arquitetônico, até alcançar a melhor relação entre forma e eficiência térmica.

O estudo de caso ajudou a comprovar a eficiência do *template*, através do projeto arquitetônico replicado no programa Revit, visto que após lançado os elementos arquitetônicos de acordo com as especificações de dimensões e materiais do estudo analisado, foi gerado instantaneamente os dados necessários para o cálculo da G_{HR} e C_A , com exceção das médias ponderadas e dos dados faltantes no estudo de caso, o Fvent e Somb. As demais divergências entre os valores comparados entram no mérito do entendimento do regulamento.

Esta pesquisa deve, em um próximo momento, estudar os impactos que as variações do projeto podem causar no custo da construção de um empreendimento relacionando com a estimativa de seu consumo energético no ambiente construído em um determinado espaço de tempo.

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. parte 1, 2, 3 e 4. Rio de Janeiro, 2003.

BRASIL. **Conferencia Rio 92 sobre o meio ambiente do planeta desenvolvimento sustentável dos países**. Disponível em: <http://www.senado.gov.br/noticias/Jornal/emdiscussao/rio20/a-rio20/conferencia-rio-92-sobre-o-meio-ambiente-do-planeta-desenvolvimento-sustentavel-dos-paises.aspx>. Acesso em 25/01/2015.

BRASIL. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em 01/03/2015.

FROTA, A. B. **Manual do Conforto Térmico**. 8.ed. São Paulo: Estúdio Nobel 2014. 243p.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Referencial Técnico de Certificação - Edifícios Habitacionais - Processo AQUA**. FCAV - Versão 2, 2013. Disponível em: http://www.vanzolini.org.br/download/RT_Edificios_habitacionais_v2_2013.pdf. Acessado em 16 de abril de 2015.

GONÇALVES, Augusto. **Meu primeiro plug-in para Revit**. Disponível em: http://static-wd.autodesk.net/content/dam/au/Brasil-2014/documents/materialapoio/2011/AUBR_81-Meu%20Primeiro%20Plugin%20Revit.pdf. Acesso em: 22/04/2015.

GRÜNBERG, P. R. M. **Avaliação das estratégias bioclimáticas de projeto para clima quente e úmido através de simulação. Curitiba- estudo de caso de edificação unifamiliar em Joinville/SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais**. Anexo da Portaria INMETRO nº 018/2012. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTQR.pdf>. Acessado em 16 de abril de 2015.

LAMBERTS, R.; PITTA, T.; GOULART, S.; BARBOSA, M. J.; PIETROBON, C. E.; BOGO, A. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico**. 1994. 83 f. Relatório de pesquisa. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Disponível em: http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/RP_Bioclimatologia.pdf. Acesso em 26 de fevereiro de 2015.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3.ed. Rio de Janeiro, 2014.

MASCARÓ, L. E. A. R.. **Energia na edificação: estratégias para minimizar seu consumo**. 3. ed. São Paulo: Projeto, 1993. v. 1. 269p.

MORI, Fabiano Kiyoshi. **Análise da eficiência energética da envoltória de um projeto padrão de uma agência bancária em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras**. 2012. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Curitiba, 2012.

MOACYR JOHN, Vanderley e PRADO, Racine Tadeu Araújo (coord.). **Boas prática para habitação mais sustentável**. São Paulo: Ed. Páginas & Letras, 2010. Disponível em: http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Selo_Casa_Azul_CAIXA_versao_web.pdf. Acessado em 16 de abril de 2015.

ONU. **Protocolo de Quioto**. Disponível em: www.onu-brasil.org.br/agencias_pnuma.php. Acesso em: 26/01/2015.

PEB/EDIFICA. **O que é a etiqueta PBE Edifica?**. 2015. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/conhecendo-pbe-edifica>. Acesso em 24/02/2015.

POLI/USP. **Poli/USP trabalha para disseminar o BIM no Brasil**. 2014. Disponível em: <http://www.poli.usp.br/pt/comunicacao/noticias/arquivo-de-noticias/1348-poliusp-trabalha-para-disseminar-o-bim-no-brasil.html>. Acesso em 24/02/2015.

PROTOCOLO DE MONTREAL, **O que é o Protocolo de Montreal**. Disponível em: <http://www.protocolodemontreal.org.br/>. Acesso em: 26/01/2015.

RIO20. **Sobre a Conferência**. Disponível em: <http://www.rio20.gov.br/>. Acesso em: 26/01/2015

RODRIGUES MORENO, Ana Cecília. **Minha Casa Minha Vida: Análise de Desempenho Térmico pela NBR 15.220-3, NBR 15.575, Selo Casa Azul e RTQ-R**. 2013. 205 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) - Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Brasil.

RUSCHEL, Regina Coeli; ANDRADE, Max Lira Veras Xavier de and MORAIS, Marcelo de. **O ensino de BIM no Brasil: onde estamos?**. Ambiente construído [online]. 2013, vol.13, n.2, pp. 151-165. ISSN 1678-8621. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212013000200012>. Acesso em 23/02/2015.

SANTOS, Eduardo Toledo. **Tecnologia orçamentária: Especialista em BIM (Building Information Modeling) explica como o conceito pode revolucionar os processos de orçamentação**. 2009. Disponível em: <http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/94/entrevista-299224-1.aspx>. Acesso em 24/02/2015. Entrevista concedida a Gisele C. Cichinelli.

SILVA F. A. C.. **Construtoras, entidades setoriais e fornecedores se mobilizam e aumentam uso do processo de Modelagem da Informação da Construção no País**. 2015. Disponível em: <http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/162/construtoras-entidades-setoriais-e-fornecedores-se-mobilizam-e-aumentam-uso-335413-1.aspx>. Acesso em 24/02/2015.

UNCED. **Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992), Agenda 21 (global), em português**. Ministério do Meio Ambiente – MMA Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/se/agen21/ag21global/>. Acesso em: 26/01/2015.

AbL	Variável binária que define a existência de abertura voltada para o Leste. Se o ambiente possuir abertura para Leste o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);
AbN	Variável binária que define a existência de abertura voltada para o Norte. Se o ambiente possuir abertura para Norte o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);
AbO	Variável binária que define a existência de abertura voltada para o Oeste. Se o ambiente possuir abertura para Oeste o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);
AbS	Variável binária que define a existência de abertura voltada para o Sul. Se o ambiente possuir abertura para Sul o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);
AAbL (m ²)	Área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada voltada para o Leste;
AAbN (m ²)	Área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada voltada para o Norte;
AAbO (m ²)	Área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada voltada para o Oeste;
AAbS (m ²)	Área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada voltada para o Sul;
APambL (m ²)	Área de parede externa do ambiente voltada para o Leste;
APambN (m ²)	Área de parede externa do ambiente voltada para o Norte;
APambO (m ²)	Área de parede externa do ambiente voltada para o Oeste;
APambS (m ²)	Área de parede externa do ambiente voltada para o Sul;
AparInt (m ²)	Área das paredes internas, excluindo as aberturas e as paredes externas;
AUamb (m ²)	Área útil do ambiente analisado;
α cob (adimensional)	Absortância da superfície externa da cobertura. O valor deve situar-se entre 0,10 e 0,90 ou 0 (zero) quando a cobertura do ambiente não estiver voltada para o exterior;
α par (adimensional)	Absortância externa das paredes externas. O valor deve situar-se entre 0,10 e 0,90;
Caltura	Coefficiente de altura, calculado pela razão entre o pé-direito e a área útil do ambiente;
cob	Variável que define se o ambiente possui fechamento superior voltada para o exterior (cobertura). Se o fechamento superior do ambiente estiver voltada para o exterior o valor deve ser 1 (um), se não estiver, o valor deve ser 0 (zero). Para ambientes com parte do fechamento superior voltado para o exterior e parte coberta, a variável “cob” será:
	· cob = 0 para fechamento superior de 0 a 25% voltada para o exterior,
	· cob = 0,5 para fechamento superior de 25,1 a 75% voltada para o exterior;
	· cob = 1 para fechamento superior de 75,1 a 100% voltada para o exterior.
	<i>Observação: caso a cobertura do ambiente possuir abertura zenital de mais de 2% da área da cobertura, a avaliação deve ser feita pelo método de simulação ou o ambiente receberá nível E (EqNum = 1) nos equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para resfriamento (EqNumEnvAmbResf), para aquecimento (EqNumEnvAmbA) e para refrigeração (EqNumEnvAmbRefrig).</i>
CTalta [kJ/(m K)]	Variável binária que define se os fechamentos dos ambientes possuem capacidade térmica alta, considerando a média ponderada das capacidades térmicas das paredes externas, internas e cobertura pelas respectivas áreas, excluindo as aberturas. Para este RTQ é considerada capacidade térmica alta valores acima de 250 kJ/m K. Se o ambiente possuir fechamentos com capacidade térmica alta o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);
CTbaixa [kJ/(m K)]	Variável binária que define se os fechamentos dos ambientes possuem capacidade térmica baixa, considerando a média ponderada das capacidades térmicas das paredes externas, internas e cobertura pelas respectivas áreas, excluindo as aberturas. Para este RTQ é considerada capacidade térmica baixa valores abaixo de 50 kJ/m K. Se o ambiente possuir fechamentos com capacidade térmica baixa o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);
	<i>Observação: Caso a capacidade térmica dos fechamentos seja um valor entre 50 kJ/m2K e 250 kJ/m2K deve-se adotar valor 0 (zero) tanto para CTbaixa como para CTalta. Em nenhuma circunstância pode-se adotar o valor 1 (um) para CTbaixa e CTalta simultaneamente.</i>
CTcob [kJ/(m K)]	Capacidade térmica da cobertura. Deve ser calculada considerando-se todas as camadas entre o interior e o exterior do ambiente. Se a cobertura do ambiente não estiver voltada para o exterior o valor deve ser 1 (um);

CT_{par} [kJ/(m K)]	Média ponderada da capacidade térmica das paredes externas e internas do ambiente pelas respectivas áreas;
F_{vent} (adimensional)	Fator das aberturas para ventilação: valor adimensional proporcional à abertura para ventilação em relação a abertura do vão. Os valores variam de 0 (zero) a 1 (um). Por exemplo, se a abertura para ventilação for igual à abertura do vão, o valor deve ser 1 (um); se a abertura estiver totalmente obstruída, o valor deve ser 0 (zero); se a abertura possibilitar metade da área da abertura para ventilação, deve ser 0,5.
isol	Variável binária que representa a existência de isolamento nas paredes externas e coberturas. São consideradas isoladas paredes externas e coberturas que apresentem isolamento térmico e transmitância térmica menor ou igual a 1,00 W/(m K);
PambL	Variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente voltada para o Leste. Se o ambiente possuir parede externa voltada para o Leste o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);
PambN	Variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente voltada para o Norte. Se o ambiente parede externa voltada para o Norte o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);
PambO	Variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente voltada para o Oeste. Se o ambiente possuir parede externa voltada para o Oeste o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);
PambS	Variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente voltada para o Sul. Se o ambiente possuir parede externa voltada para o Sul o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);
PD (m)	Pé-direito do ambiente analisado;
pil	Variável binária que define o contato externo do piso do ambiente com o exterior através de pilotis. Se o ambiente estiver sobre pilotis o valor deve ser 1 (um), se não estiver, o valor deve ser 0 (zero). Para ambientes que possuem parte do piso sobre pilotis, a variável “pil” será:
	· pil = 0 para ambientes com 0 a 25% da área sobre pilotis,
	· pil = 0,5 para ambientes com 25,1 a 75% da área sobre pilotis;
	· pil = 1 para ambientes com 75,1 a 100% da área sobre pilotis.
solo	Variável binária que define o contato do piso do ambiente com o solo (laje de terrapleno). Se o piso estiver em contato com o solo o valor deve ser 1 (um), se não estiver, o valor deve ser 0 (zero) . Para ambientes que possuem parte do piso em contato com o solo, a variável solo” será:
	· solo = 0 para ambientes com 0 a 25% da área em contato com o solo,
	· solo = 0,5 para ambientes com 25,1 a 75% da área em contato com o solo;
	· solo = 1 para ambientes com 75,1 a 100% da área em contato com o solo.
SomAparext	Somatório das áreas de parede externa do ambiente (APambN + APambS + APambL + APambO);
Somb	Variável que define a presença de dispositivos de proteção solar externos às aberturas. Os valores possíveis são: $somb = 0$ (zero), quando não houver dispositivos de proteção solar;
	· $somb = 1$ (um), quando houver venezianas que cubram 100% da abertura quando fechada;
	· $0 < somb \leq 0,5$ (de zero a zero vírgula cinco), para ambientes com sombreamento por varanda, beiral ou brise horizontal, o percentual de sombreamento deve ser calculado de acordo com o método proposto no Anexo I;
	· $somb = 0,2$ (zero vírgula dois) para ambientes com sombreamento por varanda, beiral ou brise horizontal, desde que os ângulos de sombreamento α e γ atendam aos limites de ângulo mínimos para Norte, Sul, Leste e Oeste estabelecidos pelas seguintes equações:
	o Limite para α ou γ Norte = $23,5^\circ + Lat$
	o Limite para α ou γ Sul = $23,5^\circ + Lat$
o Limite para α ou γ Leste e Oeste = 45°	

	Sendo:
Lat	Valor absoluto da Latitude do local (valores negativos para o hemisfério Sul);
α	Ângulo de altitude solar a normal da fachada que limita a proteção solar;
γ	Ângulo da altura solar perpendicular a normal da fachada que limita as laterais da proteção solar.
	Observação: No caso de dormitórios, o dispositivo de sombreamento deve permitir escurecimento em todas as Zonas Bioclimáticas e ventilação nas Zonas Bioclimáticas 2 a 8 para que “somb” seja igual a 1 (um).
U_{cob} [W/(m K)]	Transmitância térmica da cobertura. Deve ser calculada considerando-se todas as camadas entre o interior e o exterior do ambiente. Se a cobertura do ambiente não estiver voltada para o exterior o valor deve ser 0 (zero);
U_{par} [W/(m K)]	Transmitância térmica das paredes externas. Deve ser calculada considerando-se todas as camadas entre o interior e o exterior do ambiente;
U_{vid} [W/(m K)]	Transmitância térmica do vidro;
vid	Variável binária que indica a existência de vidro duplo no ambiente. Se o ambiente possuir vidro duplo o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);
volume (m ³)	Volume do ambiente, obtido através da multiplicação entre o pé-direito e a área útil do ambiente.

Anexo A: Quadro de variáveis para cálculo de GHR e CA. Disponível em:

<http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTQR.pdf>. Acessado em 16 de abril de 2015.

Adaptado pelo autor.

Apêndice A

Ambiente			
Paredes Externas			
	CT	Área	CT*Área
Leste			0
Oeste	170	13,83	2351,1
Sul	170	7,36	1251,2
Norte	170	4,24	720,8
			0
Σ	510	25,43	4323,1
Paredes Internas			
	CT	Área	CT*Área
	170	15,21	2585,7
			0
			0
			0
Σ	170	15,21	2585,7
Cobertura			
	CT	Área	CT*Área
	37	15,21	562,77
			0
			0
			0
Σ	37	15,21	562,77

Sala/ Coz

CT - Par

170

CT - Cob

37

CT- Total

133,7792301

CT Baixa

0

CT Baixa

0

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE B

*Se o quadro Cobertura estiver vazio, a Capacidade Térmica deverá ser igua a 1, a Transmitância Térmica e a Absortância deverá ser igual a 0.

- Ambientes					
Nível	Ambiente	Permanência Prolongada	Área Útil (AU)	Pé-direito (PD)	Coef. Altura (C)
Nível 1	Sala/ Coz	Yes	15.21 m ²	2.50 m	0.164
Nível 1	Quarto 2	Yes	7.08 m ²	2.50 m	0.353
Nível 1	Quarto 1	Yes	6.96 m ²	2.50 m	0.359
Nível 1: 3			29.25 m ²		
Grand total: 3			29.25 m ²		

- Cobertura								
Nível	Ambiente	Area	Permanência Prolongada	Tipo	Trasmitância Térmica (U) (W/m ² K)	Capacidade Térmica (Ct) (kJ/m ² K)*	Absortância (α)	isol
Nível 2	Quarto 1	6.96 m ²	Yes	Telha cerâmica/Lâmima de alumínio/Câmara de ar/Forro PVC	1.09	37	0.37	0
Quarto 1: 1								
Nível 2	Quarto 2	7.08 m ²	Yes	Telha cerâmica/Lâmima de alumínio/Câmara de ar/Forro PVC	1.09	37	0.37	0
Quarto 2: 1								
Nível 2	Sala/ Coz	15.21 m ²	Yes	Telha cerâmica/Lâmima de alumínio/Câmara de ar/Forro PVC	1.09	37	0.37	0
Sala/ Coz: 1								

- Variável binária - cob							
Level	Ambiente	Permanência Prolongada	Área	Cobertura voltada para área externa	%	%cob	cob
Nível 1	Quarto 1	Yes	6.96 m ²	Yes	100%	100	1
Quarto 1: 1			6.96 m ²				1
Nível 1	Quarto 2	Yes	7.08 m ²	Yes	100%	100	1
Quarto 2: 1			7.08 m ²				1
Nível 1	Sala/ Coz	Yes	15.21 m ²	Yes	100%	100	1
Sala/ Coz: 1			15.21 m ²				1

- Variável binária - pil							
Level	Ambiente	Permanência Prolongada	Área	Piso voltado para pilots	%	%pil	pil
Nível 1	Quarto 1	Yes	6.96 m ²	No	100%	0	0
Quarto 1: 1			6.96 m ²				0
Nível 1	Quarto 2	Yes	7.08 m ²	No	100%	0	0
Quarto 2: 1			7.08 m ²				0
Nível 1	Sala/ Coz	Yes	15.21 m ²		100%		
Sala/ Coz: 1			15.21 m ²				0

- Variável binária - solo							
Level	Ambiente	Permanência Prolongada	Area	Contato com solo	%	%solo	solo
Nível 1	Quarto 1	Yes	6.96 m ²	Yes	100%	100	1
Quarto 1: 1			6.96 m ²				1
Nível 1	Quarto 2	Yes	7.08 m ²	Yes	100%	100	1
Quarto 2: 1			7.08 m ²				1
Nível 1	Sala/ Coz	Yes	15.21 m ²	Yes	100%	100	1
Sala/ Coz: 1			15.21 m ²				1

APÊNDICE C

- Paredes Externas										
Ambiente	Orientação	Permanência Prolongada	Área (AP)	Tipo	Absortância (α)	Trasmitância Térmica (U) (W/m²K)	Capacidade Térmica (Ct) (kJ/m²K)	U Total	Ct Total	isol
Quarto 1	Leste	Yes	6.76 m²	Alvenaria 19 cm	0.3	1.89	170	12.78	1149.63	0
Leste: 1			6.76 m²							
Quarto 1	Norte	Yes	6.00 m²	Alvenaria 19 cm	0.3	1.89	170	11.34	1020.00	0
Norte: 1			6.00 m²							
Quarto 1: 2			12.76 m²							
Quarto 2	Leste	Yes	6.41 m²	Alvenaria 19 cm	0.3	1.89	170	12.12	1090.13	0
Leste: 1			6.41 m²							
Quarto 2	Sul	Yes	6.71 m²	Alvenaria 19 cm	0.3	1.89	170	12.69	1141.13	0
Sul: 1			6.71 m²							
Quarto 2: 2			13.13 m²							
Sala/ Coz	Norte	Yes	4.24 m²	Alvenaria 19 cm	0.3	1.89	170	8.01	720.38	0
Norte: 1			4.24 m²							
Sala/ Coz	Oeste	Yes	13.83 m²	Alvenaria 19 cm	0.3	1.89	170	26.13	2350.25	0
Oeste: 1			13.83 m²							
Sala/ Coz	Sul	Yes	7.36 m²	Alvenaria 19 cm	0.3	1.89	170	13.92	1251.63	0
Sul: 1			7.36 m²							
Sala/ Coz: 3			25.43 m²							
Grand total: 7			51.31 m²							

- Paredes Internas								
Ambiente	Permanência Prolongada	Área (AP)	Tipo	Absortância (α)	Trasmitância Térmica (U) (W/m²K)	Capacidade Térmica (Ct) (kJ/m²K)	U Total	Ct Total
Quarto 1	Yes	7.73 m²	Alvenaria 19 cm	0.3	1.89	170	14.60	1313.25
Quarto 1	Yes	6.00 m²	Alvenaria 19 cm	0.3	1.89	170	11.34	1020.00
Quarto 1: 2		13.73 m²						
Quarto 2	Yes	6.00 m²	Alvenaria 19 cm	0.3	1.89	170	11.34	1020.00
Quarto 2	Yes	7.61 m²	Alvenaria 19 cm	0.3	1.89	170	14.39	1294.13
Quarto 2: 2		13.61 m²						
Sala/ Coz	Yes	5.00 m²	Alvenaria 19 cm	0.3	1.89	170	9.45	850.00
Sala/ Coz	Yes	6.38 m²	Alvenaria 19 cm	0.3	1.89	170	12.05	1083.75
Sala/ Coz	Yes	9.63 m²	Alvenaria 19 cm	0.3	1.89	170	18.19	1636.25
Sala/ Coz: 3		21.00 m²						
Grand total: 7		48.34 m²						

APÊNDICE D

- Aberturas												
Ambiente	Permanência Prolongada	Orientação	Tipo	Vidro duplo	Área	Área de iluminação natural	Área de ventilação natural	Fvent	Fator Solar	vid	(U) (W/m²K)	U Total
Quarto 1	Yes	Leste	Alumínio/ vidro comum 100x120 cm	No	1.20 m²	0.96 m²	0.54 m²	0.56		0	5.79	5.56
Leste: 1						0.96 m²	0.54 m²					
Quarto 1: 1						0.96 m²	0.54 m²					
Quarto 2	Yes	Leste	Alumínio/ vidro comum 100x120 cm	No	1.20 m²	0.96 m²	0.54 m²	0.56		0	5.79	5.56
Leste: 1						0.96 m²	0.54 m²					
Quarto 2: 1						0.96 m²	0.54 m²					
Sala/ Coz	Yes	Oeste	Alumínio/ vidro comum 150x120 cm 2	No	1.80 m²	1.44 m²	0.81 m²	0.56		0	5.79	8.34
Sala/ Coz	Yes	Oeste	Alumínio/ vidro comum 150x120 cm 2	No	1.80 m²	1.44 m²	0.81 m²	0.56		0	5.79	8.34
Oeste: 2						2.88 m²	1.62 m²					
Sala/ Coz: 2						2.88 m²	1.62 m²					
Grand total: 4						4.80 m²	2.70 m²					

*Se as colunas somb (brise soleil) e somb (venezianas) estiverem vazias considerá-las iguais a 0.

- Variável - somb															
Ambiente	Permanência Prolongada	Tipo	Orientação	Área	Brise Soleil	Venezi ana	α	γe	γd	α (referência)	γe (referência)	γd (referência)	somb abertura	somb (brise soleil)	somb (venezianas)
Quarto 1	Yes	Alumínio/ vidro comum 100x120 cm	Leste	1.20 m²	Yes	No	0.38°	0.38°	0.38°	0.00°	0.00°	0.00°			
Leste: 1															
Quarto 1: 1															
Quarto 2	Yes	Alumínio/ vidro comum 100x120 cm	Leste	1.20 m²	Yes	No	0.38°	0.38°	0.38°	0.00°	0.00°	0.00°			
Leste: 1															
Quarto 2: 1															
Sala/ Coz	Yes	Alumínio/ vidro comum 150x120 cm 2	Oeste	1.80 m²	Yes	No	16.39°	29.91°	29.91°	0.00°	0.00°	0.00°			
Sala/ Coz	Yes	Alumínio/ vidro comum 150x120 cm 2	Oeste	1.80 m²	Yes	No	16.39°	29.91°	29.91°	0.00°	0.00°	0.00°			
Oeste: 2															
Sala/ Coz: 2															
Grand total: 4															