

**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia de Energia**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM RESIDÊNCIAS
UNIFAMILIARES DE ALTO PADRÃO**

Por
Mirella da Silva Rodrigues

**Orientadora: Maria Vitória Duarte Ferrari Tomé
Co-orientadora: Cristina de Abreu Silveira**

Brasília - DF, junho de 2014.

MIRELLA DA SILVA RODRIGUES

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES DE ALTO
PADRÃO**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: Prof.^a. Maria Vitória Duarte Ferrari Tomé

Co-Orientadora: Prof.^a. Cristina de Abreu Silveira

**Brasília, DF
2014**



EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES DE ALTO PADRÃO

Mirella da Silva Rodrigues

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 27/06/2014 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof.^a. Maria Vitória Duarte Ferrari Tomé, UnB/FGA
Orientadora

Prof.^a. Cristina de Abreu Silveira, UnB/FGA
Co-orientadora

Prof. Luciano Gonçalves Noieto, UnB/FGA
Membro Convidado

Prof.^a. Paula Meyer Soares, UnB/FGA
Membro Convidado

Brasília, DF
2014

RESUMO

O crescimento populacional e econômico, aliado ao avanço tecnológico alcançado nas últimas décadas, torna cada vez mais importante a discussão sobre o quanto o meio ambiente é capaz de suportar a exploração humana e os impactos que ela acarreta. Eficiência energética no contexto da sustentabilidade é cada vez mais demandada nos processos produtivos, produtos e serviços. Este trabalho aborda conceitos, normas, políticas e programas referentes à eficiência energética com o objetivo principal de avaliar a aplicabilidade do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) a uma residência unifamiliar de alto padrão. Nesse contexto, é realizada uma abordagem sobre sustentabilidade, automação residencial, legislação e normas técnicas aplicados à eficiência energética. Aplicou-se o RTQ-R a uma residência modelo de alto padrão, utilizando a “Planilha de Cálculo do Desempenho da UH - Método Prescritivo”, desenvolvida pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética de Edificações - CB3E. Os resultados possibilitaram a análise do nível de eficiência energética da UH e a classificação do ambiente de acordo com o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), identificando, também, ações que podem contribuir para melhorar o desempenho energético da unidade e subsidiar avaliações futuras no âmbito da Etiquetagem de Edificações. Análises referentes à automação residencial e normatização aplicada à residência modelo também foram feitas, visando apresentar possíveis melhorias no RTQ-R e na residência.

Palavras-chave: RTQ-R, casa eficiente, etiquetagem residencial, uso racional de energia, sustentabilidade.

ABSTRACT

Population and economic growth, coupled with the technological advances achieved in the last decades, makes the discussion of how much impact from human exploitation can the environment sustain increasingly relevant. Demand for energy efficiency in productive processes, products and services are accelerating. This paper presents concepts, rules, policies and programs that have energy efficiency with the goal of evaluating the applicability of the Technical Regulations of Quality for Efficiency Levels in Residential Buildings (RTQ-R in Portuguese) in a single-family high-end unit. In this context, an approach to sustainability, residential automation, legal and technical requirements applied to energy efficiency was developed. RTQ-R was applied to a high-end unit using the “Spreadsheet for Calculating the Performance of the Residential Unit – Prescriptive Method”, developed by the Brazilian Center for Energy Efficiency of Buildings (CB3E in Portuguese). The results obtained were used to analyze the energy efficiency of the residential unit and the environmental rating according to the Brazilian Program of Labeling (PBE in Portuguese), identifying also actions that may contribute to improve the energy performance of the unit and subsidize future evaluations of Building Labeling. Analyzes of residential automation and regulations applicable to the model unit were also carried out, to present possible improvements to RTQ-R and to the unit.

Keywords: RTQ-R, efficient house, residential labeling, rational use of energy, sustainability.

Sumário

RESUMO	5
ABSTRACT	6
1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Caso-Exemplo: Casa Eficiente	14
1.2. Objetivos	16
1.3. Estrutura do Trabalho	17
2. A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO CONTEXTO RESIDENCIAL BRASILEIRO	18
2.1. Definições	18
2.2. Regulamentação	19
2.2.1. Regulamentação em Eficiência Energética em Edificações	21
2.3. O Regulamento Técnico Da Qualidade Para Edificações Residenciais	25
2.3.1. Procedimento Para Determinação da Eficiência	25
2.3.1.1. Cálculo do <i>Equivalente Numérico da Envoltória</i>	27
2.3.1.2. Cálculo do <i>Equivalente Numérico do Sistema de Aquecimento de Água</i>	29
2.3.1.3. Cálculo das <i>Bonificações</i>	30
3. ALGUMAS NORMAS REFERENTES À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS	32
3.1. Sistema de Gestão Ambiental	32
3.2. Desempenho Térmico de Edificações	32
3.3. Desempenho de Edificações Residenciais	33
3.4. Iluminação Natural	34
4. AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL	35
5. ESTUDO DE CASO	40
5.1. Introdução	40
5.2. Estudo de caso – Aplicação do RTQ-R a um Modelo de UH de Alto Padrão	41
5.2.1. Método	43
5.3. Análise dos Resultados	44
5.3.1. Aplicabilidade do RTQ-R	47
5.3.2. Análise Referente aos Sistemas de Automação	51
5.3.3. Análise Referente às Normas Técnicas	51
5.3.4. Conclusões Finais do Estudo	52
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
ANEXO I: Resultados Obtidos Pela <i>Planilha de Cálculo do Desempenho da UH - Método Prescritivo</i>	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumos setoriais finais de energia elétrica referentes a 2012 (EPE, 2013b).	11
Figura 2 - Consumo por uso final em residências (Lamberts, 2014).....	13
Figura 3 - Vista externa da Casa Eficiente (fachada Norte) (LabEEE, 2010).....	15
Figura 4 - Vista externa Casa Eficiente (fachada Sul) (UFSC; Eletrobrás; Procel; MME, 2008)	16
Figura 5 - Regulamentação em Eficiência Energética no Brasil.	19
Figura 6 - Etiqueta do Programa de Etiquetagem de Edifícios Comercial, de Serviços e Públicos (Eletrobrás 2. , 2013)	23
Figura 7 - Etiquetas do Programa de Etiquetagem de Edifícios Residenciais (Eletrobrás 2. , 2013)	23
Figura 8 - Requisitos do RTQ-R.....	27
Figura 9 - Exemplos de sistemas de automação residencial.	36
Figura 10 - Fachada leste da UH de alto padrão escolhida.	41
Figura 11 - Fachada oeste da UH de alto padrão escolhida.	41
Figura 12- Planta do modelo de UH de alto padrão escolhida para o estudo de caso.	42
Figura 13 - Estrutura das paredes da UH.	45
Figura 14 - Janela de abrir 90° (INMETRO, 2010).	45
Figura 15 - Classificação final da UH Alto Padrão.	46
Figura 16 – Exemplo de aquecedor a gás com ENCE A e de bomba de calor com COP > 3.	50
Figura 17 - Exemplo de sistema de aquecimento solar de água para piscina.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo e número de consumidores do Distrito Federal (EPE, 2013a).	12
Tabela 2 - Tipos de etiqueta concedida (Eletrobrás 2. , 2013).....	24
Tabela 3 - Equivalente Numérico (EqNum) para cada nível de eficiência (INMETRO, 2010).	26
Tabela 4 - Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida (INMETRO, 2010).	26
Tabela 5 - Coeficientes da Equação 1 (INMETRO, 2010)	27
Tabela 6 - Equivalente numérico da envoltória para verão para ZB 4 (INMETRO, 2010).....	47
Tabela 7 - Equivalente numérico da envoltória para inverno para ZB 4 (INMETRO, 2010)..	47
Tabela 8 - Equivalente numérico da envoltória se refrigerada artificialmente para ZB 4 (INMETRO, 2010).....	47
Tabela 9 - Classificação resultante da envoltória para cada APP.....	48

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APP – Ambiente de Permanência Prolongada
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CB3E – Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
CFTV – Circuito Fechado de TV
CGIEE – Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
CMMAD – Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CONPET – Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e Gás Natural
COP – Coeficiente de Performance
CT – Capacidade Térmica
ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras
ELETROSUL – Centrais Elétricas Brasileiras Sul
ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
ISO – International Organization for Standardization - Organização Internacional para Padronização
LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LMBEE – Laboratório de Monitoramento Bioclimático e Eficiência Energética
MME – Ministério de Minas e Energia
NBR – Norma Brasileira
OI3E - Organismo de Inspeção de Eficiência Energética em Edificações
PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem
PETROBRÁS – Petróleo Brasileiro S. A.
PNEf – Plano Nacional de Eficiência Energética
PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROESCO – Programa de Apoio a Projetos de Eficiência Energética
RTQ-C – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
ROL – Receita Operacional Líquida
R3E – Rede Eficiência Energética em Edificações
SC – Santa Catarina
SGA – Sistema de Gestão Ambiental
SGE – Sistema de Gestão da Energia
TV – Televisão
U – Transmitância térmica
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
UH – Unidade Habitacional Autônoma
ZB – Zona Bioclimática

1. INTRODUÇÃO

A relação do homem com a natureza teve uma profunda transformação no período da Revolução Industrial, por volta de 1880. Isso pois o homem passou a utilizar fontes energéticas diversificadas para a produção de insumos. Desde então, o desenvolvimento econômico passou a ser fundamentado em novos processos produtivos e na formulação tecnológica de produtos diferenciados, em grande parte baseados na exploração dos recursos naturais e de forma não sustentável.

Atualmente, ainda considera-se que tanto as fontes quanto as tendências atuais do uso de energia continuam não sendo sustentáveis. O uso mundial de energia aumentou dez vezes desde 1900, e a maior parte desta energia é proveniente de fontes não renováveis. No Brasil, esse grande crescimento no consumo de energia também é fato: o uso total de energia cresceu cerca de 250% no período de 1975 a 2000, aumento provocado, principalmente, pela rápida industrialização e pelos crescentes serviços energéticos residenciais e comerciais (LabEEE, 2010).

A partir de dados referentes ao ano de 2012, verifica-se que grande parte do consumo de energia elétrica no país ocorre em edificações (47,6%). Destas, destacam-se as edificações residenciais, responsáveis por 23,6% do consumo de eletricidade, conforme pode ser visto na Figura 1 (EPE, 2013b). A energia utilizada nas edificações atende equipamentos que incluem sistemas de iluminação, refrigeração e aquecimento, eletrodomésticos e outros dispositivos.

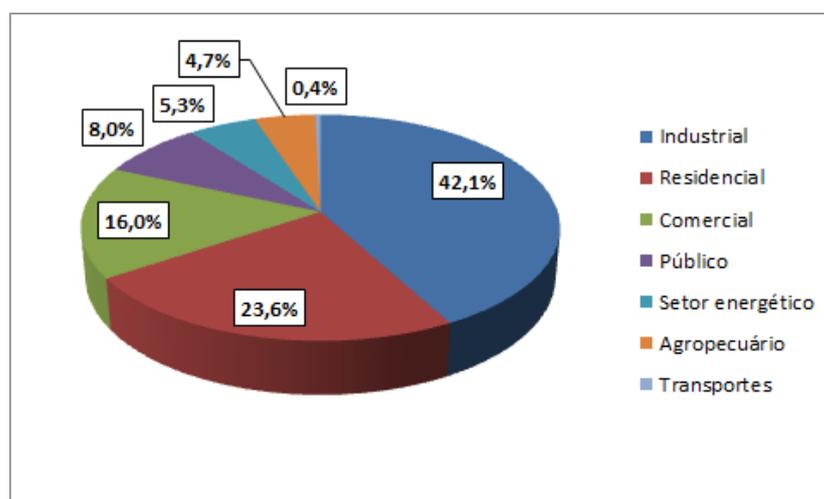


Figura 1 - Consumos setoriais finais de energia elétrica referentes a 2012 (EPE, 2013b).

No ano de 2012, o crescimento do consumo de energia elétrica no Distrito Federal, em GWh, na área comercial foi 4,9% e na área residencial foi de 3,4%, representando cerca de 64,7% do total consumido. Nesse mesmo período, o número de consumidores comerciais foi de 102.508 e de consumidores residenciais de 791.300, o que acarretou em um crescimento de

1,6% e 3,8%, respectivamente. O somatório de consumidores dessas áreas equivale a 98,2% do total de consumidores no Distrito Federal, conforme verificado na Tabela 1 (EPE, 2013a).

Tabela 1 - Consumo e número de consumidores do Distrito Federal (EPE, 2013a).

	2008	2009	2010	2011	2012	Δ% (2012/11)	Part. % (2012)
Consumo (GWh)							
Total	4921	5246	5602	5918	6181	4,5	100
Residencial	1785	1879	1967	2005	2074	3,4	33,6
Industrial	550	580	634	675	733	805	11,9
Comercial	1391	1538	1654	1834	1925	4,9	31,1
Rural	110	112	124	131	139	5,6	2,2
Poder público	534	517	548	570	596	4,7	9,6
Iluminação pública	271	301	345	364	385	5,8	6,2
Serviço público	275	313	326	334	325	-2,6	5,3
Consumo próprio	6	5	5	4	4	0,4	0,1
Número de consumidores (unidades)							
Total	794193	826692	851792	880067	910920	3,5	100
Residencial	700809	720960	740264	762414	791300	3,8	86,9
Industrial	1489	1677	1689	1736	1731	-0,3	0,2
Comercial	81624	89911	95169	100902	102508	1,6	11,3
Rural	5991	9240	9497	9561	9793	2,4	1,1
Poder público	3999	4600	4818	5097	5226	2,5	0,6
Iluminação pública	19	19	19	19	19	0	0
Serviço público	212	233	287	288	293	1,7	0
Consumo próprio	50	52	49	50	50	0	0

A distribuição do consumo residencial no Brasil e por região pode ser observada na Figura 2.

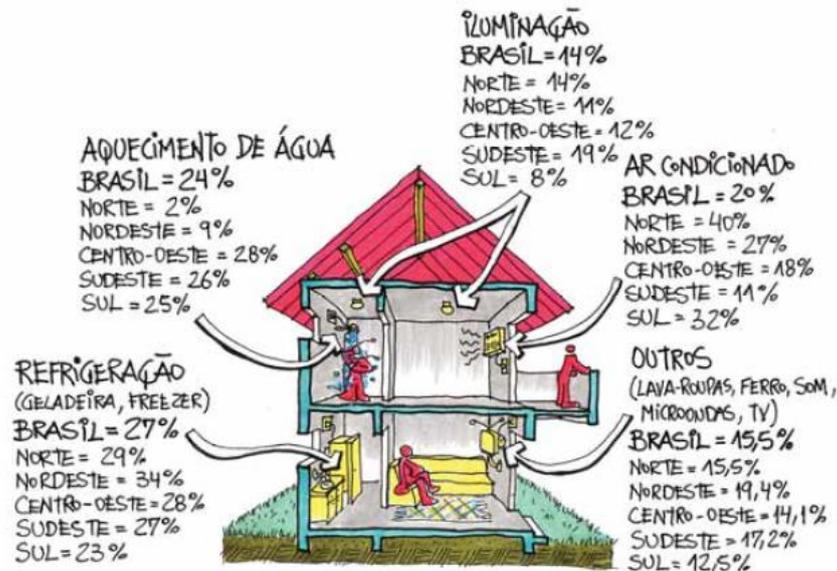


Figura 2 - Consumo por uso final em residências (Lamberts, 2014).

De posse de todos estes dados, pode-se inferir que uma construção que possua adequação climática, uso de iluminação natural sempre que possível e estratégias de aquecimento e resfriamento, pode reduzir significativamente sua demanda energética. Em um cenário onde a demanda é crescente devido, principalmente, ao aumento populacional, a eficiência energética pode amenizar o efeito de aumento de carga e torna-se, portanto, indispensável.

Assim sendo, e considerando o atual padrão de desenvolvimento econômico e os impactos decorrentes do crescimento populacional sobre o meio ambiente, é necessário buscar alternativas sustentáveis para a exploração dos recursos naturais. O entendimento do conceito de sustentabilidade como uma forma de desenvolvimento econômico, que emprega os recursos naturais e o meio ambiente para benefício das gerações futuras, pode ser aplicado também na construção. Isso torna o uso eficiente da energia uma das principais dimensões de *sustentabilidade*¹ a serem obtidas no espaço habitado, junto ainda com *conforto ambiental*² e *eficiência energética*³. Assim, edificações podem ser utilizadas como instrumento para a disseminação de tais conceitos (LabEEE, 2010).

¹ Na sua essência, “o desenvolvimento sustentável é um processo de mudança no qual a exploração dos recursos, o direcionamento dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional estão em harmonia e reforçam o atual e futuro potencial para satisfazer as aspirações e necessidades humanas”, sem comprometer as necessidades das futuras gerações. (Relatório Brundtland, “Nosso Futuro Comum”, 1987 - CMMAD, 2013).

² “O conforto ambiental pode ser entendido como um conjunto de condições ambientais que permitem ao ser humano sentir bem estar térmico, visual, acústico e antropométrico, além de garantir a qualidade do ar e o conforto olfativo.” (Lamberts, 2014).

³ Na arquitetura, eficiência energética “pode ser entendida como um atributo inerente à edificação representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia”. (Lamberts, 2014).

Ainda, é possível utilizar *automação residencial* para uma maior economia de energia. As tecnologias de automação são consideradas como sistemas automáticos que substituem trabalho humano, de modo a facilitar ações a serem realizadas, tornando-as mais rápidas e, ou mais eficientes economicamente. Elas começaram a ser utilizadas primordialmente em ambientes industriais e prediais, de modo a proporcionar benefícios como redução de custos e gestão de recursos da edificação.

Devido ao alto consumo de energia no setor de edificações, regulamentos e certificações acerca do desempenho energético de edifícios tem se tornado cada vez mais presente na realidade de vários países. No Brasil, o Ministério de Minas e Energia e a Eletrobrás, em parceria com o INMETRO e por meio do Procel Edifica, no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), promoveram a elaboração do Regulamento Técnico da Qualidade, para a etiquetagem voluntária do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C), em 2009. Posteriormente, em portaria de setembro de 2010, foi publicado o Regulamento para Edifícios Residenciais (RTQ-R) (MME, 2011).

Da parceria com o Inmetro, nasceu o Programa Nacional de Etiquetagem de Edificações, ou PBE Edifica, que define os procedimentos necessários para que as edificações brasileiras incorporem continuamente conceitos de sustentabilidade na sua construção ou reforma (pela escolha de materiais ou técnicas eficientes) e também durante o seu uso/operação. A etiqueta gerada é chamada ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia).

Espera-se que os RTQ's sirvam como um importante instrumento para o consumo eficiente de energia nas edificações, promovendo economia e benefícios para toda a sociedade, haja vista que o potencial técnico de economia em edificações existentes é estimado em 25%, enquanto que em prédios novos que adotam táticas de eficiência energética esse valor pode alcançar até 50% (Eletrobrás 2. , 2013).

O processo de etiquetagem de edificações é voluntário, mas o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) já prevê níveis mínimos de eficiência e desempenho em novas edificações e a compulsoriedade da etiquetagem para prédios públicos até 2020, comerciais e de serviços até 2025 e residenciais até 2030 (Eletrobrás 2. , 2013).

1.1. Caso-Exemplo: Casa Eficiente

A Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), juntamente com Eletrobrás e a Eletrosul, com o apoio do programa Procel Edifica, construiu a chamada Casa Eficiente a fim de demonstrar algumas soluções que beneficiam o uso eficiente da energia elétrica e da água em edificações residenciais, diminuindo significativamente desperdícios e impactos

ambientais. A Casa Eficiente foi inaugurada em Florianópolis (SC) e aberta ao público em 29 de março de 2006. (LabEEE, 2010).

A casa foi projetada para atender uma família de quatro pessoas, e possui uma área de aproximadamente 206 m², com dois quartos, uma sala de estar e jantar, uma cozinha, uma área de serviço coberta, um banheiro e uma área para recepção do público, utilizando os requisitos de consumo energético e sustentável (Eletrosul, 2010). Esse foi o primeiro projeto a conseguir as três etiquetas com nível A de Eficiência em Conservação de Energia residencial do País, avaliada dentro do Programa Brasileiro de Etiquetagem do Inmetro, nas etapas de projeto, simulação e edifício construído (Eletrobras, 2013).

Algumas soluções de eficiência e sustentabilidade presentes na casa são (LabEEE, 2010):

- Aproveitamento de ventilação e de luz natural em substituição ao uso da refrigeração e da iluminação artificial;
- Utilização de placas coletoras e painéis fotovoltaicos para aquecimento de água e geração de eletricidade;
- Uso eficiente de água, com reaproveitamento água da chuva para fins não potáveis (máquina de lavar roupas, vaso sanitário, tanque e torneira externa);
- Sistema de reutilização de água, com utilização de raízes de plantas para o tratamento biológico.



Figura 3 - Vista externa da Casa Eficiente (fachada Norte) (LabEEE, 2010).

O projeto da Casa Eficiente ainda apresenta outros aspectos como (Eletrosul, 2010):

- O melhor emprego das condições climáticas do local, a fim de ter o aproveitamento das radiações solares, temperatura e umidade do ar;

- Utilização de sistemas alternativos para o resfriamento e aquecimento do ambiente;
- Utilização de telhados verdes;
- O uso de materiais locais, dando preferência aos materiais renováveis e que causem o menor impacto ambiental;
- Criação de um projeto paisagístico para conceber um ambiente e um microclima agradável, dando prioridade a plantação de espécies nativas da Mata Atlântica em processo de extinção;
- Aplicação de peças e linhas econômicas nas instalações hidráulicas, para ter o melhor racionamento de água;
- O uso de rampas para facilitar a visita do público e proporcionar acessibilidade a todos os ambientes.



Figura 4 - Vista externa Casa Eficiente (fachada Sul) (UFSC; Eletrobrás; Procel; MME, 2008)

1.2. Objetivos

a) Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a aplicabilidade da metodologia do Regulamento Técnico da Qualidade aplicado a Edificações Residenciais (RTQ-R) em um modelo de construção residencial unifamiliar de alto padrão.

b) Objetivos específicos

- Apresentar um breve histórico referente à eficiência energética em edificações residenciais no Brasil, normas aplicáveis a este tema e o conceito de automação residencial;
- Aplicar o método prescritivo do RTQ-R para Unidades Habitacionais Autônomas do programa PROCEL Edifica a um modelo de residência unifamiliar de alto padrão, como forma de um estudo de caso;
- Propor revisões metodológicas no RTQ-R como forma de melhorar a eficiência energética das edificações residenciais por meio da integração de requisitos de sustentabilidade e redução do impacto ambiental;
- Identificar medidas que possam melhorar o desempenho energético da habitação, sistematizando os procedimentos para análises futuras.

1.3. Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em seis capítulos e um anexo. No primeiro capítulo é apresentada a introdução, que contextualiza o tema que será abordado, os objetivos gerais, específicos e a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo conceitua-se eficiência energética, apresenta-se um histórico sobre legislação em eficiência energética no Brasil, os programas nacionais de conservação de energia e explica-se a aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R).

No terceiro capítulo é apresentado o estado da arte do desenvolvimento de normas técnicas relacionadas à eficiência energética e edificações.

No quarto capítulo conceitua-se Automação Residencial e são apresentados alguns sistemas que poderiam estar presentes em uma UH de alto padrão.

O quinto capítulo apresenta o Estudo de Caso, em que é realizada a aplicação do RTQ-R a um modelo de UH de alto padrão, seus resultados e análises.

Por fim, o sexto capítulo contém as conclusões e considerações finais e perspectivas para trabalhos futuros.

2. A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO CONTEXTO RESIDENCIAL BRASILEIRO

2.1. Definições

A eficiência energética compreendida em um processo pode ser avaliada em termos da Primeira ou da Segunda Lei da Termodinâmica⁴. A Primeira Lei define que em um sistema isolado, a energia total é constante e já a Segunda Lei enuncia que em um sistema isolado, a entropia tende a um máximo (Machado, 1998). Por meio da Primeira Lei, se tem que a eficiência é a razão entre a energia de saída do processo e a energia de entrada. Em contrapartida, a eficiência conforme a Segunda Lei baseia-se, por definição, na razão entre a energia mínima teoricamente necessária para a realização de um processo e a energia efetivamente usada no processo.

O Ministério do Meio Ambiente conceitua eficiência energética como a relação entre a quantidade de energia utilizada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização, ou seja, a melhor utilização da energia. Já no Plano Nacional de Energia 2030, o conceito de eficiência energética é definido como medidas de redução de energia consumida, sem perda na qualidade, e substituição de fontes de energia, com ganhos sistêmicos de eficiência.

A conservação de energia também é um fator a ser considerado. O seu conceito, segundo a Eletrobrás, é definido como a utilização da energia da melhor maneira possível, sem que se tenha que desfazer do conforto e dos benefícios que ela proporciona. Ou seja, alcançar uma redução no consumo, diminuindo os custos, sem perder a eficiência e qualidade dos serviços.

A exploração racional dos recursos naturais pode ser obtida através da conservação da energia elétrica. Isto é, conservar a energia elétrica ou suprimir seu desperdício é o meio de produção mais econômico que existe e não polui o meio ambiente. E também ao ser eficiente em relação ao consumo de energia, se contribui para o desenvolvimento sustentável do país. É a forma mais efetiva de ao mesmo tempo reduzir os custos e os impactos ambientais locais e globais (Hinrichs et al, 2010).

A grande vantagem da utilização da eficiência energética em processos é que, quase sempre, ela é mais barata do que a própria produção de energia em si. Em outras palavras, é mais barato economizá-la do que fornecê-la. Inicialmente, investir em tecnologias e equipamentos eficientes se tornará mais dispendioso. Mas, uma vez investido, o retorno econômico é certo.

⁴ A Primeira Lei também pode ser enunciada da seguinte forma: “a energia não pode ser criada nem destruída, durante um processo, ela pode apenas mudar de forma”. Já a Segunda Lei, de acordo com o enunciado de Kevin-Plank, cita que “nenhuma máquina térmica pode ter uma eficiência térmica de 100%”. (Boles e Çengel, 2013)

2.2. Regulamentação

A fim de promover a conservação e a eficiência energética por meio de programas, leis e decretos, o Governo Brasileiro, juntamente com outros órgãos competentes (MME, Eletrobrás, Petrobras, Aneel e Inmetro), desenvolveu mecanismos que impulsionaram o melhor aproveitamento de energia e ações de combate ao desperdício. A cronologia geral desses programas pode ser verificada na Figura 5.

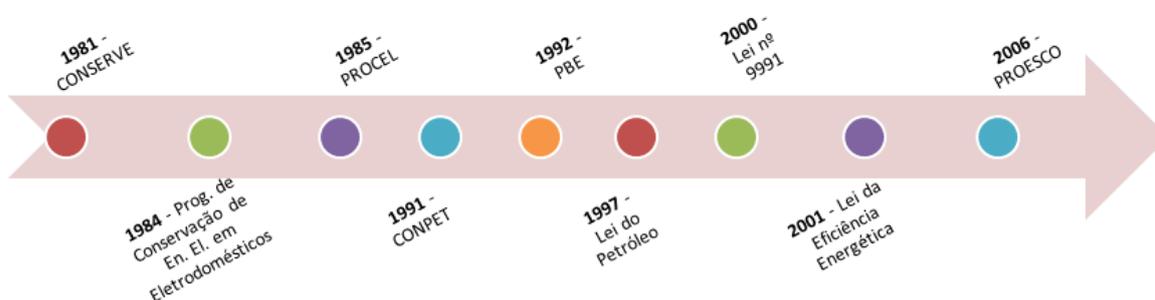


Figura 5 - Regulamentação em Eficiência Energética no Brasil.

O Programa CONSERVE foi criado por meio da Portaria MIC/GM46, em 1981 e promove a conservação de energia em setores industriais, estimula uma produção mais eficiente dos produtos e incentiva a substituição de fontes energéticas importadas para as fontes alternativas (MME, 2011).

o Programa de Conservação de Energia Elétrica em Eletrodomésticos do Instituto Brasileiro de Metrologia, Normalização e Qualidade (Inmetro) teve início em 1984 e visava à redução de consumo de energia elétrica em geladeiras, congeladores e ar condicionados domésticos. Em 1992, o programa teve alteração de nome, e passou a ser o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que interage com os consumidores dando informações sobre produtos que foram avaliados e selecionados, pelo quesito de eficiência energética, possibilitando maior economia no consumo de energia. Seu principal produto são etiquetas informativas que alertam o consumidor quanto à eficiência de alguns dos principais eletrodomésticos nacionais (MME, 2011).

Em dezembro de 1985, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) foi criado sob a coordenação do Ministério de Minas e energia (MME), com operação realizada pela Eletrobrás. O Programa tem por objetivo a promoção do uso eficiente da energia elétrica com a finalidade de acabar com o desperdício e reduzir os custos e

investimentos setoriais por meio de subprogramas que atuam em setores de comércio, saneamento, indústrias, edificações, iluminação pública, entre outros (Souza et al, 2009).

Em Julho de 1991 foi instituído o CONPET – Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural, por Decreto Presidencial⁵. Nesse mesmo instrumento, as competências do PROCEL foram revisadas, pois ambos os programas têm como finalidade desenvolver e integrar ações que visem à racionalização do uso da energia (MME, 2011).

Em agosto de 1997 foi criada a Lei nº 9.478/1997, também conhecida como Lei do Petróleo, que dispõe sobre a Política Energética Nacional e cria a ANP. Essa Lei estabelece que “um dos princípios e objetivos da Política Energética Nacional são as políticas nacionais para o aproveitamento racional das fontes de energia, visando, entre outros, o objetivo de proteger o meio ambiente e promover a conservação de energia”. A referida Lei também determina que cabe à ANP o cumprimento de boas práticas de conservação e uso do petróleo e seus derivados, bem como a preservação do meio ambiente (MME, 2011).

Com a Lei nº 9.991, promulgada em 24 de julho de 2000, determinou-se que 0,5% da receita operacional líquida (ROL) das concessionárias distribuidoras de energia elétrica devem ser destinados a projetos de eficiência energética (MME, 2011).

Já a Lei nº 10.295, promulgada em 17 de Outubro de 2001 pelo Decreto Nº 4.059, conhecida popularmente como a Lei da Eficiência Energética, estabelece a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e os limites máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de equipamentos elétricos que são vendidos no país. Ainda, estabelece o desenvolvimento de níveis de eficiência através do programa de metas, característico de cada equipamento. Também são estabelecidos diferentes limites de tempo para fabricação e importação, e para venda. Vale salientar que o Poder executivo é responsável por adotar meios para promover a eficiência energética nas edificações construídas no Brasil (MME, 2011).

O Decreto nº 4.059, de Dezembro de 2001, regulamenta a Lei de Eficiência Energética, por meio da determinação de procedimentos para o estabelecimento dos indicadores e dos níveis de eficiência energética. O Decreto institui o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE, responsável por promover ações para implementar a aplicação da Lei de eficiência energética.

Em 19 de maio de 2006 foi aprovado o Programa de Apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO), destinado a financiar projetos de eficiência energética, por intermédio do BNDES, de modo que o ele apoie projetos que colaborem para a economia de energia, com atuação em iluminação, motores, aperfeiçoar ar-condicionado e ventilação, refrigeração e resfriamento, distribuição e gerenciamento de energia, entre outros. O

⁵ Disponível em:

<<http://legis.senado.leg.br/legislacao/ListaPublicacoes.action?id=135214&tipoDocumento=DEC&tipoTexto=PU B>>, acesso em 14/06/2014, 19h07.

financiamento beneficia usuários que tenham interesse em financiar a compra de equipamentos eficientes, como também estudos e projetos; obras e instalações; máquinas e equipamentos; serviços técnicos especializados; sistemas de informação, monitoramento, controle e fiscalização (Souza et al, 2009).

2.2.1.Regulamentação em Eficiência Energética em Edificações

O Governo Brasileiro sancionou a Lei 10.295, conhecida como Lei da Eficiência Energética e principal marco regulatório da matéria no País, que dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia, e determina ao Poder Executivo o desenvolvimento de mecanismos que promovam a eficiência energética no País. O decreto 4.059/2001, que regulamenta a Lei 10.295, institui o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE, no âmbito do Ministério de Minas e Energia, e estabelece que:

- sejam desenvolvidos mecanismos para determinar os níveis mínimos de eficiência energética;
- constitua um Grupo Técnico no MME que adote procedimentos para avaliação da eficiência energética das edificações e crie indicadores técnicos referenciais do consumo de energia destas edificações (MME, 2011).

Como o Brasil possui consumo significativo de energia elétrica em edificações residenciais, comerciais e públicas, criou-se o programa Procel Edifica, com o objetivo de estimular o uso eletricidade eficiente nas edificações, de forma a diminuir os desperdícios de energia, de materiais, e os impactos à natureza (Eletrobrás, 2013). O programa atua em seis diferentes vertentes: “Capacitação Humana”, “Tecnologias”, “Disseminação”, “Subsídios à Regulamentação”, “Habitação e Eficiência Energética” e “Suporte”.

O programa os objetivos de:

- Reduzir o consumo elétrico nas edificações, através de investimento e qualificação técnica e profissional, estimulando a pesquisa e elaborando soluções para realidade brasileira;
- Conseguir o maior número de parceiros ligados à construção civil, para promover a melhor qualidade e a eficiência das edificações brasileiras;
- Promover conceitos e práticas sobre bioclimatismo aos cursos de Engenharia e Arquitetura, a fim de inserir o tema conforto ambiental e eficiência energética, ajudando na formação de novos profissionais empenhados no desenvolvimento sustentável do País;

- Favorecer a implementação do Regulamento de Lei de Eficiência Energética (Lei 10.295/2001) sobre Edificações Brasileiras, como também orientar agentes envolvidos e técnicos de Prefeituras, para adequar seus Códigos de Obras e Planos Diretores (Eletrobrás, 2013).

O MME e a Eletrobrás, em parceria com o INMETRO e por meio do Procel Edifica, no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) promoveram a elaboração do Regulamento Técnico da Qualidade, para a etiquetagem voluntária do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C), em 2009. Posteriormente, em portaria de setembro de 2010, foi publicado o Regulamento para Edifícios Residenciais (RTQ-R) (MME, 2011).

Da parceria com o MME o Inmetro, nasceu o Programa Nacional de Etiquetagem de Edificações, ou PBE Edifica, que define os procedimentos necessários para que as edificações brasileiras incorporem continuamente conceitos de sustentabilidade na sua construção ou reforma (pela escolha de materiais ou técnicas eficientes) e também durante o seu uso. A etiqueta gerada é chamada ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) (Figura 6 e Figura 7).

Os documentos RTQ-C e RTQ-R foram elaborados pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, da UFSC, e incluem três requisitos principais: o desempenho térmico da envoltória, a eficiência e potência instalada do sistema de iluminação e eficiência do sistema de condicionamento do ar. Como complemento, requisitos secundários podem elevar o nível de eficiência estabelecido pelos requisitos básicos, as chamadas “bonificações” e são tais como geração local de energia com uso de fontes renováveis, cogeração, uso racional de água e aproveitamento da luz natural (MME, 2011).

Espera-se que os RTQ’s sirvam como um importante instrumento para o consumo eficiente de energia nas edificações, promovendo economia e benefícios para toda a sociedade, haja vista que o potencial técnico de economia em edificações existentes é estimado em 25%, enquanto que em prédios novos que adotam táticas de eficiência energética esse valor pode alcançar até 50% (Eletrobrás 2. , 2013).

Esse processo de etiquetagem de edificações é voluntário, mas o PNEf já prevê níveis mínimos de eficiência e desempenho em novas edificações e a compulsoriedade da etiquetagem para prédios públicos até 2020, comerciais e de serviços até 2025 e residenciais até 2030 (Eletrobrás 2. , 2013).

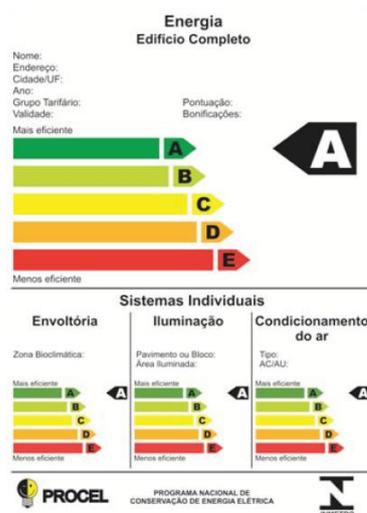


Figura 6 - Etiqueta do Programa de Etiquetagem de Edifícios Comercial, de Serviços e Públicos (Eletrobrás 2. , 2013)

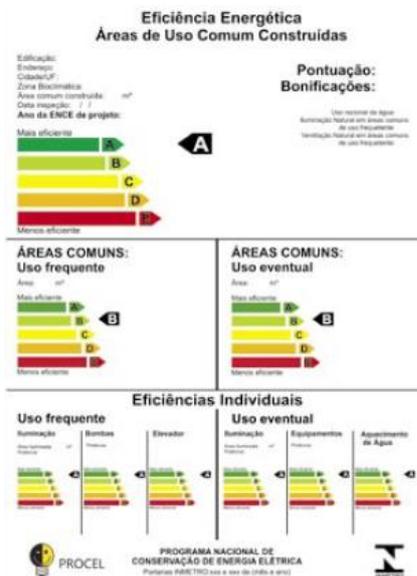
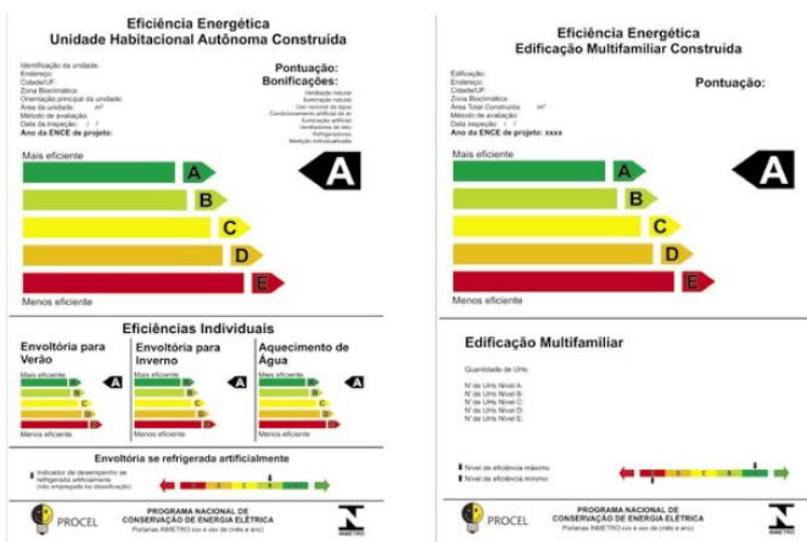


Figura 7 - Etiquetas do Programa de Etiquetagem de Edifícios Residenciais (Eletrobrás 2. , 2013)

A quantidade total de etiquetas a edificações concedidas encontra-se na Tabela 2:

Tabela 2 - Tipos de etiqueta concedida (Eletrobrás 2. , 2013)

ANO	Residencial – UH	Residencial Multifamiliar	Residencial – Área Comum	Comercial
2009	0	0	0	6
2010	219	5	1	18
2011	1	0	0	17
2012	884	8	2	15

No Quadro 1, são apresentados os principais resultados do Procel Edifica durante o ano de 2012.

Quadro 1 - Resultados do Procel Edifica em 2012 (Eletrobrás 2. , 2013).

Ações	Resultados
Capacitação	34 cursos de capacitação para a aplicação dos Regulamentos Técnicos de Avaliação do Nível de Eficiência Energética em Edificações (RTQ-C e RTQ-R); 621 profissionais capacitados.
Tecnologias	01 versão multizona do Programa de Simulação Termoenérgica de Edificações Domus Procel Edifica lançada; 01 curso utilizando a plataforma multizona realizado na PUC-PR; 14º lugar na competição Solar Decathlon Europe 2012, em Madrid, alcançado pelo protótipo brasileiro Ekó House.
Disseminação	01 hotsite da Rede Eficiência Energética de Edificações (R3E) desenvolvido no Procel Info; I-Star da Alliance to Save Energy na categoria destaques no cenário internacional da área de eficiência energética no evento 2012 Stars of Energy Efficiency Awards, em Washington DC, EUA.
Subsídios a regulamentação	01 núcleo embrionário do Centro Brasileiro de Eficiência Energética de Edificações – CB3E criado; 01 Plano de Contingência para a Compulsoriedade do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações – PBE desenvolvido; 01 Plano de Ação do Procel Edifica 2013-2015 atualizado; 01 acreditação do Primeiro Organismo de Inspeção de Eficiência Energética em Edificações para o escopo vinculado a Edifícios Residenciais – OI3E; 884 etiquetas concedidas para a classe residencial Unidade Habitacional Autônoma - UH; 08 etiquetas concedidas para a classe residencial multifamiliar; 02 etiquetas concedidas para a classe residencial – área comum; 15 etiquetas concedidas para a classe comercial.
Divulgação	05 participações em congressos, seminários, simpósios, fóruns técnicos; 03 apresentações para associações de classe e comitiva internacional; 05 entrevistas concedidas.

2.3. O Regulamento Técnico Da Qualidade Para Edificações Residenciais

A Portaria n.º 449, de 25 de novembro de 2010, aprovou o Regulamento Técnico da qualidade - RTQ para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, que especifica requisitos técnicos, bem como os métodos para classificação de edificações residenciais quanto à eficiência energética e define requisitos para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares.

A avaliação das edificações residenciais baseia-se, principalmente, no desempenho térmico da envoltória – as fachadas e coberturas –, com ênfase na iluminação e ventilação naturais, e na eficiência do sistema de aquecimento de água. Considera-se que quando um projeto é concebido adequadamente desde o início, pode-se alcançar cerca de 50% de economia, e quando o projeto passa por reformas, há um potencial de 30 a 50% de economia⁶.

Considerando o foco nas edificações residenciais unifamiliares, não serão apresentados os dados referentes às edificações multifamiliares e áreas comuns.

2.3.1. Procedimento Para Determinação da Eficiência

No caso de Unidades Habitacionais Autônomas, que equivalem às edificações unifamiliares, avaliam-se os requisitos relativos ao desempenho térmico da envoltória, à eficiência do(s) sistema(s) de aquecimento de água e a eventuais bonificações. De acordo com a pontuação final obtida, atribui-se à edificação uma classificação que varia do nível A (mais eficiente) ao E (menos eficiente). O nível de eficiência de cada requisito equivale a um número de pontos correspondentes, em escala ou não, atribuídos conforme as Tabelas 3 e 4 (INMETRO, 2010).

A classificação do nível de eficiência de unidades habitacionais autônomas (UHs) é o resultado da distribuição dos pesos (Equação 1), utilizando os coeficientes da Tabela 5, de acordo com a região geográfica em que a edificação se localiza.

⁶ Informação disponível em: <http://www.orcamentofederal.gov.br/eficiencia-do-gasto/ETIQUETAGEM_DE_EFICIENCIA_ENERGETICA_DE_EDIFICIOS.pdf>, acesso em 12/06/2014, 20h30.

Tabela 3 - Equivalente Numérico (EqNum) para cada nível de eficiência (INMETRO, 2010).

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

Tabela 4 - Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida (INMETRO, 2010).

Nível de Eficiência	Pontuação (PT)
A	$PT \geq 4,5$
B	$3,5 \leq PT < 4,5$
C	$2,5 \leq PT < 3,5$
D	$1,5 \leq PT < 2,5$
E	$PT < 1,5$

Equação 1 - Pontuação total do nível de eficiência da UH (INMETRO, 2010)

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

Onde:

PT_{UH} : pontuação total do nível de eficiência da unidade habitacional autônoma;

a : coeficiente da Tabela 5 adotado de acordo com a região geográfica (mapa político do Brasil) na qual a edificação está localizada;

$EqNumEnv$: equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional autônoma quando ventilada naturalmente;

$EqNumAA$: equivalente numérico do sistema de aquecimento de água;

$Bonificações$: pontuação atribuída a iniciativas que aumentem a eficiência da edificação.

Tabela 5 - Coeficientes da Equação 1 (INMETRO, 2010)

Coeficiente	Região Geográfica				
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sul	Sudeste
a	0,95	0,90	0,65	0,65	0,65

Nota: O coeficiente da Tabela 2.3 deve ser alterado para o valor de 0,65, nas regiões Norte e Nordeste, sempre que houver um sistema de aquecimento de água projetado ou instalado.

Os equivalentes numéricos para os níveis de eficiência de cada requisito são obtidos na Tabela 3. O número de pontos obtidos na Equação 1 irá definir a classificação final da UH, de acordo com a Tabela 4.

Os critérios para avaliação do nível de eficiência energética das unidades habitacionais autônomas (UH) se dividem em três e serão discutidos nos tópicos 2.3.1.1, 2.3.1.2 e 2.3.1.3. Estes critérios referem-se a envoltória, sistema de aquecimento de água e bonificações.

Podem-se observar os requisitos do RTQ-R segundo os sistemas avaliados na Figura 8.

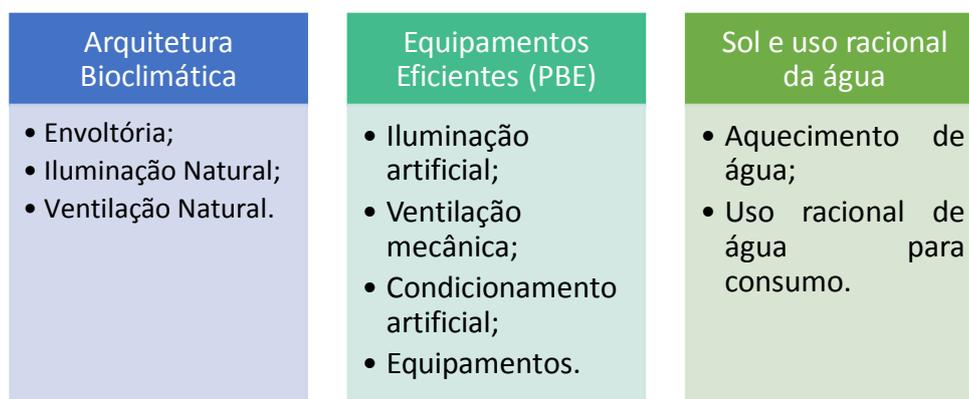


Figura 8 - Requisitos do RTQ-R⁷.

2.3.1.1. Cálculo do Equivalente Numérico da Envoltória

Primeiramente, os pré-requisitos da envoltória devem ser avaliados e calculados em cada ambiente separadamente. Informações detalhadas sobre os cálculos e considerações a

⁷ Disponível em: <http://www.orcamentofederal.gov.br/eficiencia-do-gasto/ETIQUETAGEM_DE_EFICIENCIA_ENERGETICA_DE_EDIFICIOS.pdf>, acesso em 12/06/2014, 20h30.

serem feitas podem ser obtidas diretamente pelo documento do RTQ-R. Estes pré-requisitos são:

- a) Transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar das superfícies;
- b) Ventilação natural;
- c) Iluminação natural.

Depois de feitas estas considerações, o procedimento para a determinação da eficiência da envoltória pode ser feita pelo método prescritivo ou de simulação (INMETRO, 2010). O primeiro 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. Já no segundo, o EqNumEnv é determinado por meio de simulação computacional e, para tanto, deve-se modelar a geometria da edificação sob avaliação e realizar simulações para duas condições: uma para a edificação quando naturalmente ventilada e outra para a edificação quando condicionada artificialmente, conforme requisitos citados no documento RTQ-R. Neste trabalho, será discutido apenas o método prescritivo.

A envoltória é caracterizada como um conjunto de planos que separam o ambiente interno do ambiente externo, tais como fachadas, empenas, cobertura, aberturas, assim como quaisquer elementos que os compõem. Não estão incluídos pisos, estejam eles ou não em contato com o solo (INMETRO, 2010).

O equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória a ser utilizado para o cálculo da pontuação geral da UH (Equação 1) deve ser o referente à eficiência quando naturalmente ventilada ou quando condicionada artificialmente. Essa última é de caráter informativo e a obtenção do nível A de eficiência neste item é obrigatória caso se deseje obter a bonificação de condicionamento artificial de ar (INMETRO, 2010).

O procedimento para obtenção do nível de eficiência da envoltória da UH quando naturalmente ventilada é (INMETRO, 2010):

1. Cálculo do indicador de graus-hora para resfriamento (GHR), em °C.h, de cada ambiente de permanência prolongada da UH através de equações de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação está localizada;
2. Cálculo do consumo relativo anual para aquecimento (C_A), em kWh/m².ano, de cada ambiente de permanência prolongada da UH através de equações, de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação está localizada;
3. Determinação do equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento (EqNumEnvAmbResfr) e do equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento (EqNumEnvAmbA) de cada ambiente de permanência

prolongada da UH de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação está localizada;

4. Determinação do equivalente numérico da envoltória da UH para resfriamento (EqNumEnvResfr) através da ponderação dos EqNumEnvAmbResfr, em kWh/m².ano, pelas áreas úteis dos ambientes avaliados (AUamb);
5. Determinação do equivalente numérico da envoltória da UH para aquecimento (EqNumEnvA) através da ponderação dos EqNumEnvAmbA pelas áreas úteis dos ambientes avaliados (AUamb);
6. Determinação do equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma.

2.3.1.2. Cálculo do *Equivalente Numérico do Sistema de Aquecimento de Água*

Esta seção descreve os critérios para avaliação da eficiência de sistemas de aquecimento de água. São avaliados os sistemas que serão entregues instalados pelo empreendedor. Sistemas de espera para futura instalação de sistemas de aquecimento de água não são considerados (INMETRO, 2010).

Os pré-requisitos para o sistema de aquecimento de água devem ser primeiramente calculados de forma que as tubulações para água quente devem ser apropriadas para a função de condução a que se destinam e devem atender às normas técnicas de produtos aplicáveis. Para reservatórios de água quente instalados em sistemas que não sejam de aquecimento solar deve-se comprovar que a estrutura do reservatório apresenta resistência térmica mínima de 2,20 (m²K)/W (INMETRO, 2010).

E como pré-requisito para os níveis A e B, o projeto de instalações hidrossanitárias deve comprovar que as tubulações metálicas para água quente possuem isolamento térmico com espessura mínima determinada pelas tabelas e equações presentes no documento do RTQ-R, de acordo com o comprimento da tubulação (INMETRO, 2010).

O sistema de aquecimento de água deve ter sua eficiência estabelecida por meio do equivalente numérico obtido na Tabela 3, utilizando resultados de um dos seguintes itens, todos com detalhamento presente no documento do RTQ-R (INMETRO, 2010):

- a) Sistema de aquecimento solar;
- b) Sistema de aquecimento a gás;
- c) Bombas de calor;
- d) Sistema de aquecimento elétrico;
- e) Caldeiras a óleo.

Nas regiões Norte e Nordeste, caso não exista sistema de aquecimento de água instalado na UH, deve-se adotar o equivalente numérico de aquecimento de água (EqNumAA) igual a 2, ou seja, nível D. Nas demais regiões, caso não exista sistema de aquecimento de água instalado na UH, deve-se adotar equivalente numérico de aquecimento de água (EqNumAA) igual a 1, ou seja, nível E. Isso pois caso o usuário queira aquecer a água para o banho fica restrito à instalação de chuveiro elétrico. O nível D atribuído às regiões Norte e Nordeste equivale ao nível máximo possível de ser atingido por sistemas de aquecimento elétrico. Nas demais regiões não é aceitável a ausência de sistema de aquecimento de água instalado na UH, portanto, nestes casos, é atribuído o menor nível possível (nível E) (INMETRO, 2010).

O nível de eficiência de sistemas mistos de aquecimento de água em uma mesma UH é (INMETRO, 2010):

- o maior dos equivalentes numéricos obtidos quando houver a combinação de sistemas de aquecimento solar com aquecimento a gás ou bomba de calor; e
- o equivalente numérico do sistema de aquecimento solar, quando este for combinado com aquecimento elétrico, desde que o aquecimento solar corresponda a uma fração solar mínima de 70%.

Para os demais casos de sistemas mistos de aquecimento de água, o nível de eficiência é a combinação das porcentagens de demanda de aquecimento de água de cada sistema multiplicado pelo seu respectivo equivalente numérico, de acordo com a equação presente no documento do RTQ-R. Por fim, a classificação geral é obtida por meio da Tabela 4.

2.3.1.3. Cálculo das *Bonificações*

Iniciativas que aumentem a eficiência da UH poderão receber até 1 ponto na classificação geral da UH somando os pontos obtidos por meio das bonificações. Para tanto, estas iniciativas devem ser justificadas e comprovadas. As bonificações, descritas nos itens a seguir e com detalhamento presente no documento do RTQ-R, são independentes entre si e podem ser parcialmente alcançadas (INMETRO, 2010):

- a) Ventilação natural;
- b) Iluminação natural;
- c) Uso racional de água;
- d) Condicionamento artificial de ar;

- e) Iluminação artificial;
- f) Ventiladores de teto;
- g) Refrigeradores;
- h) Medidores individuais.

A bonificação total alcançada é a somatória das bonificações obtidas em cada item, de acordo com a Equação 2.

Equação 2 – Bonificações (INMETRO, 2010)

$$\text{Bonificações} = b1 + b2 + b3 + b4 + b5 + b6 + b7 + b8$$

Onde:

- Bonificações: pontuação atribuída a iniciativas que aumentem a eficiência da edificação;
- b1: bonificação de ventilação natural, cuja pontuação varia de zero a 0,40 pontos;
- b2: bonificação de iluminação natural, cuja pontuação varia de zero a 0,30 pontos;
- b3: bonificação de uso racional de água, cuja pontuação varia de zero a 0,20 pontos;
- b4: bonificação de condicionamento artificial de ar, cuja pontuação varia de zero a 0,20 pontos;
- b5: bonificação de iluminação artificial, cuja pontuação varia de zero a 0,10 pontos;
- b6: bonificação de ventiladores de teto i, cuja pontuação obtida é zero ou 0,10 pontos;
- b7: bonificação de refrigeradores instalados, cuja pontuação obtida é zero ou 0,10 pontos; e
- b8: bonificação de medição individualizada, cuja pontuação obtida é zero ou 0,10 pontos.

3. ALGUMAS NORMAS REFERENTES À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

3.1. Sistema de Gestão Ambiental

A série ABNT NBR ISO 14000 abrange normas de cunho voluntário, baseadas em diversas ferramentas ambientais e tem como premissas básicas o cumprimento da legislação aplicável e a melhoria contínua por meio da implantação de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA). Essa série abrange normas de sistemas de gestão ambiental, rotulagem ambiental, avaliação do desempenho ambiental, avaliação do ciclo de vida e terminologia.

No contexto desse trabalho, abordam-se as normas referentes à rotulagem ambiental, que fornecem diretrizes para a criação do selo Procel de eficiência energética e das ENCEs. As normas classificam os rótulos em três tipos⁸:

- 1) Rótulos tipo I: são estabelecidos pela norma ABNT NBR ISO 14024:2004, que inclui a seleção de categorias de produtos, seus critérios ambientais e características funcionais dos produtos, para avaliar e demonstrar sua conformidade. Esta Norma também estabelece os procedimentos de certificação para a concessão do rótulo. Tem-se como exemplo neste caso o rótulo Anjo Azul.
- 2) Rótulos tipo II: são estabelecidos pela norma ABNT NBR ISO 14021:2013, que descreve uma metodologia de avaliação e verificação geral para autodeclarações ambientais e métodos específicos de avaliação e verificação para estas. Tem-se como exemplo os símbolos de reciclagem estampados em produtos e embalagens.
- 3) Rótulo tipo III: são estabelecidos pela ABNT NBR ISO 14025:2006 e trazem informações sobre dados ambientais de produtos, quantificados de acordo com um conjunto de parâmetros previamente selecionados e geralmente baseados na Avaliação do Ciclo de Vida. Neste caso, o selo Procel é um exemplo.

3.2. Desempenho Térmico de Edificações

O desempenho térmico de edificações está normalizado pela ABNT NBR 15220:2003 e divide-se em cinco partes:

Parte 1 – Definições, símbolos e unidades;

⁸ Disponível em: <<http://www.abntcatalogo.com.br/>>, acesso em 06/06/2014, 15h15.

Parte 2 – Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor 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 em regime estacionário pelo método fluximétrico.

A Parte 3 dessa norma é a mais importante no âmbito da temática discutida neste trabalho. Nela, considera-se a divisão do país em oito zonas bioclimáticas relativamente homogêneas quanto ao clima e, para cada uma destas zonas, há um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações através de sua melhor adequação climática. Graças a ela, a arquitetura bioclimática pode ser aplicada a edificações, ajudando-as a atingir maior eficiência energética graças ao respeito ao meio que a edificação está inserida e à análise de fatores climáticos. Com a consideração destes fatores, a edificação terá maior conforto térmico, minimizando o dispêndio de energia “artificial”.

A avaliação de desempenho térmico de uma edificação citada acima pode ser feita tanto na fase de projeto, quanto após a construção. Neste último caso, ela pode ser feita através de medições *in loco* de variáveis representativas do desempenho, enquanto no primeiro, pode ser feita por meio de simulação computacional ou por meio da verificação do cumprimento de diretrizes construtivas.

A cidade de Brasília, no Distrito Federal, localiza-se na Zona Bioclimática 4, e tem como principais recomendações construtivas o uso de aberturas médias, sombreamento necessário nas aberturas durante todo o ano, paredes pesadas e cobertura leve com isolamento térmico. Já as principais estratégias bioclimáticas para esta zona são o resfriamento evaporativo, a inércia térmica para resfriamento, a ventilação seletiva no verão, o aquecimento solar e a grande inércia térmica das vedações internas para o período frio (Lamberts, 2014).

3.3. Desempenho de Edificações Residenciais

A ABNT NBR 15575:2013, referente à Edificações Habitacionais – Desempenho, estabelece o desempenho mínimo obrigatório para alguns sistemas, ao longo da vida útil de um empreendimento. O conjunto normativo compreende seis partes (CBIC, 2013):

Parte 1 – Requisitos gerais: trata das interfaces entre os diferentes elementos da construção e do seu desempenho global e estabelece diretrizes para implantação das edificações habitacionais e indicações gerais sobre estabilidade, durabilidade, segurança no uso e ocupação, desempenho lúmico, e outras;

Parte 2 – Requisitos para os sistemas estruturais;

Parte 3 – Requisitos para os sistemas de pisos;

Parte 4 – Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;

Parte 5 – Requisitos para os sistemas de coberturas;

Parte 6 – Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Cada uma das partes da norma foi organizada por elementos da construção, percorrendo uma sequência de exigências relativas à segurança (desempenho mecânico, segurança contra incêndio, segurança no uso e operação), habitabilidade (estanqueidade, desempenho térmico e acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil) e sustentabilidade (durabilidade, manutenção e adequação ambiental). Vale frisar que o conjunto normativo aplica-se a edificações habitacionais com qualquer número e, quando necessário, apresenta as ressalvas necessárias no caso de exigências aplicáveis somente para edificações de até cinco pavimentos.

3.4. Iluminação Natural

Dada a importância da iluminação natural em projetos de edificações sustentáveis e eficientes, é necessário que haja uma normatização referente a este aspecto de modo a tornar sua aplicação mais eficiente. A ABNT NBR 15215:2005 é apresentada neste sentido e discorre acerca da iluminação natural em ambientes, de modo a se estimar a disponibilidade de luz natural em ambientes internos e externos. Está dividida em:

Parte 1 – Conceitos básicos e definições;

Parte 2 – Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural;

Parte 3 – Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos;

Parte 4 – Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição.

4. AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

As tecnologias de automação são consideradas como sistemas automáticos que substituem trabalho humano, de modo a facilitar ações a serem realizadas, tornando-as mais rápidas e, ou mais eficientes economicamente. Elas começaram a ser utilizadas primordialmente em ambientes industriais e prediais, de modo a proporcionar benefícios como redução de custos e gestão de recursos da edificação.

Com estes artifícios busca-se controlar condições climáticas, segurança e iluminação, oferecendo conforto, praticidade e outras facilidades ao usuário do sistema. Devido ao seu alto custo de implantação e ao fato de nem sempre promoverem economia de energia, os sistemas de automação não eram tão utilizados, sendo vistos muitas vezes como supérfluos. No entanto, graças à popularização destas tecnologias e aos avanços tecnológicos da mesma, a inserção destes recursos em diversos ambientes vem aumentando nas últimas décadas.

Em edificações residenciais, a automação (ou domótica, como também é conhecida) encontra um amplo mercado, pois é capaz de aumentar a qualidade de vida de seus ocupantes. Assim, necessidades de comunicação, segurança, conforto do usuário, controle e gerenciamento das instalações e também racionalização de consumo de energia e água podem ser administradas e ainda impactar positivamente no que tange a conservação do meio ambiente. O Quadro 2 mostra as principais diferenças entre automação residencial e predial.

Quadro 2 - Principais diferenças entre automação residencial e predial (Prudente, 2012).

	Automação predial	Automação residencial
Comitente	Empresa	Habitante
Usuário	Trabalhador	Habitante
Gestão sistema	<i>Building manager</i>	Habitante
Utilidade	Complexa	Simple
Porte	Edifício	Habitação
Gestão espaço	Dinâmica	Estática
Motivação	Segurança	Conforto
	Economia energética	Segurança
	Automação	Símbolo de status
	Controle acesso	Entretenimento

Analisando o Quadro 2, nota-se que em automação residencial a economia de energia não é uma das prioridades e motivações. Porém, neste estudo de caso, a economia é uma das principais variáveis a ser considerada e, portanto, deve ser tomada como um dos requisitos para seleção dos sistemas automáticos que poderiam estar presentes na residência de alto padrão.

Como forma de avaliar o consumo energético de uma residência, é necessário levar em consideração a localização da residência, a quantidade e eficiência dos aparelhos instalados, poder aquisitivo e hábitos de consumo dos usuários (água, energia, gás, alimentos e outros). De posse destes dados, é possível traçar cenários de consumo e avaliar como o uso de recursos na habitação é realizado, a fim de que se aplique a domótica adequadamente.

Dado que a residência a ser estudada é de alto padrão e seus usuários possuem alto poder aquisitivo, também será considerado que os equipamentos utilizados serão tão eficientes quanto possível e que seus usuários possuem hábitos de consumo razoáveis (apresentam uso eficiente de recursos na maior parte do tempo). Dessa forma, serão exemplificados alguns dispositivos que poderiam ser utilizados nesta residência.

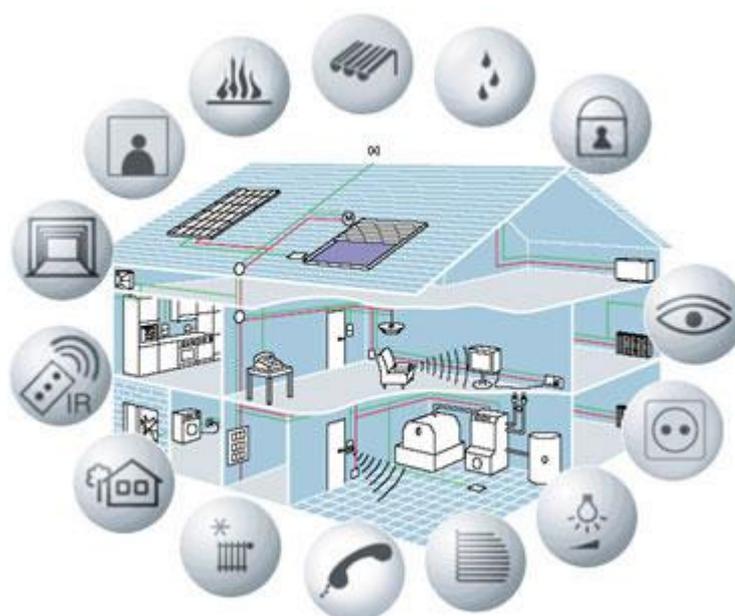


Figura 9 - Exemplos de sistemas de automação residencial⁹.

- Controles de iluminação

A iluminação pode representar até 40% do consumo de energia em uma residência. Dentre as mais eficientes opções de controle de iluminação estão os *dimmers*, que agem através da redução da intensidade de iluminação. Por exemplo, reduzindo em 25% o nível das luzes, pode haver uma economia de até 20%. Diminuindo pela metade, esta economia pode chegar a 40%. A dimerização ainda aumenta significativamente a vida útil das lâmpadas: no último caso, onde há dimerização de 50%, há um aumento de vida útil de 20 vezes (AURESIDE, 2014).

⁹ Disponível em: <http://it.emcelettronica.com/files/node_images/automazione-delle-case.jpg>, acesso em 12/06/2014, 20h35.

Em sistemas mais completos, pode-se contar com sistemas mais automatizados de iluminação, de modo a aproveitar a iluminação natural por meio da inibição (ou mesmo impedimento) automática de acendimento de luzes por meio de sensores ou uso de *timers*. Ainda, elementos como toldos, persianas, brises e cortinas com acionamento automático podem potencializar a economia de energia e funcionalidade dos ambientes (AURESIDE, 2014).

- Sistemas de segurança

Como forma de proporcionar segurança e conveniência à residência e seus moradores, pode-se implementar sistemas de monitoramento e vigilância eletrônica no ambiente residencial. Os sistemas de segurança e alarme também integram-se ao sistema de controle, incluindo o CFTV (circuito fechado de TV) com câmeras monitoradas remotamente, sensores de presença, alarmes, controle de acesso, acionamento de portas e portões e ativamento de funções da casa por meio da internet ou do celular. Além disso, o sistema de segurança pode estar integrado com um sistema de detecção de incêndio ou de vazamentos de gás, por exemplo. (AURESIDE, 2014)

- Sistemas de entretenimento

Os sistemas de entretenimento contemplam o controle de funções relacionadas à áudio e vídeo na residência. Por exemplo, existem aplicações voltadas ao controle de *home-theaters* que integram todos os comandos de áudio e vídeo e permitem ao usuário controlar todos os equipamentos por meio de interfaces integradas em *tablets* e celulares. Também é possível utilizar sistemas de som central para sonorizar todos os ambientes da residência, até mesmo externos, que se chamam sistemas *multi-room*. (AURESIDE, 2014)

- Home-office

O *home-office* baseia-se na prática de trabalhar em casa, sendo possível realizar, no todo ou em parte, as tarefas do trabalho sem a necessidade de deslocar-se até o escritório da empresa. Nesse sentido, cria-se uma rede doméstica que integra serviços de telefonia e redes e interconectadas com redes externas para o recebimento de serviços como Internet, TV a cabo e telefone. Ainda, podem ser interligados computadores, impressoras, aparelhos de fax, telefone, dentre outros. Para isso, existem novas tecnologias em desenvolvimento e sendo

aperfeiçoadas, como a PLC (Power Line Communication), Voip (Voz sobre IP), e outras. (AURESIDE, 2014)

- Sistemas de climatização

“Esses sistemas devem proporcionar o controle da climatização do ambiente (aquecedores e condicionadores de ar) através de comandos integrados aos sistemas de comando central. Dessa forma, deve possibilitar o acionamento ou desligamento automático desses equipamentos também de maneira programada em horários definidos e, até mesmo, permitir seu controle remotamente através da própria Internet ou do celular.” (AURESIDE, 2014)

- Tomadas inteligentes

Tomadas comuns podem ser perigosas e gastam muita energia quando equipamentos eletrônicos ficam conectados à elas, mesmo em modo *stand-by*. Apesar de o consumo ser pequeno neste modo, a soma de vários aparelhos ligados na tomada pode ser responsável por 15% a 20% da conta de luz¹⁰.

Já existem diversos modelos e patentes que consistem em tomadas onde o equipamento é conectado normalmente, mas para desligar e interromper a corrente de energia, não é necessário retirar o plugue da tomada, basta empurrá-la para baixo (como num interruptor) ou girá-la. Dessa maneira, aparelhos ficam protegidos de curtos circuitos, quedas de energia, fugas de eletricidade e evitam choques elétricos e outros acidentes domésticos. Outras funcionalidades ainda estão sendo desenvolvidas, como a possibilidade de acompanhar os gastos energéticos de cada aparelho em tempo real por aplicativos para celular via conexões sem fio, programação para que aparelhos liguem ou desliguem à distância, e outras.

- Outras utilidades

Também é possível citar a automatização de diversas atividades rotineiras de uma residência, como: acionamento de bombas e limpeza da piscina e caixa d'água, controle de sauna, irrigação automática do jardim, sistemas de aspiração central à vácuo, monitoramento de medições (água e gás), dentre outras aplicações (AURESIDE, 2014).

¹⁰ <http://www2.uol.com.br/debate/1379/cidade/cidade11.htm>

O uso de água em uma residência também pode ser automatizado. Muitos dos equipamentos utilizados neste caso não são eletrônicos, mas permitem automatizar um processo onde o usuário teria de regular a ação de forma manual. Por exemplo, pode-se utilizar restritores de vazão em torneiras e chuveiros que agem por meio da limitação da vazão de saída destes elementos.

Outras estratégias de uso racional da água, citadas no exemplo da Casa Eficiente, contemplam o aproveitamento de água de chuva, o tratamento biológico de águas residuárias, o reuso de águas quando possível e a utilização de componentes que possibilitam baixo consumo de água visando contribuir com a redução do consumo de água potável.

5. ESTUDO DE CASO

5.1. Introdução

As edificações residenciais são responsáveis por 23,6% do consumo de eletricidade no país (EPE, 2013b). Esse consumo tende a crescer, influenciado por aspectos como o aumento de posse de equipamentos, de tempo de utilização, hábitos de consumo, área das residências, número de ocupantes e a renda familiar. A energia nelas utilizada atende equipamentos que incluem sistemas de iluminação, refrigeração e aquecimento, eletrodomésticos e outros dispositivos.

Um edifício é considerado energeticamente mais eficiente que outro quando seu usuário observa as mesmas condições ambientais de conforto que observava na outra construção, porém com menor consumo de energia. Então, para manter essas mesmas qualidades, deve-se incentivar medidas a fim de conscientizar a população sobre os benefícios da utilização eficiente dos recursos energéticos (LabEEE, 2010).

Na busca por eficiência energética nas edificações, destacam-se duas estratégias importantes: a introdução de novas tecnologias e a mudança de hábitos de consumo, incentivadas por programas e políticas de conservação e uso racional de energia. Nesse contexto, pode-se citar o programa Procel Edifica, criado para estimular o uso de eletricidade eficiente nas edificações, de forma a diminuir os desperdícios de energia, de materiais, e os impactos à natureza (Eletrobrás, 2013).

No entanto, um dos problemas relacionados à eficiência energética aplicada às residências decorre do fato de que a implantação de algumas medidas possui um custo inicial elevado. Em médio e longo prazo, esse custo se justifica e se traduz em investimento, pois implica na redução de consumo de energia elétrica associada a um melhor desempenho do sistema.

Visto que a aplicação do RTQ-R se tornará obrigatória em 2030, faz-se necessário sistematizar e validar essa metodologia antes desse prazo. Assim, será possível verificar erros e inconsistências, e realizar revisões. Também se sabe que essa metodologia, por ser aplicada principalmente na parte elétrica de uma instalação residencial, não a torna eficiente por completo. Com base nessa premissa, pode-se inferir que é possível ampliar essa eficiência por meio de substituição de materiais de construção ou por meio de outras soluções tecnológicas e, ou arquitetônicas, por exemplo.

5.2. Estudo de caso – Aplicação do RTQ-R a um Modelo de UH de Alto Padrão

O estudo de caso considera a avaliação do grau de eficiência energética, por meio da aplicação do RTQ-R, de um modelo de residência de alto padrão. Escolheu-se a planta de uma habitação deste tipo e supôs-se que esta estivesse localizada no Lago Norte, no endereço *SHIN QI 15, conjunto 2, CEP 71535-220*. Um endereço é necessário pois é preciso que se saiba qual é a direção em que cada uma das fachadas da habitação se encontra.

Esta residência possui 331,33 m² de área construída, é térrea e é composta por quatro suítes (sendo três com *closets*); dois banheiros; sala de banho; lavabo; sala de estudos; biblioteca; copa/cozinha; despensa; área de serviço; sala de estar/lareira/jantar, bar, bistrô e hall; canil; e uma piscina. Sua planta e fachadas¹¹ podem ser observadas na Figura 10, Figura 11 e Figura 12.



Figura 10 - Fachada leste da UH de alto padrão escolhida¹².



Figura 11 - Fachada oeste da UH de alto padrão escolhida¹³.

¹¹ Disponível em: <<http://montesuacasa.com.br/casa/casa-4-quartos-projeto-497>>, acesso em 29/03/2014, 10h57.

¹² Disponível em: *op. cit.*, acesso em 29/03/2014, 10h57.



Figura 12- Planta do modelo de UH de alto padrão escolhida para o estudo de caso.

¹³ Disponível em: <<http://montesuacasa.com.br/casa/casa-4-quartos-projeto-497>>, acesso em 29/03/2014, 10h57.

5.2.1. Método

O primeiro passo consistiu na identificação de parâmetros e características referentes à residência analisada. Dadas estas considerações e a fim de aplicar o método prescritivo do RTQ-R, utilizou-se a “Planilha de cálculo do desempenho da UH - método prescritivo”¹⁴. Esta planilha foi desenvolvida pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética de Edificações - CB3E - para auxiliar o processo de classificação das unidades habitacionais autônomas. São avaliados o desempenho dos ambientes, os pré-requisitos, as bonificações, o sistema de aquecimento de água e a pontuação total da edificação. Tal planilha tem a capacidade de fazer o cálculo do desempenho de uma UH por vez.

Esta planilha é composta por seis abas (ou planilhas de cálculo dentro de uma planilha geral), cada uma com função específica e necessária para a obtenção da pontuação final. São elas:

1. Envoltória e Pré-requisitos dos Ambientes;
2. Peso das Variáveis;
3. Pré-requisitos da UH;
4. Bonificações;
5. Aquecimento de Água;
6. Pontuação Total.

As células em branco necessitam de preenchimento por parte do usuário da planilha. As de cores diferentes desta não precisam ser preenchidas, pois serão completadas de forma automática (com o preenchimento das células em branco, os parâmetros necessários para resolver as equações presentes nas células de outras cores serão estabelecidos e então um resultado será gerado). Em algumas células também se encontra um triângulo vermelho, que apresenta informações úteis referentes ao preenchimento da célula e são apresentadas ao se passar o cursor do mouse sobre ele.

Os procedimentos foram retirados do “Manual de uso da planilha de cálculo do desempenho da UH”¹⁵.

“Na primeira aba, verificam-se as condições da Envoltória e dos pré-requisitos de cada ambiente de permanência prolongada da Unidade Habitacional Autônoma. As informações do ambiente de permanência prolongada devem ser preenchidas na coluna E. Após o preenchimento dos dados, os indicadores de desempenho da envoltória do ambiente serão gerados automaticamente nas linhas 40 a 45 (avaliação antes da análise dos pré-requisitos dos ambientes) e 119 a 125 (pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente). Deve-se

¹⁴ Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/planilhas-catalogos>>, acesso em 07/05/2014, 16h25.

¹⁵ Disponível em: *op. cit.*, acesso em 07/05/2014, 16h25.

clicar no botão “Copiar” e então este ambiente será inserido no cálculo da UH inteira. Caso haja necessidade de recomençar o preenchimento, pode-se utilizar o botão “Limpar”, que apaga os valores da coluna E que foram preenchidos”.

“A segunda aba – Peso das Variáveis – é de caráter informativo e seu preenchimento é opcional, não interferindo nos demais cálculos da planilha e na pontuação final. Esta aba foi incluída para que o usuário possa realizar uma análise de sensibilidade dos parâmetros de Graus-hora para Resfriamento e Consumo de Aquecimento de cada APP preenchido na coluna E da primeira aba. Nesta aba é possível variar o valor das variáveis e verificar o quanto essa variação modifica o resultado final”.

“Para o preenchimento das planilhas nas abas seguintes, o padrão mantém-se o mesmo – apenas células em branco devem ser preenchidas e valores em células cinza são calculados automaticamente. Dentre as abas em questão, a única que têm o resultado final que deve ser calculado manualmente é a de aquecimento de água”.

“Após o preenchimento de todas as abas da planilha pode-se seguir para a última aba, “Pontuação Total”. Nesta aba são obtidas a classificação final e a pontuação total alcançada pela UH. As únicas informações que necessitam de preenchimento são a identificação da UH e a região brasileira onde está localizada. Todas as outras informações já são obtidas das planilhas anteriores”.

Após completar o preenchimento da planilha, obteve-se o equivalente numérico e a classificação final da “UH Alto Padrão”, nome da residência utilizado na simulação. O resultado e suas análises encontram-se na Seção 5.3.

5.3. Análise dos Resultados

Alguns parâmetros e características da residência foram identificados e precederam à análise:

- O bairro Lago Norte, localizado em Brasília – DF, onde foi definida a localização da residência para o estudo de caso, pertence à Zona Bioclimática 4, de acordo com a NBR 15220-3;
- Características térmicas da envoltória:
 - A pintura das paredes internas e externas possuem absorvância solar¹⁶ (α) de 0,2 (cor clara);
 - As paredes são formadas de acordo com a Figura 13, e possuem capacidade térmica¹⁷ (CT) de 150 kJ/m²K e transmitância térmica¹⁸ (U) de 2,46 W/m²K;

¹⁶ De acordo com a NBR 15220-1, é o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.

- A cobertura e forro são formadas por telhas cerâmicas com absorvância solar de 0,6, e laje de concreto com $U = 2,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT = 238,4 \text{ kJ/m}^2\text{K}$;

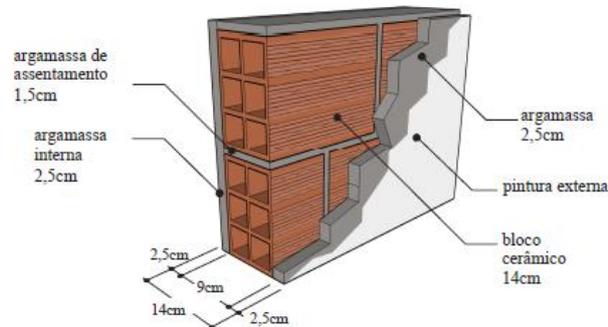


Figura 13 - Estrutura das paredes da UH¹⁹.

- Os ambientes de permanência prolongada (APP) da residência são: suíte 01 a 03; dormitório empregada; sala de estar/lareira/jantar, bar, bistrô e hall; sala de estudo e biblioteca;
- O pé direito da residência é de 2,80 m;
- Aberturas:
 - Todas as janelas da residência são de abertura 90° com duas folhas, que possuem 90% de abertura tanto para iluminação natural como para ventilação natural (Figura 14);

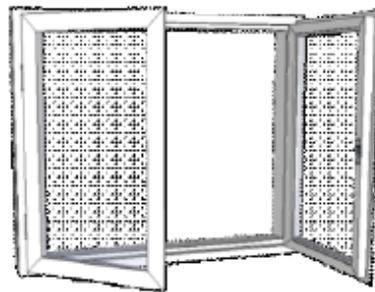


Figura 14 - Janela de abrir 90° (INMETRO, 2010).

- As janelas da sala, suítes 01 a 03 e área de serviço possuem área de 2,04 m²;
- As janelas do dormitório empregada e biblioteca possuem área de 1,56 m²;

¹⁷ De acordo com a NBR 15220-1, é a quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema.

¹⁸ De acordo com a NBR 15220-1, é o quociente da taxa de radiação solar que atravessa um elemento pela taxa de radiação solar incidente sobre este mesmo elemento.

¹⁹ Disponível na PORTARIA INMETRO N° 50/2013, ANEXO GERAL V – CATÁLOGO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DE PAREDES, COBERTURAS E VIDROS.

- As janelas de todos os banheiros, lavabo e sala de banho possuem 0,4 m².
- Características do sistema de aquecimento de água:
 - A UH apresenta sistema de aquecimento de água a gás (torneiras e chuveiros) e por bombas de calor (piscina e banheiras);
 - A UH possui hidrômetro.
- Características dos itens das “Bonificações”:
 - Todos os APPs possuem venezianas móveis;
 - Todos os ambientes da habitação apresentam uma refletância do teto de 80% em função da cor clara;
 - A residência possui sistemas de aproveitamento de água (restritores de vazão em todas as torneiras e chuveiros, bacias sanitárias atendidas por águas pluviais e com sistemas de descarga de duplo acionamento);
 - As fontes de iluminação de todos os ambientes possuem selo Procel;
 - Os APPs possuem ventiladores de teto com selo Procel;
 - Os refrigeradores possuem ENCE nível A;
 - A residência possui medição individualizada de água quente.

A Pontuação Total para a *UH Alto Padrão*, modo como a residência foi nomeada durante a simulação, é demonstrado na Figura 15. Os resultados, junto com os respectivos dados utilizados para a simulação, das demais planilhas podem ser visualizados no Anexo I. A residência obteve uma classificação final A, dada a caracterização e parametrização aqui realizada.

**Análise da classificação final da UH
RTQ - Edificações Residenciais**

Pontuação Total	Identificação	UH Alto Padrão
	Envoltória para Verão	C 2,77
	Envoltória para Inverno	B 3,62
	Aquecimento de Água	A 5,00
	Equivalente numérico da envoltória	C 3,04
	Envoltória se refrigerada artificialmente	B 3,82
	Bonificações	0,88
	Região	Centro-Oeste
	Coefficiente a	0,65

Classificação final da UH	A
Pontuação Total	4,59

Figura 15 - Classificação final da UH Alto Padrão.

5.3.1. Aplicabilidade do RTQ-R

Com o auxílio da planilha, o RTQ-R pôde ser aplicado à residência modelo em um período relativamente curto, mesmo que com grau de dificuldade moderado, graças à disponibilidade, por parte de seus criadores, de um manual para aplicação, de vídeos explicativos e pelo fato de várias explicações concernentes aos dados a serem preenchidos estarem disponíveis na planilha.

Os equivalentes numéricos para a ZB 4 da *Envoltória para Verão, Inverno e Refrigerada Artificialmente* são dados pela Tabela 6, 8 e 9:

Tabela 6 - Equivalente numérico da envoltória para verão para ZB 4 (INMETRO, 2010).

Eficiência	EqNumEnvAmbResfr	Condição
A	5	$GH_R \leq 727$
B	4	$727 < GH_R \leq 1453$
C	3	$1453 < GH_R \leq 2180$
D	2	$2180 < GH_R \leq 2906$
E	1	$GH_R > 2906$

Tabela 7 - Equivalente numérico da envoltória para inverno para ZB 4 (INMETRO, 2010).

Eficiência	EqNumEnvAmbA	Condição
A	5	$C_A \leq 5,838$
B	4	$5,838 < C_A \leq 11,675$
C	3	$11,675 < C_A \leq 17,513$
D	2	$17,513 < C_A \leq 23,350$
E	1	$C_A > 23,350$

Tabela 8 - Equivalente numérico da envoltória se refrigerada artificialmente para ZB 4 (INMETRO, 2010).

Eficiência	EqNumEnvAmbRefrig	Condição
A	5	$C_R \leq 4,155$
B	4	$4,155 < C_R \leq 8,306$
C	3	$8,306 < C_R \leq 12,457$
D	2	$12,457 < C_R \leq 16,608$

E	1	$C_R > 16,608$
----------	---	----------------

Na análise da envoltória e seus pré-requisitos, a *Envoltória para Verão* da UH completa atingiu pontuação C; a *Envoltória para Inverno* atingiu pontuação B; e a *Envoltória se Refrigerada Artificialmente* atingiu pontuação B (Figura 15). Para que se justifique cada uma dessas pontuações corretamente, deve-se analisar cada um dos APP separadamente. Vale ressaltar que o equivalente numérico do último tipo citado de envoltória só é calculado caso o APP seja um dormitório.

Tabela 9 - Classificação resultante da envoltória para cada APP.

APPs	Área útil (m ²)	Envoltória para verão (GHr)	Envoltória para inverno (Ca)	Envoltória se refrigerada artificialmente (Cr)	Atende aos pré-requisitos de iluminação (1) e ventilação natural (2)?	Classificação após análise de pré-requisitos
Sala de estar/lareira/jantar, bar, bistrô e hall	77,12	D	A	Não se aplica	(1) Não	D para resfriamento e C para Aquecimento
		2801	2,769		(2) Sim	
Suíte 1	15,51	B	A	B	(1) Não	C
		1289	5,255	6,38	(2) Sim	para todos
Suíte 2	12,76	B	A	B	(1) Sim	A mesma
		959	4,179	5,579	(2) Sim	
Suíte 3	14,31	B	A	B	(1) Sim	A mesma
		1072	5,425	6,348	(2) Sim	
Dormitório empregada	6,5	B	A	A	(1) Sim	A mesma
		1062	5,049	2,74	(2) Sim	
Biblioteca	10,73	B	A	Não se aplica	(1) Sim	A mesma
		778	3,765		(2) Sim	
Sala de estudo	7,01	A	A	Não se aplica	(1) Não	C
		672	4,182		(2) Não	para todos

O APP “Sala de estar/lareira/jantar, bar, bistrô e hall” possui área útil muito elevada e poucas aberturas para ventilação natural, apesar de atender ao pré-requisito de “Ventilação Natural”. Com isso, no verão, a tendência é que esse ambiente fique mais quente e necessite de uma provável refrigeração artificial para maior conforto dos usuários, aumentando a energia consumida na residência. Este APP não atendeu ao pré-requisito de “Iluminação Natural”, o que fez com que sua todas as suas envoltórias pudessem atingir, no máximo, pontuação C. Como a pontuação da *Envoltória para verão* já era D, a pontuação não foi alterada. A *Envoltória se Refrigerada Artificialmente* não foi analisada já que o ambiente não é um dormitório.

O APP “Suíte 1” atingiu pontuação C nas três envoltórias. Isso ocorreu pois ele não atingiu o pré-requisito mínimo de “Iluminação Natural” (a área de abertura para iluminação deve ser de pelo menos 12,5% em relação a área útil do ambiente). Com isso, mesmo atingindo boas pontuações antes da análise dos pré-requisitos, sua pontuação final teve de ser modificada.

Já o APP “Sala de estudo”, por não possuir janelas nem aberturas para iluminação e para ventilação também atingiu pontuação C nas duas envoltórias analisadas, mesmo alcançando pontuação A antes da análise de pré-requisitos.

Os outros APPs (Dormitório empregada, Suíte 2, Suíte 3 e Biblioteca) atingiram pontuações entre A e B para as envoltórias analisadas após a esta primeira análise de pré-requisitos. Na célula D 126-132 da planilha utilizada para simular a aplicação do RTQ-R, encontra-se um aviso que cita que a pontuação total da envoltória da UH ali presente ainda não é definitiva, já que ainda é necessário analisar outros pré-requisitos, mas da envoltória como um todo e não só dos APPs.

Então, na terceira planilha, “Pré-requisitos da UH”, analisaram-se os pré-requisitos restantes, que se referem à “Medição individual de água e energia”, “Ventilação Cruzada” e “Banheiros com ventilação natural”. A UH Alto Padrão atingiu todos os pré-requisitos, e, portanto, não teve modificações na classificação atingida anteriormente. Após a ponderação dos resultados finais de *Envoltória para Verão, Inverno e Refrigeração Artificialmente*, a UH teve como nota final a pontuação C.

Na quarta planilha, referente às “Bonificações”, a UH Alto Padrão alcançou pontuação extra nos seguintes itens:

- 1) Dispositivos Especiais: a UH possui venezianas móveis em todas as janelas dos APPs;
- 2) Refletância Teto: todos os APPs, cozinha e lavanderia possuem refletância maior que 0,6 – ou seja, os tetos destes ambientes refletem muito bem o fluxo de radiação luminosa neles incidente;
- 3) Uso racional de água: a UH possui todos os dispositivos de economia de água para receber a pontuação máxima;
- 4) Iluminação artificial: todos os ambientes possuem fontes de iluminação artificial com selo Procel;
- 5) Ventiladores de teto: os ventiladores de teto dos APPs possuem selo Procel;
- 6) Refrigeradores: os refrigeradores possuem ENCE A ou selo Procel;
- 7) Medição individualizada de água quente: a residência possui medição individualizada de água quente.

Com isso, a residência conseguiu 0,86 ponto extra de 1 ponto possível a receber de Bonificações.

Na quinta planilha, “Aquecimento de água”, considerou-se que a habitação atendia a todos os pré-requisitos necessários, de modo que a maior pontuação que ela poderia apresentar é A. Neste quesito, a UH recebeu pontuação final A, pois possui sistema de

aquecimento a gás com ENCE A (para chuveiros e torneiras) e por bombas de calor com Coeficiente de Performance²⁰ (COP) maior que 3 (para piscina e hidromassagem) (Figura 16).



Figura 16 – Exemplo de aquecedor a gás com ENCE A²¹ e de bomba de calor com COP > 3²².

Escolheu-se o sistema de aquecimento a gás em vez do elétrico pois, apesar de os custos dos equipamentos e manutenção serem mais elevados, estes são capazes de economizar até 30% a mais em relação à outra tecnologia²³. O aquecimento solar foi desconsiderado também, pois como se tem interesse de distribuir água quente em lavatórios e pias, o reservatório térmico teria de ser extremamente grande. A título de curiosidade, em caso de aquecimento apenas elétrico, a classificação recebida é E.

Por fim, na última planilha de cálculo – “Pontuação total” – aplica-se a Equação 1 e obtém-se a classificação final da UH, com sua respectiva pontuação total. Como citado, a classificação da residência de alto padrão foi A. É válido notar que, para que a residência atingisse nível A, não foi necessário que a envoltória atingisse nível A, bastou que as “Bonificações” e o sistema de aquecimento de água atingissem boa classificação. Portanto, melhorias à habitação ainda seriam aplicáveis, como o aumento de aberturas ou do número de aberturas em si, melhorando aspectos como a permeabilidade e a ventilação cruzada da residência.

²⁰ Relação entre capacidade de refrigeração obtida e o trabalho gasto para tanto.

²¹ Disponível em: <<http://www.bosch.com.br/br/termotecnologia/produtos/produto.asp?categoria=aquecedores-agua&id=214>>, acesso em 13/06/2014, 00h17.

²² Disponível em: <<http://www.heliotek.com.br/Produtos/Bomba-de-Calor-Heliomaster/#>>, acesso em 13/06/2014, 00h25.

²³ Informação disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,comgas-vantagens-e-custo-de-aquecedores-a-gas,20010530p12977>>, acesso em 09/06/2014, 15h14.

5.3.2. Análise Referente aos Sistemas de Automação

Considerando que no uso da automação residencial muitas vezes o conforto do usuário é colocado acima da economia de energia, é necessário avaliar que sistemas automáticos podem ser inseridos em uma habitação caso o objetivo principal seja a economia de energia.

É interessante notar que o RTQ-R permite a parametrização com dados próprios do elemento “Bonificações” para premiar usuários que possuem alguns tipos de automação que privilegiem a eficiência energética em sua residência. No entanto, essa parte ainda pode ser aperfeiçoada, já que como esta regulamentação é utilizada considerando basicamente aspectos elétricos da residência (exceto pela parte de “Uso racional de água”, também nas “Bonificações”), nem todos os tipos de sistemas automáticos estão sendo contemplados.

Exemplos de sistemas que tornam a casa mais eficiente e sustentável são os *dimmers* e outros controles de iluminação, sistemas de condicionamento que contam com *timers* e sensores, tomadas inteligentes (com funcionalidades de interrupção de corrente de energia em modo *stand-by*, ou com aplicativos de acompanhamento de consumo), sistemas de irrigação de jardins com monitoramento da vazão de água, e diversos outros.

5.3.3. Análise Referente às Normas Técnicas

Em relação à normalização referente a edificações residenciais, o país já possui certo grau de maturidade. O Brasil é uma referência em arquitetura bioclimática graças à Norma ABNT NBR 15220-3, apresentada no Capítulo 3. Aplicando esta norma ao contexto de edificações, maior eficiência energética pode ser atingida graças à análise de fatores climáticos, respeitando o meio em que a edificação está inserida. Com a consideração destes fatores, a edificação terá maior conforto térmico, minimizando o dispêndio de energia “artificial”.

Já a norma ABNT NBR 15575, por tratar de requisitos e estabelecer desempenho mínimo para sistemas em empreendimentos, conta com aspectos sustentáveis por tratar de itens como durabilidade, manutenção e adequação ambiental de elementos construtivos. As exigências referentes à segurança e habitabilidade completam esse conjunto normativo, de forma que, ao aplicá-lo, o usuário da edificação terá melhores resultados em sua eficiência como um todo.

O uso em conjunto destas duas normas, ainda aliadas com a ABNT NBR 15215 – que trata da iluminação natural em edificações – pode tornar uma edificação eficiente, portanto, do ponto de vista da engenharia civil e também elétrica, por serem capazes de diminuir o consumo de energia.

No entanto, nota-se que outro ponto chave para o conforto térmico da edificação ainda não é contemplado por norma técnica: a ventilação natural. Este fator é uma das estratégias

bioclimáticas mais importantes para o Brasil, e pode suprimir o uso de equipamentos elétricos para resfriamento artificial. Como o vento pode ser desejável no verão e indesejável no inverno e, ainda, se comportar de maneiras diferentes nestes dois períodos (e depender de outros aspectos como localização, topografia, vegetação), um estudo mais aprofundado sobre este elemento, que, se possível, pudesse também traduzir-se em norma, seria útil e atraente no enfoque energético (Lamberts, 2014). Do mesmo modo que existe um zoneamento bioclimático definido para as diversas regiões do Brasil, também poderia existir um zoneamento referente ao comportamento dos ventos por região ou algo semelhante.

O RTQ-R é norteado pelas três normas acima mencionadas, o que o torna um regulamento muito completo. Melhorias ainda podem ser aplicadas, como requisitos para maior controle nos materiais de construção utilizados na obra e premiar o reaproveitamento de entulho proveniente da obra e/ou de seu entorno. Por ser bastante recente e sua obrigatoriedade já é prevista, pressupõe-se que revisões metodológicas ainda possam ocorrer.

5.3.4. Conclusões Finais do Estudo

Com base no estudo de caso realizado no modelo residencial de alto padrão, foi possível exemplificar a metodologia já apresentada do RTQ-R. Para a realização do estudo de caso, utilizou-se a planta baixa do empreendimento e identificaram-se parâmetros e características necessários para a correta aplicação do método.

No Trabalho de Conclusão de Curso 1, foi elaborada a proposta para o projeto de graduação e realizado o levantamento bibliográfico sobre Eficiência Energética, com foco em Edificações Residenciais. Apesar das dificuldades encontradas na realização do trabalho, não houve atraso no cronograma anteriormente previsto.

A obtenção do planta da UH consistiu em uma etapa demorada, já que em um primeiro momento pretendia-se utilizar uma residência real para que se aplicasse o Regulamento. Dada a dificuldade para se encontrar um projeto real, utilizou-se um projeto modelo de residência de alto padrão. Não foi necessário utilizar o projeto elétrico da residência, visto que o RTQ-R não o analisa diretamente. Com a planta baixa, foi possível obter o levantamento das áreas dos ambientes da habitação.

A avaliação da envoltória da unidade habitacional obteve classificação C, devido a algumas características da edificação. Neste caso, a quantidade de aberturas nas fachadas foi determinante, já que eram insuficientes. Portanto, esse aspecto pode ser aprimorado a fim de se alcançar um melhor resultado, principalmente utilizando-se ventilação natural na residência.

Já o sistema de aquecimento de água da residência e as bonificações nela presentes foram fatores decisivos para a excelente classificação final. Optou-se pelos sistemas de

aquecimento a gás, para chuveiros e torneiras, e por bombas de calor para a piscina e banheiras. O aquecimento solar não foi considerado já que seria necessário um reservatório extremamente grande (de área maior que a disponível no telhado da residência) para que se aquecesse a casa e também por ser uma alternativa muito dependente da radiação solar. Uma opção seria o uso deste sistema apenas para o aquecimento da água da piscina (Figura 17).

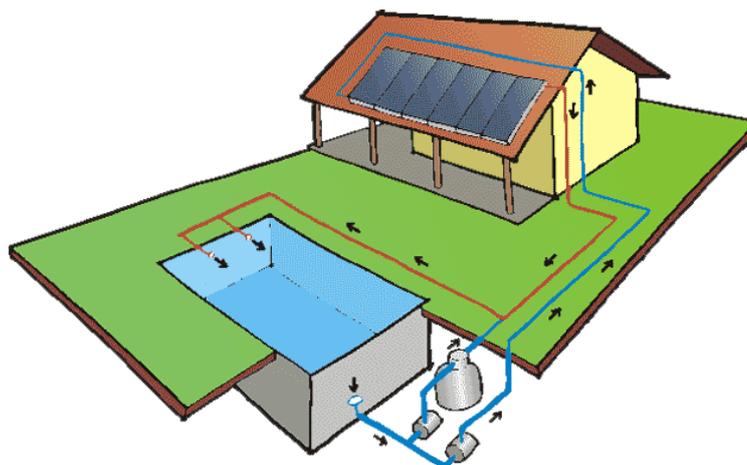


Figura 17 - Exemplo de sistema de aquecimento solar de água para piscina²⁴.

Como forma de melhor visualizar as propostas de revisões metodológicas no RTQ-R e identificar as melhorias em eficiência e sustentabilidade da residência que poderiam elevar seu grau de eficiência, elaborou-se o Quadro 3 e o Quadro 4.

Quadro 3 - Propostas de revisões metodológicas no RTQ-R.

Revisões metodológicas RTQ-R
Aprimoramento do item “Bonificações”, de maneira que contemple sistemas de automação usados pelo usuário da UH;
Controle de materiais usados na residência, pontuando o uso dos que forem ecologicamente corretos e eficientes;
Reaproveitamento de entulho e outros materiais da obra ou de seu entorno.

²⁴ Disponível em: <http://www.soletrol.com.br/especiais/aquecimento_de_piscinas/>, acesso em 09/06/2014, 20h23.

Quadro 4 - Propostas de melhorias na UH.

Identificação de melhorias na UH
Uso de janelas e/ou outros tipos de aberturas que possibilitem iluminação e ventilação natural em quantidade apropriada;
Uso de equipamentos com selo Procel, Conpet ou ENCEs A;
Uso de sistemas automáticos que possibilitem maior economia energética;
Elaboração de NBR referente à ventilação natural;
Uso de aquecimento solar para piscina;
<i>Retrofit.</i>

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Para controlar a relação entre o consumo crescente de energia elétrica frente às limitações dos recursos energéticos e das restrições ambientais atuais, são necessárias medidas que promovam a eficiência energética. Dentre essas medidas, é possível destacar, no Brasil, a Lei 10.295/2001, conhecida como Lei da Eficiência Energética, e também o programa Procel Edifica, com o objetivo de estimular o uso de eletricidade de maneira eficiente nas edificações, de forma a diminuir os desperdícios de energia, de materiais, e os impactos ambientais negativos.

Dessa forma, por meio do Procel Edifica e no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), promoveu-se a elaboração do Regulamento Técnico da Qualidade para a etiquetagem voluntária do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C) e para Edifícios Residenciais (RTQ-R) (MME, 2011). Assim nasceu o PBE Edifica, que define os procedimentos necessários para que as edificações brasileiras incorporem continuamente conceitos de sustentabilidade na sua construção ou reforma (pela escolha de materiais ou técnicas eficientes) e também durante o seu uso/operação.

O processo de etiquetagem de edificações é voluntário, mas o PNEf já prevê níveis mínimos de eficiência e desempenho em novas edificações e a compulsoriedade da etiquetagem para prédios públicos até 2020, comerciais e de serviços até 2025 e residenciais até 2030 (Eletrobrás 2. , 2013).

A metodologia do RTQ-R, abordada neste trabalho, é aplicada na parte elétrica de uma instalação residencial – apesar de contemplar outros fatores como uso racional de água e uso de alguns outros sistemas. Por este motivo, ele não a torna eficiente por completo. Assim, o estudo deste método mostrou-se relevante ao revelar que se pode ampliar a eficiência por meio de substituição de materiais de construção, por meio outras soluções tecnológicas ou arquitetônicas, como sistemas de automação, e do uso de outras normatizações referentes ao assunto.

Na busca por eficiência energética nas edificações, destacam-se ainda outras duas estratégias importantes: a introdução de novas tecnologias e a mudança de hábitos de consumo, incentivadas por programas e políticas de conservação e uso racional de energia. No entanto, um dos problemas relacionados à eficiência energética aplicada às residências é o custo inicial elevado. Em médio e longo prazo, esse custo se justifica e se traduz em investimento, devido à redução de consumo de energia elétrica associada a um melhor desempenho do sistema.

A elaboração desse trabalho possibilitou o contato com a metodologia aplicada pelos regulamentos que avaliam a qualidade do nível de eficiência energética de edificações residenciais, e permitiu o levantamento de questões e entendimento de conceitos importantes neste âmbito, como arquitetura bioclimática e seus desdobramentos.

O objetivo principal desse trabalho foi avaliar a aplicabilidade do RTQ-R em uma residência de alto padrão. A avaliação da envoltória da unidade habitacional obteve classificação razoável, nível C, devido a algumas características da edificação. Neste caso, a quantidade de aberturas nas fachadas foi determinante, já que eram insuficientes. Portanto, esse aspecto poderia ser aprimorado a fim de se alcançar um melhor resultado, que é concernente principalmente à ventilação natural da residência. Já o sistema de aquecimento de água da residência e as bonificações escolhidas para estar nela presentes foram fatores decisivos para a excelente classificação final da UH. Optou-se pelos sistemas de aquecimento a gás, para chuveiros e torneiras, e por bombas de calor para a piscina e banheiras.

É interessante notar que o RTQ-R abriu espaço, na parte de “Bonificações”, para premiar usuários que possuem alguns tipos de automação que privilegiem a eficiência energética em sua residência. No entanto, essa parte ainda pode ser aperfeiçoada, já que como esta regulamentação é utilizada considerando basicamente aspectos elétricos da residência (exceto pela parte de “Uso racional de água”, também nas “Bonificações”), nem todos os tipos de sistemas automáticos ainda estão sendo contemplados. O uso de *dimmers* e tomadas inteligentes, por exemplo, pode trazer economias de até 40% na conta de energia elétrica.

Ainda, o RTQ-R, por ser norteado por normas técnicas que levam em consideração sustentabilidade e eficiência, pode ser considerado um regulamento muito completo. Dessa forma, sua aplicabilidade pode ser avaliada como ampla e apropriada, considerando o contexto em que foi criada e apesar de possuir melhorias que ainda podem ser aplicadas. Vale ressaltar que, após uma avaliação que resulte em um baixo desempenho de uma residência, podem-se avaliar as condições que levaram a esse resultado e aplicar obras de *retrofit* para que a edificação atenda aos requisitos e se comporte de forma mais eficiente. Por conseguinte, destaca-se o RTQ-R como uma valiosa ferramenta na busca pela eficiência energética e sustentabilidade.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se utilizar o método de simulação descrito no regulamento, em que um programa computacional considere as condições termoenergéticas do ambiente. No mês de maio de 2014, foi lançado o software *Domus*, com elaboração patrocinada pela Eletrobrás, no âmbito do Procel Edifica. Este é o primeiro software brasileiro de auxílio ao desenvolvimento do programa brasileiro de Regulamentação de Eficiência Energética em Edificações²⁵. Ele é capaz de realizar simulações higrotérmicas e energéticas de edificações pelo método prescritivo e de simulação, mas está restrito a realizá-las, até o momento, de acordo com o RTQ-C.

Assim, mais uma sugestão consiste no desenvolvimento de um software que trabalhe especificadamente com o método de simulação do RTQ-R, visto que ainda não existem

²⁵ <http://www.eletronbras.com/PCI/main.asp?View=%7B8D1AC2E8-F790-4B7E-8DDD-CAF4CDD2BC34%7D&Team=¶ms=itemID=%7B90251D41-F696-40E2-BB63-62E834EA76C3%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>

trabalhos desse tipo e que para o método prescritivo, a planilha já se mostra suficiente para análise.

Como forma de se melhor analisar resultados que influenciam na classificação final de unidades habitacionais, pode-se também utilizar a segunda planilha de cálculo (“Peso das Variáveis”). Assim, o usuário poderia realizar uma análise de sensibilidade dos parâmetros de Graus-hora para Resfriamento e Consumo de Aquecimento de cada APP, por meio da variação do valor das variáveis e verificação do quanto essa variação modificaria o resultado final.

Por fim, como sugestão para o curso de Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, propõe-se ofertar a disciplina Eficiência Energética, incluindo a Etiquetagem de Edificações em seu escopo, contribuindo para a formação de profissionais integrados ao atual contexto socioeconômico. Além disso, podem ser oferecidas oficinas para a aplicação da metodologia e o desenvolvimento de pesquisas referentes ao assunto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. **ABNT NBR ISO 15575 : Desempenho de Edificações Residenciais**. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. **ABNT NBR ISO 15220 : Desempenho térmico de Edificações**. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **ABNT NBR ISO 15215 : Iluminação Natural**. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL (AURESIDE). **Automação Residencial**. Disponível em: <<http://www.aureside.org.br/>>, acesso em 15 de junho de 2014.
- BOLES, M. A.; ÇENGEL, Y. A; **Termodinâmica**. 7ª edição. São Paulo: AMGH Editora, 2013.
- CBIC, C. B.. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.
- CMMAD. **Relatório Brundtland, "Nosso Futuro Comum"**. Disponível em: <<http://www.un.org/documents/ga/res/42/ares42-187.htm>>. Acesso em: 26 de outubro de 2013.
- ELETROBRÁS. **Eletrosul inaugura seu primeiro prédio sustentável**, 12 de Abril de 2013. Disponível em: <http://www.eletrosul.gov.br/home/conteudo.php?cd=65&tipo=55&galeria=8&id_codigo=1464>. Acesso em: 03 de novembro 2013.
- ELETROBRÁS. **PROCEL**., Disponível em: <<http://www.eletrbras.com/ELB/procel/main.asp?TeamID=%7BA8468F2A-5813-4D4B-953A-1F2A5DAC9B55%7D>>. Acesso em 02 de novembro de 2013.
- ELETROBRÁS **2. Resultados do Procel 2013 - ano base 2012**. Disponível em: <<http://www.eletrbras.com/ELB/procel/main.asp?TeamID=%7BA8468F2A-5813-4D4B-953A-1F2A5DAC9B55%7D>>. Acesso em 02 de novembro de 2013.
- ELETROSUL. **Casa Eficiente**, 2010. Disponível em <<http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/conteudo.php?cd=11>>. Acesso em 05 de Novembro 2013.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Anuário estatístico de energia elétrica 2013**. Rio de Janeiro: EPE, 2013.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço Energético Nacional 2013 : ano base 2012**. Rio de Janeiro: EPE, 2013.
- FERREIRA, J. d.. **Economia e Gestão de Energia**. Portugal: Valor na Energia. Setembro, 1993.
- HINRICH, R. A.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B.. **Energia e Meio Ambiente**. 4º. (L. F. Flávio Maron Vichi, Trad.) Cengage Learning, São Paulo, 2010.
- INMETRO. Portaria n.º 449, 25 de novembro de 2010. **Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais**. Rio de Janeiro, 2010.
- LabEEE. **Casa eficiente : consumo e geração de energia**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R.. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2014.
- MACHADO, A. A.. **Pensando a energia**. Eletrobrás. Rio de Janeiro, RJ, 1998.
- MME. **Plano Nacional de Eficiência Energética : Premissas e diretrizes básicas**. Ministério de Minas e Energia, 2011.
- PRUDENTE, F.. **Automação Predial e Residencial: Uma Introdução**. LTC, 2012.
- SOUZA, H. m.; LEONELLI, P. a.; PIRES, C. a.; JUNIOR, V. B.; PEREIRA, R. W.. **Reflexões sobre os principais programas em eficiência energética existentes no Brasil**. Revista Brasileira de Energia, 15, 7-26, 2011.
- UFSC; Eletrobrás; Procel; MME. **Casa Eficiente**. Disponível em <[http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/abre_fotos.php?cd=kgjbaf8.\[Wc&gr=imiZfZ2!D](http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/abre_fotos.php?cd=kgjbaf8.[Wc&gr=imiZfZ2!D)>. Acesso em: 13 de outubro de 2013.

ANEXO I: Resultados Obtidos Pela *Planilha de Cálculo do Desempenho da UH* - *Método Prescritivo*

As planilhas de cálculo a seguir fazem parte da planilha de cálculo geral “Planilha de cálculo de desempenho da UH – método prescritivo”, disponível para download em: <<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/planilhas-catalogos>>. Esta planilha foi desenvolvida pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações – CB3E – para auxiliar o processo de classificação das unidades habitacionais autônomas.

Os dados utilizados para realizar os cálculos provêm da planta baixa baixa da residência e de sua parametrização e caracterização prévia.

Análise dos Pesos das Variáveis sobre a Pontuação Final da Envoltória RTQ - Edificações Residenciais

Célula explicativa	Variáveis	Variação (±)		Porcentagens 0					
		Recomendada	Avaliada	Graus-hora para Resfriamento (GHR)		Consumo para Aquecimento (CA)			
				Variação aumentando a variável	Variação diminuindo a variável	Variação aumentando a variável	Variação diminuindo a variável	Variação aumentando a variável	Variação diminuindo a variável
Ambiente	Área útil do APP	3,00	3,00			0,287	A	-1,056	A
Cobertura	Ucob	0,50	0,50			-0,384	A	-0,384	A
	CTcob	50,00	50,00			-0,384	A	-0,384	A
	acob	0,10	0,10			-0,384	A	-0,384	A
Paredes Externas	Upar	0,50	0,50			-0,089	A	-0,680	A
	CTpar	50,00	50,00			-0,384	A	-0,384	A
	opar	0,10	0,10			-0,600	A	-0,168	A
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	2,00	2,00			-0,407	A	-0,603	A
	SUL	2,00	2,00			0,566	A	0,369	A
	LESTE	2,00	2,00			-0,286	A	-0,482	A
	OESTE	2,00	2,00			-0,286	A	-0,482	A
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	0,50	0,50			-0,657	A	-0,657	A
	SUL	0,50	0,50			-0,364	A	-0,405	A
	LESTE	0,50	0,50			-0,384	A	-0,384	A
	OESTE	0,50	0,50			-0,384	A	-0,384	A
Características das Aberturas	Fvent	0,25	0,25			-0,831	A	0,063	A
	Somb	0,10	0,10			-0,299	A	-0,469	A
Características Gerais	Área das Paredes Internas	5,00	5,00			-0,384	A	-0,384	A
	Pé Direito	0,20	0,20			-0,057	A	-0,711	A
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	Uvid	0,50	0,50			-0,384	A	-0,384	A
Valor sem variar	-	-	-			-0,384	A		



**Análise dos Pré-requisitos da Envoltória e Equivalente
Numérico da Envoltória
RTQ - Edificações Residenciais**

Pré Requisitos da Envoltória	Medição individual de água?		Sim
	Medição individual de energia?		Sim
	Ventilação Cruzada	Área Aberturas orientação Norte	8,36
		Área Aberturas orientação Sul	5,35
		Área Aberturas orientação Leste	8,16
		Área Aberturas orientação Oeste	12,73
		A2/A1	1,717989002
	Atende A2/A1 maior ou igual a 0,25?		Sim
	Banheiros com Ventilação Natural	Nº BWC	6
		Nº Banheiros com ventilação natural	6
Atende 50% ou mais dos banheiros com ventilação natural?		Sim	

Pontuação após avaliar os pré-requisitos gerais da UH		Nota anterior aos pré-requisitos	Nota posterior ao pré-requisito de ventilação cruzada
	Envoltória para Verão		C 2,77
Envoltória para Inverno		B 3,62	B 3,62
Envoltória se Refrigerada Artificialmente		B 3,82	B 3,82

Equivalente numérico da envoltória da UH	Nota anterior aos pré-requisitos restantes	Nota final da envoltória da UH
	C 3,04	C 3,04

Análise das Bonificações RTQ - Edificações Residenciais

Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m ²)	8,36
		AATVS (m ²)	5,35
		AATVL (m ²)	8,16
		AATVO (m ²)	12,73
		ATFN (m ²)	65,968
		ATFS (m ²)	49,98
		ATFL (m ²)	69,02
		ATFNO (m ²)	59,22
		Pavimento da UH	1 ou 2
		Porosidade a Atender	20,0%
		Porosidade Norte	12,7%
		Porosidade Sul	10,7%
		Porosidade Leste	11,8%
		Porosidade Oeste	21,5%
	Atende pelo menos 2 fachadas?	Não	
	Bonificação	0	
	Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Sim
		Quais dispositivos?	Venezianas móveis
Bonificação		0,16	
Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?	Não	
	Bonificação	0	
Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre ≥ 30% da área da abertura?	Não	
	Bonificação	0	
Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$?	Não
		Bonificação	0
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
		Bonificação	0,1
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0,2
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0
	Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	1
		Bonificação	0,1
	Ventiladores de Teto	Ventiladores de teto com Selo Procel em 2/3 dos ambientes de permanência prolongada?	Sim
		Bonificação	0,1
	Refrigeradores	Apresenta refrigerador(es) com ENCE nível A ou Selo Procel?	Sim
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Sim
		Bonificação	0,1
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Sim
Bonificação		0,1	
Total de bonificações			0,86

Análise do aquecimento de Água RTQ - Edificações Residenciais

Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água	As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução a que se destinam e atendem às normas técnicas de produtos aplicáveis?	Sim
	A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	Sim
	A edificação pertence a região Norte ou Nordeste?	Não
	O sistema apresenta aquecimento solar?	Não
	A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m ² K)/W?	Sim
	Atende?	Sim
	As tubulações para água quente são metálicas?	Sim
	A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	Não
	Diâmetro nominal da tubulação (cm)	45
	Espessura do isolamento (cm)	3
	Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	0,04
	Atende?	Sim
A maior classificação que a UH pode atingir em aquecimento de água é:	A	

Sistema de aquecimento Solar	Os coletores solares possuem ENCE A ou B ou Selo Procel e os reservatórios apresentam Selo Procel?	
	Qual é o volume de armazenamento real do reservatório (litros)?	
	Qual é a área de coletores solares existente? (m ²)	
	Volume de reservatório por área de coletor (litros/m ²)	
	Sistemas de aquecimento solar com backup por resistência elétrica. Equivalente à fração solar anual.	
	Demanda	
	Classificação	

Sistema de aquecimento a Gás	Pré-requisito: os aquecedores a gás do tipo instantâneo e de acumulação possuem ENCE A ou B?	Sim
	Potência do sistema de aquecimento e volume de armazenamento dentro da variação de + ou - 20%?	Sim
	Demanda	80
	Classificação	A 5

Bombas de Calor	Insira o COP do Equipamento (W/W)	3
	Demanda	20
	Classificação	A 5

Sistema de Aquecimento Elétrico		
Aquecedores elétricos de passagem, chuveiros elétricos e torneiras elétricas	Insira a Potência Máxima do Equipamento (W)	
	Demanda	
	Classificação	
Aquecedor elétrico de Hidromassagem	Insira a Potência Máxima do Equipamento (W)	
	Demanda	
	Classificação	
Aquecedores elétricos por acumulação (Boiler)	Escolha uma opção ao lado:	
	Classificação	

Caldeiras a óleo	Apresenta Caldeira a óleo?	Não
	Demanda	
	Classificação	

Nota final para o aquecimento de água	A 5,00
--	------------------

**Análise da classificação final da UH
RTQ - Edificações Residenciais**

Pontuação Total	Identificação	UH Alto Padrão
	Envoltória para Verão	C
		2,77
	Envoltória para Inverno	B
		3,62
	Aquecimento de Água	A
		5,00
	Equivalente numérico da envoltória	C
		3,04
Envoltória se refrigerada artificialmente	B	
	3,82	
Bonificações	0,86	
Região	Centro-Oeste	
Coeficiente a	0,65	

Classificação final da UH	A
Pontuação Total	4,59