

# **PROJETO DE GRADUAÇÃO**

## **PROJETO DE AGÊNCIA BANCÁRIA nZEB**

Por,  
**Arthur Souto Gonçalves**

**Brasília, 26 de junho de 2015**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Mecânica

**PROJETO DE GRADUAÇÃO**

**PROJETO DE AGÊNCIA BANCÁRIA nZEB**

POR,  
**Arthur Souto Gonçalves**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção  
do grau de Engenheiro Mecânico.

**Banca Examinadora**

Prof. João Manoel D. Pimenta, UnB/ ENM (Orientador)

Prof. Mário Benjamin B. Siqueira, UnB/ ENM

Prof. Mário Olavo M. Carvalho, UnB/ ENM

---

---

---

Brasília, 26 de junho de 2015

*À minha Família.*

## **Agradecimentos**

*Primeiramente, agradeço à Deus, Ele que possui poder sobre todas as coisas visíveis e invisíveis, desperta em mim através da fé vontade de ser uma pessoa cada dia melhor para o mundo e os que me cercam. Sem Ele nada disso seria possível.*

*Agradeço também aos meus pais, Adair e Milena, que por tantas vezes se mostraram preocupados com as noites sem dormir, quiseram saber como ia a faculdade, o namoro, as amizades... realizando de forma exemplar, todos os dias, o papel de pai e mãe tão próximos e cuidadosos que são.*

*A minha irmã, Marina, quero agradecer pelos momentos de descontração, ser apoio, companheira e motivo de orgulho para mim. A minha namorada, Michelle, com quem estou durante praticamente todo o período de graduação, e com quem pretendo passar o resto da minha vida, pelo apoio nos momentos de stress, pelo incentivo e pela confiança.*

*Aos meus familiares, principalmente, meus avós, Geraldo e Tereza, pela serenidade e força que me ensinaram desde criança, além de serem exemplo de fé para mim; minhas madrinhas, Águida, Kellen e Roberta, pelas orações e criação a luz de Nossa Senhora. Tios e Tias, primos, em particular Tiago e Luis Felipe, dois verdadeiros amigos; Bianca, Matheus e Catarina, meus afilhados.*

*Ao meu orientador, Prof. João Pimenta, por ter proposto um tema o qual gostei muito de desenvolver, pela ajuda oferecida e pelo acompanhamento do projeto. Ainda, por todos os professores que tive a oportunidade de conhecer e ser aluno, pelo conhecimento passado importante para a minha formação.*

*Aos amigos que fiz durante a vida, parceiros para todas as coisas, os quais puderam compartilhar um pouco da pressão da vida, do trabalho e dividir momentos de alegria tristeza e felicidade.*

*Aos amigos de infância, Alexandre, Fernando e Guilherme, que foram provavelmente meus primeiros amigos, há mais de 20 anos; e aos amigos conhecidos por eles. Aos amigos da Universidade, os quais foram responsáveis por parte do conhecimento adquirido até aqui. Agradeço pelo suporte, pelos trabalhos em grupo, estudos, discussões e companheirismo durante este período.*

*Ao casal de amigos Renan e Magda, que apesar do pouco tempo de convivência, será uma amizade para a vida inteira.*

*Por fim, deixo um muito obrigado a todos aqueles que se interessarem pelo meu trabalho, espero poder contribuir para o seu conhecimento e aprendizado.*

O presente trabalho trata-se de um projeto de *retrofit* para uma agência bancária com objetivo de torná-la um edifício com balanço energético nulo (net Zero Energy Building – nZEB), a ser atingindo através da geração elétrica de todo o consumo de energia elétrica anual do edifício.

A agência bancária em questão pertence ao Banco do Brasil, localizada em Brasília, Distrito Federal, possui uma área construída total de 1450 m<sup>2</sup>, dois pavimentos – térreo e primeiro andar – e conta com uma visita média de 350 a 370 pessoas por dia. O panorama atual da agência apresenta um edifício com elevado consumo de energia elétrica, cômodos improvisados, com vários sistemas de climatização e com aspecto de antigo. Esses fatos levaram a própria instituição a realizar uma reforma estrutural nela, aproveitando o ensejo, este trabalho apresenta soluções que visam aumentar a sua eficiência térmica.

Inicialmente, é apresentada uma justificativa para o tema em estudo e sua relevância, além de uma revisão bibliográfica acerca dos estudos já realizados na área. A seguir, uma abordagem mais detalhada do conceito *nZEB*, acompanhada de alguns casos bem-sucedidos.

O panorama atual da agência é então apresentado, junto com as condições climáticas locais e algumas simulações energéticas utilizadas mais adianta para comparação. Os resultados obtidos com a análise energética foram validados através dos dados de consumo de energia elétrica fornecidos pela própria instituição e pela capacidade de climatização instalada no edifício.

Baseado nas soluções utilizadas nas *nZEBs* bem-sucedidas, foram empregadas soluções semelhantes afim de tornar a envoltória do edifício mais eficiente do ponto de vista térmico, analisando o impacto das soluções através de simulações computacionais. O software utilizado para as análises energéticas foi o *Design Builder*, o qual utiliza como motor de cálculo o renomado *EnergyPlus*, capaz de analisar o conforto térmico, a carga térmica e estimar o consumo de energia elétrica.

Por fim, obteve-se uma envoltória de melhor desempenho térmico que auxilia na diminuição da carga térmica do edifício, conseqüentemente, reduzindo o gasto energético do sistema de climatização. Ao final do processo de otimização, o consumo do edifício foi estimado em 144,1 MWh/ano. Considerando a sua área, temos uma taxa de consumo de 99,38 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Ainda com base nas edificações *nZEB*, optou-se por uma instalação fotovoltaica para geração de energia elétrica a partir da incidência solar. A capacidade de produção do sistema foi estimada em 174,89 MWh/ano com auxílio do software *System Advisor Model*.

Por fim, identificamos o superávit de produção energética em relação ao consumo em 21,37% ao ano.

Palavras-chave: nZEB, Agência Bancária, eficiência energética, eficiência térmica

This work is about a retrofit project for a bank in order to make it a building with zero energy balance (net Zero Energy Building - NZEB) to be reached by electricity generation it's annual consumption.

A bank branch in question belongs to the Bank of Brazil, located in Brasilia, Distrito Federal, has a total building area of 1450 m<sup>2</sup>, with two floors - ground and first floor - and has a visitation about 350-370 people a day. The actual situation of the agency presents a building with high-energy consumption, makeshift rooms, with various HVAC systems and an old aspect. These facts led the institution to carry out a structural reform in it, taking the opportunity; this work presents solutions to increase the thermal efficiency of these.

Initially, a justification for the subject under study and its relevance is presented, and a literature review about the studies carried out in the area. Next has a more detailed approach to NZEB concept, along with some successful cases.

The current situation of the agency is then presented, along with the local weather conditions and some energy simulations earliest used for comparison. The results of the energy analysis were validated through electricity consumption data provided by the institution itself and the air conditioning capacity installed in it.

Based on the solutions used in successful nZEBs, similar solutions were used in order to make more efficient building envelope of the thermal point of view, analyzing the impact of solutions through computer simulations. The software used for energy analysis was the *Design Builder*, which uses calculation engine as the renowned *EnergyPlus*, able to analyze the thermal comfort, thermal load and estimate the consumption of electricity.

Finally, we obtained a better thermal performance envelope which assists in reducing the thermal load of the building, thus reducing the energy consumption of the HVAC system. At the end of the optimization process, the building consumption was estimated at 144.1 MWh / year. Whereas the area thereof have a consumption rate of 99.38 kWh / m<sup>2</sup>.year.

Still based on NZEB buildings, we have opted for a photovoltaic installation to generate electricity from sunlight. The system's production capacity was estimated at 174.89 MWh / year with the aid of System Advisor Model software.

Finally, we identified the energy production surplus over consumption at 21.37% per annum.

Keywords: NZEB, Banking Agency, energy efficiency, thermal efficiency

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	TEMA EM ESTUDO E SUA RELEVÂNCIA .....	1
1.2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
1.3	OBJETIVOS .....	8
1.4	METODOLOGIA .....	8
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	9
2	CONCEITO NZEB .....	11
2.1	COMO ALCANÇAR O <i>NET-ZERO</i> .....	11
2.2	ALGUNS CASOS CONCRETOS .....	12
2.3	AGÊNCIAS BANCÁRIAS ECOEFICIENTES .....	19
3	ESTUDO DE CASO – AGÊNCIA SIA TRECHO 2 .....	21
3.1	ASPECTOS GERAIS .....	21
3.2	LOCALIZAÇÃO E CONDIÇÕES CLIMÁTICAS .....	22
3.3	SITUAÇÃO EXISTENTE .....	25
3.4	SIMULAÇÕES DO PANORAMA ATUAL .....	29
3.5	INTENÇÕES COM O PROJETO .....	33
4	ANÁLISE DAS INSTRUÇÕES NORMATIVAS .....	34
4.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	34
4.2	SOBRE A ENVOLTÓRIA DO PROJETO .....	34
4.3	SOBRE A ILUMINAÇÃO DO PROJETO .....	35
4.4	SOBRE A CLIMATIZAÇÃO DO PROJETO .....	35
4.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	37
5	ENVOLTÓRIA .....	38
5.1	IMPORTÂNCIA DA ENVOLTÓRIA PARA UM PROJETO NZEB .....	38
5.2	DESEMPENHO TÉRMICO DE PAREDES .....	39
5.3	DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS .....	41
5.4	DESEMPENHO TÉRMICO DE JANELAS .....	41
5.5	SIMULAÇÕES DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DA ENVOLTÓRIA .....	42
5.5.1	OBJETIVO E METODOLOGIA DAS SIMULAÇÕES ENERGÉTICAS .....	43
5.6	SOLUÇÃO PARA ENVOLTÓRIA .....	44
5.6.1	PAREDES .....	45
5.6.2	COBERTURA .....	45
5.6.3	PARTES ENVIDRAÇADAS .....	46
6	ILUMINAÇÃO .....	49
6.1	IMPORTÂNCIA DA ILUMINAÇÃO PARA UM PROJETO NZEB .....	49
6.2	ILUMINÂNCIA DE AMBIENTES .....	50
6.3	SOLUÇÕES PARA ILUMINAÇÃO .....	53
6.4	AUTOMAÇÃO DE ILUMINAÇÃO .....	54
7	CLIMATIZAÇÃO .....	56
7.1	IMPORTÂNCIA DA CLIMATIZAÇÃO PARA UM PROJETO NZEB E CONFORTO TÉRMICO .....	56
7.2	SITUAÇÃO PARA CLIMATIZAÇÃO .....	57
7.3	DETERMINAÇÃO DAS ZONAS TÉRMICAS .....	58
7.4	CARGA TÉRMICA .....	61
7.5	ALTERNATIVAS DE CLIMATIZAÇÃO .....	66
7.6	CONFORTO TÉRMICO .....	69
8	ANÁLISE ENERGÉTICA .....	72
8.1	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	72
8.2	EFEITOS DO SOBREAMENTO .....	74

8.3	GERAÇÃO DE ENERGIA .....	76
8.4	BALANÇO ENERGÉTICO .....	79
9	CONCLUSÃO .....	81
10	BIBLIOGRAFIA.....	83
11	ANEXOS.....	85
11.1	ANEXO I – Acervo Digital .....	85

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte (Brasil, 2014) .....	2
Figura 2.1 - Agência TD Bank nZEB (TD Bank, 2011) .....	13
Figura 2.2 - Oberlin College Lewis Center (Adam Joseph Lewis, 2012) .....	14
Figura 2.3 - Science House (UMN, 2004) .....	15
Figura 2.4 - Edifício ECOBOX (Fundación Internacional Metrópoli, 2008) .....	16
Figura 2.5 - Pearl River Tower (Owings & Merrill LLP, 2012).....	17
Figura 2.6 - Agência Pirituba, São Paulo (Banco do Brasil, 2012).....	20
Figura 3.1 - Planta baixa primeiro pavimento (Banco do Brasil, 2014) .....	21
Figura 3.2 – Planta baixa segundo pavimento (Banco do Brasil, 2014) .....	22
Figura 3.3 - Geolocalização da Agência SIA Trecho 2 (Google Earth, 2015) .....	23
Figura 3.4 – Média das temperaturas diária no ano de 2014 em Brasília (INMET, 2015) .....	24
Figura 3.5 – Pluviosidade acumulada no ano de 2014 em Brasília (INMET, 2015) .....	24
Figura 3.6 - Média das velocidades do vento diárias no ano de 2014 em Brasília (INMET, 2015) .....	25
Figura 3.7 - Faixada atual agência (O Autor, 2014).....	26
Figura 3.8 – Faixada lateral atual agência (O Autor, 2014).....	26
Figura 3.9 - Perfil de ocupação do edifício (O Autor, 2015) .....	27
Figura 3.10 - Unidade evaporadora atual (O Autor, 2014) .....	28
Figura 3.11 - <i>Splits</i> sala de autoatendimento (O Autor, 2014).....	28
Figura 3.12 - Sala de Reuniões (O Autor, 2014).....	29
Figura 3.13 - Perfil de consumo elétrico atual (Banco do Brasil, 2014).....	30
Figura 3.14 - Percentual de consumo de energia elétrica (O Autor, 2015).....	31
Figura 3.15 - Perfil PMV da situação atual (Design Builder, 2015).....	32
Figura 3.16 - Temperatura média diária do ar dentro da edificação (Design Builder, 2015) ..	33
Figura 5.1 - Radiação solar em superfícies opacas (O Autor, 2014) .....	40
Figura 5.2 - Radiação solar em superfície transparente (O Autor) .....	41
Figura 5.3 - Modelo recriado no software Design Builder (O Autor, 2014).....	44
Figura 5.4 - Consumo de energia elétrica após solução cobertura de <i>Isofoam</i> (O Autor, 2015) .....	46
Figura 5.5 – Carga Térmica após solução cobertura de <i>Isofoam</i> (O Autor, 2015) .....	46
Figura 5.6- Esquema de montagem vidro insulado (GlassecViracon, 2012).....	47

Figura 5.7 – Consumo de energia elétrica após solução de Vidros Insulados (O Autor, 2015)	48
.....	
Figura 5.8 - Carga Térmica após solução cobertura de vidros Insulados (O Autor, 2015).....	48
Figura 6.1 - Consumo de energia elétrica após solução Iluminação de LED (O Autor, 2015)	53
Figura 6.2 – Carga térmica após solução Iluminação de LED (O Autor, 2015).....	54
Figura 6.3 - Sensor de presença (Exatron, 2014) .....	54
Figura 7.1 – Perfil de consumo mensal do edifício com as soluções sugeridas (O Autor, 2015)	57
.....	
Figura 7.2 - Perfil PMV após aplicação das soluções sugeridas (Design Builder, 2015).....	58
Figura 7.3- Zonas térmicas pavimento térreo (O Autor, 2014).....	59
Figura 7.4 - Zonas térmicas segundo pavimento (O Autor, 2014).....	60
Figura 7.5 - Ambientes 1º pavimento (O Autor, 2014).....	63
Figura 7.6 - Ambientes 2º pavimento (O Autor, 2014).....	63
Figura 7.7 - Comparação do consumo de energia elétrica anual (O Autor, 2015).....	69
Figura 7.8 - Perfil PMV para novo sistema de climatização (Design Builder, 2015).....	70
Figura 7.9 - Perfil PMV após ajuste dos termostatos (Design Builder, 2015).....	70
Figura 7.10 - Perfil PPD mensal (O Autor, 2015).....	71
Figura 7.11 – Comparação do consumo anual de energia elétrica a partir das soluções utilizadas (O Autor, 2015).....	71
Figura 8.1 - Modelo ilustrativo de sistema fotovoltaico ligado à rede elétrica (O Autor, 2015)	73
.....	
Figura 8.2 - Modelo ilustrativo de sistema fotovoltaico autônomo (O Autor, 2015) .....	73
Figura 8.3 - Posicionamento do sol durante o ano (Autor desconhecido) .....	74
Figura 8.4 - Acumulado radiação solar direta e difusa durante o ano (Design Builder, 2015)	76
Figura 8.5 - Simulação de geração anual pelo período de 25 anos (SAM, 2015).....	78
Figura 8.6 - Esquema de consumo anual de energia elétrica por setor (O Autor, 2015) .....	79
Figura 8.7 - Comparação entre consumo e geração de energia mensal (SAM, 2015).....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Resumo das soluções empregadas nos edifícios nZEB (Confecção própria) .....	18
Tabela 3.1 - Quantificação dos apêlhos que consomem energia elétrica (Confecção própria) 31	
Tabela 5.1- Propriedades do vidro Solar Silver 20 On Clear (Confecção própria) .....	47
Tabela 6.1-Iluminâncias por classe de tarefas visuais (NBR 5413).....	50
Tabela 6.2-Fatores determinantes da iluminância adequada (NBR 5413).....	51
Tabela 6.3-Iluminância para Agência Bancárias (Confecção própria) .....	51
Tabela 6.4 - Características das soluções de iluminação que serão analisados (Confecção própria) .....	53
Tabela 7.1- Caracterização das zonas térmicas (Confecção própria).....	60
Tabela 7.2 – Divisão dos ambientes do Instituto de Letras (Confecção própria) .....	64
Tabela 7.3 – Taxa de renovação de ar interno. (Internet) .....	65
Tabela 7.4 - Carga térmica e vazão de ar dos ambientes climatizados (Confecção própria)...	65
Tabela 7.5 - Comparação das soluções de climatização (Confecção própria) .....	67
Tabela 7.6 - Características evaporador (Confecção própria).....	68
Tabela 8.1 - Características painel fotovoltaico (Confecção própria).....	77
Tabela 8.2 – Características inversor de corrente (Confecção própria) .....	78
Tabela 9.1 - Previsão de consumo elétrico (Confecção própria) .....	81

# LISTA DE SÍMBOLOS

## Símbolos Latinos

$A$	Área	[m <sup>2</sup> ]
$q$	Fluxo de calor	[W]
$T$	Temperatura	[°C]
$U$	Transmitância térmica	[W/m <sup>2</sup> .K]
RS	Radiação solar incidente total	[W/m <sup>2</sup> ]
$F_s$	Fator Solar	

## Símbolos Gregos

$\alpha$	Absorvitância solar
$\Delta$	Variação entre duas grandezas similares
$\rho$	Refletividade Solar
$\tau$	Transmissividade do vidro

## Subscritos

<i>amb</i>	ambiente
<i>ext</i>	externo
<i>in</i>	entrada
<i>ex</i>	saída
<i>sol-ar</i>	entre sol e ar

## Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
nZEB	Net-Zero Energy Building
ZEB	Zero Energy Building
ZEC	Zero Energy Community



# 1 INTRODUÇÃO

*Este capítulo apresenta o tema em estudo e sua relevância, além de sintetizar o que já existe de avanço e pesquisa na área e os objetivos pretendidos ao fim do projeto.*

## 1.1 TEMA EM ESTUDO E SUA RELEVÂNCIA

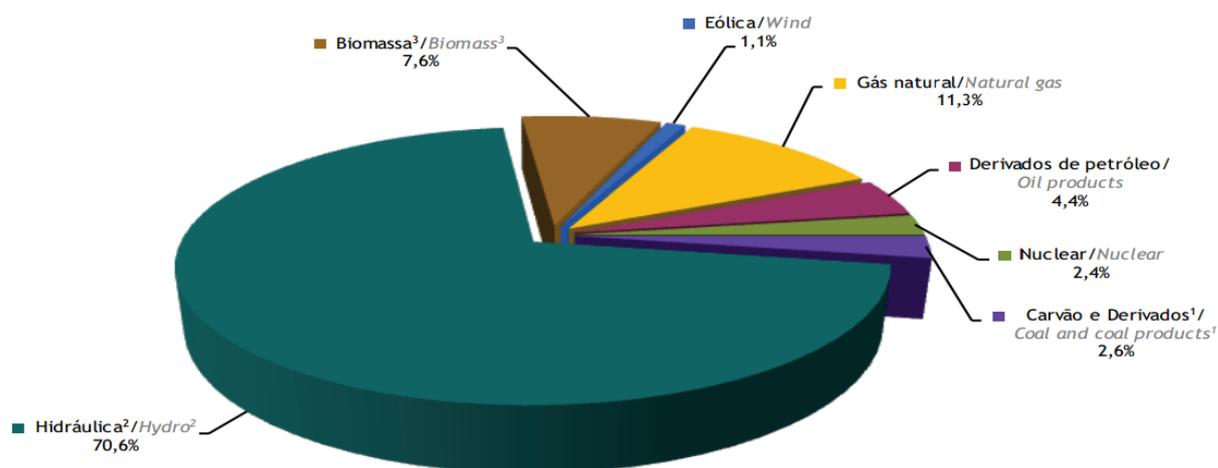
Após um século de crescimento industrial e desenvolvimento extremamente veloz, atualmente, o mundo se preocupa com os resquícios deixados pelo consumo desenfreado dos recursos naturais disponibilizados pelo planeta. Dessa maneira, é praticamente consenso que a nova vertente de consumo destes recursos deve ser sustentável, adequado ao tempo que o planeta consiga restitui-los na mesma proporção que são consumidos.

No Brasil as consequências já são visíveis há algum tempo, e podemos percebê-las nas variações climáticas, enchentes e alagamentos, secas prolongadas, descaracterização das estações, tempestades destrutivas e similares. Apesar do Brasil possuir uma matriz energética teoricamente e majoritariamente limpa, as indústrias ainda lançam muitos gases de efeito estufa na atmosfera. Existem ainda inúmeros casos de queimadas durante os anos, além da quantidade exagerada de emissões causadas por veículos.

Ainda, comum a este cenário, a demanda por energia elétrica só vem aumentando, já que o país se encontra em desenvolvimento, com promessa de figurar entre as próximas potências mundiais, e a necessidade de desenvolver a área industrial, comercial, agropecuária, de produção de energia e outras para atingir tal patamar.

De acordo com o Balanço Energético Nacional 2014 (ano base 2013), divulgado pelo Ministério de Minas e Energia, a produção de energia elétrica a partir de fonte hidráulica apresentou uma redução de 5,9% em relação ao ano de 2012, mesmo assim, figura como a principal fonte de geração de energia elétrica do país, atingindo um valor de 391 TWh. A produção de energia elétrica a partir de fonte eólica alcançou 6579 kWh, representando um aumento de 30,3% em relação ao ano de 2012. Já a potência instalada para geração eólica alcançou 2207 MW. A produção de energia elétrica a partir de fontes não renováveis representou 20,7% do total produzido no ano de 2013, representando aumento de 5,2% em relação ao ano anterior. A geração de autoprodutores chegou a 15,1% do total produzido no ano. As importações líquidas chegaram a 39,9 TWh.

No fim, a produção de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores chegou a 570 TWh no ano de 2013, representando um acréscimo de 3,2% em relação ao ano anterior. No total, foi ofertado de energia elétrica o valor de 609,9 TWh, montante 2,9% superior ao ano anterior, contra um consumo de 516,3 TWh, 3,6% maior que no ano anterior. Dessa forma, podemos observar na Fig. 1.1 a disposição da oferta interna de energia elétrica por fonte no ano de 2013, o que caracteriza também a matriz energética do País.



Notas/ Notes:

<sup>1</sup> Inclui gás de coqueria/ Includes coke oven gas

<sup>2</sup> Inclui importação de eletricidade/ Includes electricity imports

<sup>3</sup> Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações/ Includes firewood, sugarcane bagasse, black-liquor and other primary sources

Figura 1.1 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte (Brasil, 2014)

Ainda, de acordo com o Balanço Energético Nacional 2014, no ano de 2013 o setor residencial foi responsável pelo consumo de 124,9 TWh, representando um acréscimo de 6,1% em relação ao ano anterior. O setor comercial consumiu 84 TWh, 5,7% superior ao ano de 2012. O setor público alcançou um consumo de 41,3 TWh, que foi apenas 3,7% maior que o ano anterior.

Realizando uma consulta aos Balanços Energéticos Nacionais de anos anteriores (anos base 2010 a 2013), focando no setor comercial, podemos coletar os respectivos consumos: 69,7 TWh, 74 TWh e 79,8 TWh. Assim, podemos verificar que o consumo de energia elétrica pelo setor comercial vem experimentando um ritmo de crescimento médio de 6,5 % a.a., isso se deve ao fato que a taxa de construção de novos edifícios é maior que a taxa de descontinuação/reforma/demolição de edifícios antigos, além disso, a maioria dos edifícios antigos possuem uma eficiência energética muito baixa, ou seja, consomem bastante energia.

Deste fato, em conjunto com as novas vertentes de consumo e preocupações com o meio ambiente, os estudos relacionados à eficiência energética em edifícios vêm possibilitando a construção de edificações que possuem um baixo consumo de energia elétrica, ainda, possibilitando, a concepção de edifícios que possuem saldo energético igual ou próximo a zero. Este, citado por último, é conhecido como nZEB.

No sentido mais amplo, uma nZEB (Net-Zero Energy Building), é uma construção, seja residencial ou comercial, com uma demanda de energia bastante reduzida, onde os ganhos de eficiência energética nestes tipos de construção se dão pela aplicação de tecnologias de renovação de energia.

O desenvolvimento de edificações nZEB é possível através da alta eficiência isotérmica aplicada às edificações, da alta eficiência dos processos e dos equipamentos que utilizam energia elétrica e da utilização de energias renováveis, de fontes naturais, suficientes para suprir a necessidade de energia da edificação.

A construção de edificações que figurem no conceito nZEB é uma tendência cada vez mais utilizada, já que os edifícios são responsáveis por cerca de 18% da energia total consumida<sup>1</sup> no planeta e, considerando que grande parte dos gases de efeito estufa que são produzidos nos países são resultantes da produção ou do consumo de energia, a redução desse impacto ambiental passa a se tornar prioridade em projetos que visam a manutenção do meio ambiente nos tempos atuais.

Os 40 países desenvolvidos signatários do Protocolo de Quioto<sup>2</sup> assumiram como encargo reduzir a geração de gases de efeito estufa até 2012, ao equivalente a 95% do que ocorria em 1990, mas, em 2008, esse valor era 20% maior, ou seja, mantendo-se o atual perfil consumo de energia e produção, o que foi estabelecido torna-se impossível de ser atingido sem que sejam aplicadas restrições ao crescimento econômico. A grande solução para a questão é tornar os processos produtivos mais eficientes, reduzindo o consumo, de modo geral, e aumento a quantidade produzida; além de recorrer a fontes energéticas de menor impacto ambiental, o que conhecemos como fontes de energia limpa.

Portanto, as edificações de baixo consumo energéticos (nZEBs) possuem importante expressão no atual cenário de busca por eficiência e baixo consumo energético, o que nos leva a imaginar que edificações desse tipo serão cada vez mais comuns, criando um ambiente onde

---

<sup>1</sup> Schneider Electric – Eficiência Energética.

<sup>2</sup> O Protocolo de Quioto constitui um tratado complementar à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Criado em 1997, definiu metas de redução de emissões para os países desenvolvidos, responsáveis históricos pela mudança atual do clima.

a maioria dos edifícios, sejam residenciais ou comerciais, terão baixo consumo energético, ou até mesmo, serão capazes de produzir mais energia do que necessitam.

Neste cenário, este trabalho aborda o projeto de uma agência bancária nZEB, onde será desenvolvido, em cima de um projeto real, melhorias e modificações que tornem a edificação uma construção de elevada eficiência energética e produção de energia renovável, com foco em tornar o projeto economicamente viável e de possível implementação em escala, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do meio ambiente.

## 1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Quando tratamos do assunto “edificações com zero consumo energético”, ou, de forma geral, nZEBs, observamos que houveram vários estudos até se construir o cenário atual, onde já é economicamente e tecnicamente possível existir edificações desse tipo. Os principais estudos e publicações que tratam desse tema estão relacionadas a seguir.

A classificação das nZEB foi definida por Torcellini et al. (2006), em quatro tipos deferentes, que são:

**Net Zero Site Energy:** Produz, pelo menos, a mesma quantidade de energia renovável que é utilizada em um ano de funcionamento da construção.

**Net Zero Source Energy:** Produz ou recebe, pelo menos, a mesma quantidade de energia renovável que é utilizada em um ano de funcionamento da construção. Diferente das Site nZEBs, estes edifícios contemplam em sua periferia o sistema de transmissão e a usina responsável pela produção elétrica. Isto retrata uma melhor representação do impacto total de energia para o cálculo do saldo final em comparação com uma Net Zero Site Energy.

**Net Zero Energy Costs:** Neste caso, todo o gasto que o proprietário do edifício com energia elétrica proveniente da rede local é pago através da produção de energia renovável da construção, e precisa ser, pelo menos, igual ao que ele recebe durante ao ano.

**Net Zero Emissions:** Produz ou recebe o suficiente de energia renovável livre de emissão (emissions-free) para zerar as emissões produzidas indiretamente pelo consumo de energia elétrica proveniente da rede local anualmente.

Uma análise de viabilidade de conversão dos edifícios comerciais norte-americanos em nZEBs foi apresentada por Griffith et al. (2006), para tal, foi utilizado um método com vários edifícios modelo, afim de caracterizar o setor comercial americano. Desta forma, concluem que é tecnicamente possível implementar o conceito ZEB (Zero Energy Building) para partes

significativas do setor comercial. Utilizando as tecnologias e práticas da época, o potencial técnico seria que 22% dos edifícios poderiam ser ZEBs. Projetando-se para 2025, com novas tecnologias, o potencial técnico seria de 64%. No caso de excesso de produção de energia elétrica, este poderia ser livremente exportada para a rede, até que em 2025, com projeções, o setor comercial poderia gerar até 37% superavitário em energia elétrica. Ou seja, os resultados sugerem que o objetivo é viável para o setor como um todo e que investimento em P&D devem ser implementado para superar obstáculos afim de atingir a projeção obtida.

No documento Strategic Plan (2008), da ASHRAE, é definido como uma das metas de desenvolvimento “liderar o avanço de projeto e operação de edifícios sustentáveis”, destacando a importância de edifícios sustentáveis para o meio ambiente. Neste mesmo planejamento, a ASHRAE traça um plano de visão detalhado para o ano de 2020 que trata do desenvolvimento de nZEB, onde pretende, até o ano de 2030 possibilitar comunidades nZEBs; para tal, a ASHRAE se compromete em desenvolver novas ferramentas através de pesquisa que auxiliem o projeto de nZEBs, tornar mais fácil o uso de novas tecnologias através de publicações e treinamentos; Utilizar relações públicas e marketing para espalhar o conceito nZEB e seus benefícios para toda comunidade mundial, incluindo designers, projetistas, empresários, engenheiros e outros; Continuamente revisar os recursos relacionados à energia, incluindo novos recursos e analisando os antigos.

Uma análise dos programas de eficiência energética mundiais realizada por Laustsen (2008), aborda as nZEBs, destacando a importância dessas edificações no cenário americano. Por fim, após uma análise de todos os programas de eficiência energética, ele destaca algumas recomendações para tornar real o grande potencial de conservação de energia identificado, que entre eles, os principais são: Todos os governos, estados ou regiões devem determinar, aplicar e atualizar regularmente requisitos de eficiência energética para novos edifícios, sendo que estes requisitos devem figurar em normas de construção, baseadas em reduzir custos ao longo de pelo menos 30 anos; Construções do tipo *Passive Houses* e nZEBs devem ser o modelo para edificações no futuro; Cargas tributárias sob construções que prezam eficiência energética devem ser removidas para viabilizar a construções nos próximos 30 anos; Os Governos deveriam dar exemplo e construir novos edifícios públicos otimizados energeticamente para uma vida de 30 anos ou para a vida inteira do edifício, além de elaborar um pacote de medidas para eliminar as barreiras para eficiência energética em novos e já existentes edifícios; Mais P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) devem ser realizadas neste cenário.

Um novo conceito de edificações nZEB é apresentado por Laustsen (2009), que se tratam de *edificações que conseguem prover condições normais de conforto internamente e ainda*

*assim não utilizar energia elétrica.* Tal definição torna-se extremamente necessária pois a concepção de edificações nZEB seria extremamente fácil se não precisasse garantir condições normais de conforto interno, pois bastaria construir uma edificação sem equipamentos elétricos, climatização, água quente nem iluminação que seria uma nZEB, entretanto, ela não oferecia conforto térmico aos usuários do edifício nem condições de utilização.

Um histórico da necessidade de redução de consumo de energia elétrica nos Estados Unidos que levou, conseqüentemente, ao desenvolvimento de outras fontes de energia e estudos em eficiência energética, inclusive em residências, até o cenário atual de edificações nZEB foi realizado por Parker (2009). Após uma análise do desempenho de edifícios de baixa energia nos Estados Unidos, ele conclui que as nZEBs já são técnica e economicamente possíveis.

Uma proposta de expansão do conceito nZEB para Comunidades de Energia Zero (ZEC) foi desenvolvida por Carlisle et al. (2009), que se trata de uma comunidade onde as necessidades energéticas são muito reduzidas, através de ganhos de eficiência, de modo que há equilíbrio de energia para veículos, energia térmica e energia elétrica dentro da comunidade, que é atendida por energia renovável. O referido trabalho finaliza expressando que um dos principais objetivos é incentivar projetistas e desenvolvedores em desenvolverem comunidades Energia Zero.

Um problema entre nZEB e densidade urbana em Toronto, Canadá foi verificado por O'Brien (2010), que concluiu que menores densidades urbanas aumentam o potencial de energia gerada por meios solares por habitante; já maiores densidades urbanas reduzem o consumo de energia de transporte e operação doméstica por habitante.

Uma análise dos métodos de avaliação de viabilidade econômica realizada por Verbruggen et al. (2011) critica a avaliação através de fatores econômicos sem contabilizar irrevogabilidade, propondo uma metodologia de análise econômica incluindo irrevogabilidade.

Durante o *European Council for an Energy Efficient Economy* (2011) foi elaborado documento que apresenta uma revisão das políticas de promoção de nZEBs com enfoque nas europeias, citando vários dos estudos apresentados acima. Com isso, pretende estabelecer para maioria dos Países Europeus um *deadline* no ano de 2020 para que, na média, todas as edificações sejam nZEB, por fim, concluindo que os membros de Estado têm obrigação de elaborar planos nacionais de promoção às edificações nZEBs, sendo que eles devem considerar as diferenças de aplicações entre cada edificação.

Uma análise de viabilidade econômica das nZEBs através de um estudo de caso de um condomínio residencial de quatro blocos com sessenta apartamentos cada, totalizando uma

construção de 7000 m<sup>2</sup> realizado por Adhikari et al. (2012) obteve viabilidade para nZEBs fotovoltaicas.

Um dos estudos mais recentes relacionados realizado por Torcellini et al. (2014), enfatiza que, historicamente, os projetos se basearam apenas em análises simples de *payback* para justificar estratégias de eficiência energética independentemente de outras decisões de design. Recentemente, os projetos começaram a empregar abordagens mais abrangentes no estudo de sua viabilidade econômica. O impacto destas melhorias é evidente no crescente número de projetos de construção que têm sido capazes de alcançar NZE dentro das limitações de orçamentos típicos de projeto. Por fim, eles concluem que para edifícios NZE tornarem-se a maioria na construção comercial, será necessário demonstrar ao setor dominante de edifícios comerciais que eles podem ser concebidos e construídos com baixo custo.

No âmbito das normas, podemos citar a norma ASHRAE/ANSI/USGBC 189.1, que estabelece as diretrizes de conceito para projeto e edificações da alta performance (Green Buildings); na Europa, a EPBD Recast (Energy Performance Of Buildings Directive Recast) estabelece as diretrizes para as edificações nZEB; no Brasil está em curso a elaboração da norma para uso racional de energia nas edificações – o PROCEL EDIFICA – com expectativa de ativação da obrigatoriedade do uso.

A certificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), criada pelo USGBC (United States Green Building Council) há mais de uma década nos Estados Unidos, é considerada o principal selo para edificações no mundo. Trata-se de um sistema internacional de certificação e orientação ambiental para edificações, utilizado em 143 países, com intuito de incentivar a transformação dos projetos, obra e operação das edificações, sempre com foco na sustentabilidade de suas atuações.

Os benefícios de obter uma certificação LEED são inúmeros, por exemplo, no âmbito econômico: diminuição dos custos operacionais, valorização do imóvel, aumento na velocidade de ocupação, aumento da retenção e modernização da edificação; no âmbito social: melhora na segurança e priorização da saúde dos trabalhadores e ocupantes, inclusão social e aumento do senso de comunidade, capacitação profissional, conscientização de trabalhadores e usuários, incentivo a fornecedores com maiores responsabilidades socioambientais, estímulo a políticas públicas de fomento a construção sustentável; no âmbito ambiental: uso racional e redução da extração dos recursos naturais; redução do consumo de água e energia, implantação consciente e ordenada, mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, uso de materiais e tecnologias de baixo impacto ambiental, redução, tratamento e reuso dos resíduos da construção e operação.

A certificação possui sete dimensões a serem avaliadas nas edificações, através de pré-requisitos, créditos e recomendações que, quando atingidas, garantem pontos a edificação. O

nível da certificação é definido pela quantidade de pontos adquiridos, podendo variar entre 40 pontos (nível certificado) e 110 pontos (nível de certificação platina).

Atualmente, devido a grande preocupação com a sustentabilidade e com o meio ambiente, incluindo a crescente demanda de necessidade energética em conjunto com o lento crescimento da produção energética em nosso país, o cenário atual mostra-se bastante favorável a implantação de edifícios nZEBs. Além disso, está em curso na Europa a elaboração de um conjunto de requisitos para uniformizar os conceitos de quantificação, que estabelece o ano 2018 como limite para que todos os novos edifícios públicos atinjam o conceito nZEB. Para o mercado privado em geral, o prazo estabelecido é o ano 2020. No Brasil não encontramos algo parecido, entretanto, já existe um projeto, como citado anteriormente, que pretende que os edifícios sejam mais eficientes energeticamente, o que é o primeiro passo para implantação de edificações nZEBs.

### **1.3 OBJETIVOS**

Tendo em vista o que foi exposto anteriormente, o objetivo deste trabalho é desenvolver um projeto de *retrofit*, tendo como base uma agência bancária do Banco do Brasil, situada no SIA Trecho 2, Brasília, Distrito Federal, para torná-la uma edificação nZEB. Incluindo os objetivos secundários:

- Estudar a viabilidade e desafios de transformar uma edificação já existente em uma nZEB;
- Levantar soluções que reduzam o consumo de energia elétrica;
- Estudar a eficiência energética do projeto em questão, incluindo materiais de isolamento, sistemas de climatização de baixo consumo de energia, utilização de energia solar, iluminação de baixo consumo de energia elétrica e similares;
- Propor, mediante os estudos mencionados, soluções que possam contribuir para alcançar o balanço de consumo de energia elétrica com saldo igual – ou próximo – a zero;
- Estudar o impacto de cada solução no consumo de energia elétrica da edificação.

### **1.4 METODOLOGIA**

Os já citados objetivos serão alcançados através da seguinte metodologia de trabalho:

Inicialmente, será tomado um projeto de agência bancária do Banco do Brasil, onde será realizado um estudo de caso para implantar alterações nele que o transformem em uma edificação nZEB. Nesta etapa será realizado um estudo detalhado nos normativos do Banco do Brasil a respeito do tema em estudo, como, por exemplo, orientações para projetos de

climatização, iluminação, disposição de equipamentos e outros. Ao mesmo tempo, serão levantadas soluções que contribuam para a redução de consumo de energia elétrica, sejam elas soluções de isolamento térmico, climatização, iluminação, ventilação natural, aplicação de energias renováveis e similares; além de levantar a viabilidade, custo-benefício e manuseio da solução.

Em seguida, serão implementadas soluções com base nas *nZEBs* bem-sucedidas, analisando o impacto individual no benefício que tange a redução do consumo de energia elétrica. Após, será verificado o conforto térmico da edificação, analisando o perfil PMV anual e realizando ajustes, quando necessários, para a manutenção do conforto térmico.

Por fim, com base na demanda de energia elétrica restante, será dimensionado sistema de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, com objetivo de atingir o saldo nulo – ou positivo – de consumo energético.

## **1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO**

O presente trabalho é dividido em dez capítulos:

### **1. Introdução**

Destinado a apresentar a necessidade de implantação de edifícios mais eficientes do ponto de vista energético no panorama atual, um histórico de pesquisas acerca do conceito nZEB e os objetivos do presente trabalho.

### **2. Conceito nZEB**

Onde é apresentado de forma mais detalhada o conceito de edifícios de consumo nulo e o que é necessário para realizar tal projeto, além de enumerar alguns projetos que chegam a ser, de fato, nZEBs, e alguns projetos referências em eficiência energética

### **3. Estudo de caso – Agência SIA Trecho 2**

Apresenta o projeto atual a ser modificado, a fim de tornar a agência bancária uma edificação nZEB, ainda, apresenta o panorama detalhado atual da agência como um estudo de caso, seu perfil de consumo elétrico e, inclusive, a carga térmica inerente ao edifício.

### **4. Análise das instruções normativas**

Capítulo destinado à análise das normas internas do Banco do Brasil pertinentes ao presente projeto.

## **5. Envoltória**

Destaque da importância de uma envoltória eficiente em um projeto nZEB, de acordo com os mecanismos de trocas de calor presentes entre o ambiente e a construção, além de determinar soluções para o projeto que visam aumentar a sua eficiência térmica.

## **6. Iluminação**

Semelhante ao capítulo anterior, este é destinado a iluminação do projeto, outro fator importante para projeto de alta eficiência. Aqui são analisadas as necessidades de luminosidade no ambiente, além do custo benefício de cada solução de iluminação que pode ser adotada.

## **7. Climatização**

Outro fator importantíssimo no consumo final de energia elétrica da agência é o sistema de climatização. O conforto térmico não pode ser sacrificado em detrimento da diminuição de gastos com energia, ou seja, um projeto nZEB precisa atender os requisitos de conforto térmico, para tal é empregado um sistema de climatização, desenvolvido neste capítulo.

## **8. Análise Energética**

Capítulo destinado ao dimensionamento do sistema de geração de energia fotovoltaico do projeto. Em virtude do saldo de energia restante, e tendo como base os projetos de geração elétrica das *nZEBs* existentes, optou-se pelo sistema fotovoltaico.

## **9. Conclusão**

Por fim, um apanhado geral de todo o trabalho desenvolvido, analisando a conclusão dos objetivos propostos.

## **10. Bibliografia**

Referências bibliográficas que deram embasamento ao presente trabalho.

## 2 CONCEITO NZEB

*Este capítulo apresenta de forma mais detalhada o conceito nZEB, suas vantagens, desafios para implantação e exemplos bem-sucedidos que servem de modelo para o presente trabalho.*

### 2.1 COMO ALCANÇAR O NET-ZERO

O conceito nZEBs é bastante atrativo: Edifícios altamente eficientes em termos energéticos que utilizam recursos renováveis para produzir a energia que consomem. Proprietários e inquilinos no exterior já estão aferindo retornos atrativos em seus investimentos nZEB, reduzindo a emissão de carbono e o consumo de energia elétrica.

O projeto nZEB deve abordar a eficiência térmica do edifício, que inclui a sua climatização, a eficiência das paredes, partes envidraçadas e aberturas do edifício; a eficiência elétrica, que inclui sistema de iluminação, automação de iluminação, equipamentos utilizados, iluminação natural; e, em alguns projetos, o reaproveitamento e consumo sustentável de água.

Algumas pesquisas mostram que todos os edifícios projetados para poupança de energia e de custos significativos sob condições reais de operação não atingiram, de fato, níveis de economia pretendidos no projeto. Em primeiro lugar, percebe-se que os projetos foram um pouco otimistas demais sobre o comportamento e a aceitação dos sistemas pelos ocupantes. Os consumos de energia foram maiores que o projeto e a produção fotovoltaica de energia menor do que as simulações previstas. Ainda, a iluminação natural contribuiu menos do que o previsto, o que significou uma iluminação predominantemente elétrica.

Em geral, um projeto nZEB não se trata apenas de cortar todo e qualquer gasto com energia elétrica em detrimento do saldo energético zero, nem a utilização de fontes de energia renováveis a qualquer custo para suprir a necessidade energética, o projeto nZEB tem a vertente de eficiência energética: todo e qualquer edifício nZEB é um edifício altamente eficiente energeticamente, com baixo consumo de energia elétrica.

Assim, as práticas de projeto nZEB devem considerar, primeiramente, a otimização da utilização de energia elétrica, através da otimização do comportamento térmico da edificação, o qual deve prezar pelo conforto térmico do ambiente com a máxima eficiência possível, para então adotar-se uma fonte renovável de energia para anular os gastos restantes do projeto.

Com as pesquisas em desenvolvimento e os projetos já realizados, a possibilidade de construção de cada vez mais edificações tipo nZEBs pode inaugurar no país uma rede de produção de energia limpa além de reduzir o consumo da sua matriz energética.

## 2.2 ALGUNS CASOS CONCRETOS

Os Estados Unidos e alguns países Europeus são referência em pesquisas na área de construções de alta eficiência energética, sendo que, da maioria dos projetos atuais que atingiram a meta nZEB se encontram nestes países. Nesse contexto, iremos analisar algumas das principais edificações do tipo nZEB a fim de elencar soluções comprovadamente eficientes para a viabilização destes projetos.

O Departamento de Energia Americano, disponibiliza, através da Energy Efficiency and Renewable Energy, uma relação de construções de alta eficiência energética e edificações nZEB nos Estados Unidos, contemplando as soluções adotadas em cada um dos projetos e os resultados obtidos. Em virtude do tema em estudo, algumas edificações merecem uma abordagem mais detalhada, dada às soluções de eficiência energética empregadas e aos objetivos para os quais foram desenvolvidas.

*Cypress Creek Store*, pertencente ao banco americano TD Bank, foi inaugurada em maio de 2011, sendo o mais recente edifício nZEB dos Estados Unidos de acordo com o Departamento de Energia Americano. O edifício atingiu o consumo inferior à sua produção de energia durante o ano de 2012, de acordo com seus proprietários.

A principal característica deste projeto é a sua localização, um clima classificado como muito quente e úmido, similar ao clima encontrado no território brasileiro, o que traz grande relevância da sua análise para este trabalho. Além disso, o edifício pertence à iniciativa privada com fins lucrativos.

A *Cypress Creek Store* conta com uma ocupação média de 12 pessoas, oito horas por semana cada, e uma média de 400 visitantes com permanência de 15 minutos por semana cada.

A energia elétrica é provida pela geração de cerca de 400 painéis fotovoltaicos que atingem o valor de 86 kW de potência gerada, enquanto a carga de refrigeração do edifício foi avaliada em 95,4 W/m<sup>2</sup>.

O sistema de HVAC empregado foi de expansão direta por meio de um fluxo de refrigerante variável de alta eficiência com modulação digital de compressores scroll, proporcionando a carga de arrefecimento necessária.

As alternativas visando baixar o consumo de energia envolveram: baixos coeficientes de transferência de calor na envolvente; uso de paredes exteriores e telhado de cor clara; sombreamentos na envolvente envidraçada; redução das cargas internas por meio de

equipamentos e iluminação eficiente; uso de permutador de calor entre o ar viciado e o ar de renovação; janelas e portas de alta performance que evitem a entrada de calor por condução ou radiação; maior vedação possível de janelas e portas evitando as infiltrações; e utilização de equipamentos de informática e outros eletrônicos com baixo consumo de energia elétrica.



Figura 2.1 - Agência TD Bank nZEB (TD Bank, 2011)

A *Oberlin College Lewis Center*, localizada no campus da faculdade de Oberlin em Ohio, foi inaugurado em 2000, abrigando salas de aula, escritórios, um auditório, uma pequena biblioteca e um átrio, faz parte de um programa acadêmico para avaliar a utilização de novas tecnologias com objetivo de ajudar a redefinir a relação entre a humanidade e o meio ambiente.

O projeto foi desenvolvido e concretizado pela própria universidade, liderado pelo professor Orr em conjunto com alunos, professores e membros da comunidade. Na pós-ocupação, O *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) tem trabalhado junto à universidade para estudar e melhorar o seu desempenho energético.

O edifício conta com uma ocupação de 80 pessoas durante 60 horas por pessoa por semana, no entanto, o uso do edifício no verão é restrito para apenas 10 pessoas por 40 horas semanais. Esse caso chama atenção por apresentar um alto nível de carga térmica interior, pois tem um auditório que reúne elevado número de usuários em um único ambiente.

As soluções que permitem o baixo consumo de energia são: bombas de calor geotérmicas, ar condicionado de alta eficiência, iluminação otimizada com grande utilização de iluminação natural.

A energia elétrica provém da geração de dois conjuntos de painéis fotovoltaicos: um de potência teórica de 60 kW instalado sobre o telhado e outro de 100 kW instalado em 2006 no estacionamento para suprir a produção de energia que era inferior ao consumido, atingindo então uma produção de 110% em relação ao consumo.

As soluções de eficiência energética contemplam envolvente com alto isolamento térmico exterior, incluindo janelas de vidro triplo preenchidas com gás argon estrategicamente posicionadas para maximizar os ganhos de calor e a iluminação nos períodos de baixas temperaturas; inércia térmica elevada por meio de pisos de concreto e paredes de alvenaria exposta que ajudam a reter e irradiar o calor.

Para a climatização, foram utilizados poços geotérmicos de circuito fechado, um sistema de ar condicionado de alta eficiência e bobinas radiantes para climatizar o auditório, quando necessário. No controle da ventilação, empregou-se sensores de dióxido de carbono em conjunto com janelas de operação automatizada.

Seu balanço de energia elétrica anual é negativo em torno de 16 kWh, e ainda é referência no desenvolvimento de tecnologias de alta eficiência energética pelo seu caráter experimental.



Figura 2.2 - Oberlin College Lewis Center (Adam Joseph Lewis, 2012)

Outra construção instalada nos EUA a ser estudada é a *Science House* no Museu de Ciência de Minnestona, inaugurada em 2004. Ela foi concebida para ser utilizada como instalação

pública ambiental experimental, sala de apresentações e espaço para eventos especiais do Museu. Esse edifício tem sua geração fornecida por painéis fotovoltaicos que geram até 8,8 kW de potência. A peculiaridade deste edifício é a sua capacidade de alcançar o balanço energético nulo mesmo em condições desfavoráveis, que apresentam temperaturas que chegam a 54 °C e umidades baixas no inverno e altas no verão.

A climatização é realizada por ventilação natural intensificada por uma chaminé térmica, janelas de regulação automática e bombas de calor geotérmicas. A envolvente tem alto isolamento térmico, proporcionando coeficientes de transferência de calor nas janelas menores que 0,32 W/m<sup>2</sup>.K e resistências térmicas superiores a 25 m.K/W na envolvente. O aproveitamento da iluminação natural é máximo e a iluminação artificial é controlada por sensores de presença e de luminosidade.



Figura 2.3 - Science House (UMN, 2004)

O Edifício Solar XXI, inaugurado no ano de 2006, localizado em Lisboa, Portugal, é utilizado para demonstração de atividades relacionadas com a eficiência energética e à energia renovável. Assim como os demais casos relacionados, os conceitos de tecnologias renováveis foram integrados ainda na fase de concepção do projeto.

O conjunto de medidas construtivas para o conforto térmico interior contemplam isolamento térmico exterior, vãos envidraçados orientados a Sul devidamente protegidos da

radiação solar e sistema de tubos enterrados associados a estratégia de ventilação natural por meio de chaminés térmicas.

A edificação é vencedora do prêmio EDP 2005, na categoria de edifícios de serviços e classificado em 3º lugar no *European Award, Building-Integrated Solar Technology*, 2008.



Figura 2.4 - Edifício ECOBOX (Fundación Internacional Metrópoli, 2008)

Edifício Pearl River Tower, Guangzhou, China, construído em 2012,   um prédio comercial de diversas finalidades, com uma área total de 212.615 m<sup>2</sup> construídos   um caso que merece destaque. As solu es de redu o energia renovável utilizadas são: Energia eólica, que, devido suas fachadas serem dotadas de curvas matematicamente concebidas para provocarem um aumento da velocidade do vento em cerca de 250% da usual, direcionando-o aos geradores eólicos através de um funil, ocasionando um aumento de produ o de energia da ordem de 15 vezes em rela o ao que ocorreria em unidades isoladas convencionais; Energia fotovoltaica, através de painéis localizados na parte superior do edifício e pequenas placas na parte exposta das persianas do edifício.

A climatiza o   realizada pelo aproveitamento do ar que movimenta as turbinas eólicas, fazendo-o circular entre as paredes do edifício, dispensando qualquer tipo de utiliza o de sistema de ar condicionado. Ainda, contribui para a baixa carga térmica, vidros triplos na fachada e controle de luz natural através das persianas automatizadas.

Devido aos ventos irregulares na região, o edifício tem dificuldades em atingir o saldo nulo todos os meses do ano, entretanto, anualmente, a gera o de energia consegue ser maior

que o consumo do edifício. Ainda, a utilização de energia eólica viabiliza que a produção pode realizar-se durante todo o tempo e podendo ser exportada através da concessionária.

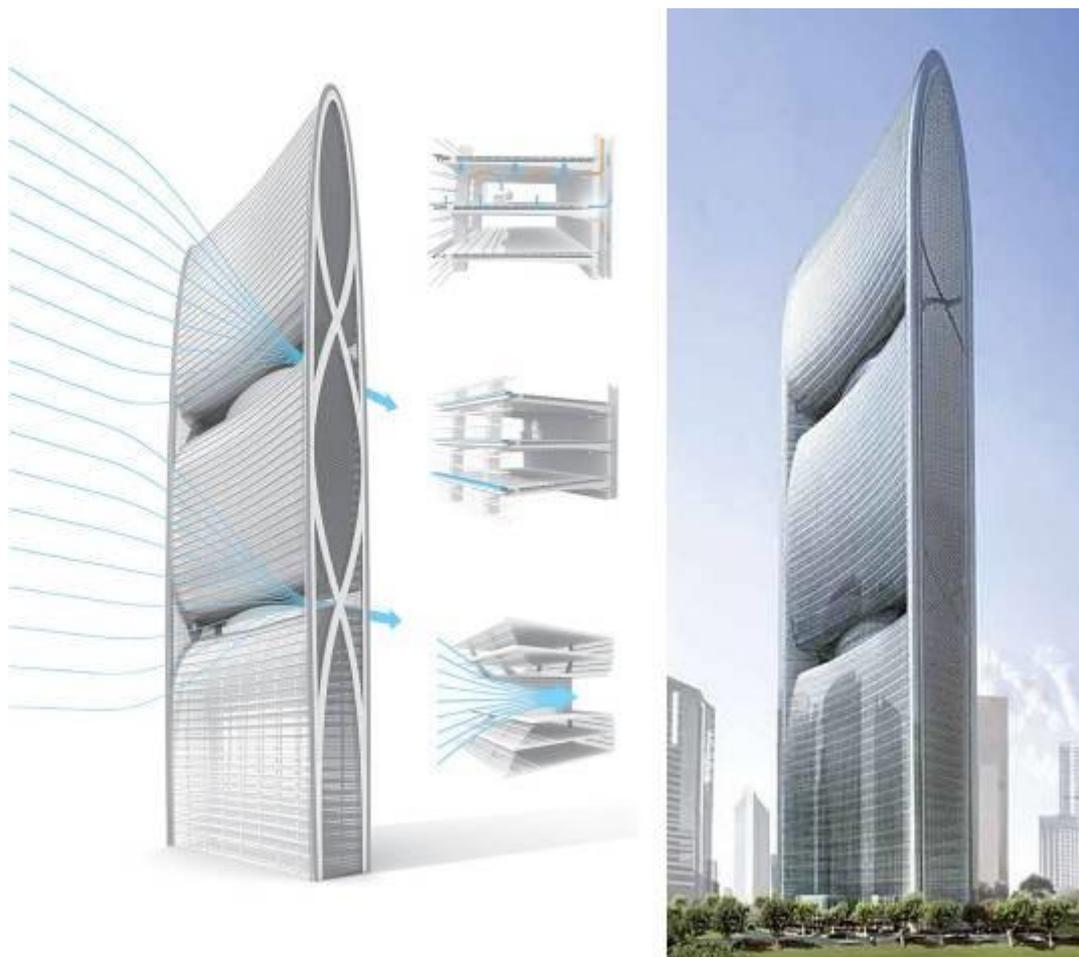


Figura 2.5 - Pearl River Tower (Owings & Merrill LLP, 2012)

Após a análise de algumas edificações nZEBs precisamos elencar soluções comumente empregadas para nortear as decisões que serão tomadas acerca das soluções que devem ser empregadas no projeto afim de atingir o saldo energético nulo. Percebemos, principalmente, dois blocos de soluções, que são: soluções para conforto térmico e soluções para geração. Assim, encontra-se, na tabela 2.1, o resumo das principais soluções empregadas nos casos concretos analisados.

Tabela 2.1 - Resumo das soluções empregas nos edifícios nZEB (Confecção própria)

Edifício	Localização	Soluções	
		Geração	Conforto térmico
Cypress Creek Store	Califórnia, EUA	Energia Solar Fotovoltaica	Envolvente com baixos coeficientes de transferência de calor
			Uso de paredes exteriores e telhado de cor clara
Oberlin College Lewis Center	Ohio, EUA	Energia Solar Fotovoltaica	Sombreamentos na parte envidraçada
			Utilização de equipamentos e iluminação eficiente;
			Uso de trocador de calor no sistema de HVAC
			Janelas e portas de alta performance.
Science House	Minnesota, EUA	Energia Solar Fotovoltaica	Poços geotérmicos de circuito fechado
			Envolvente com alto isolamento térmico exterior
			Sistema de ar condicionado de alta eficiência
			Bobinas radiantes
Edifício Solar XXI	Lisboa, Portugal	Energia Solar Fotovoltaica	Sensores de dióxido de carbono em conjunto com janelas de operação automatizada.
			Envolvente tem alto isolamento térmico
			Ventilação natural
			Chaminé térmica
Peral River Tower	China	Energia Eólica Energia Solar Fotovoltaica	Janelas de vidro triplo preenchidas com gás argon
			Inércia térmica elevada por meio de pisos de concreto e paredes de alvenaria exposta que ajudam a reter e irradiar o calor.
			Controla a iluminação artificial por sensores de presença e de luminosidade.
			Janelas de regulação automática
Edifício Solar XXI	Lisboa, Portugal	Energia Solar Fotovoltaica	Bombas de calor geotérmicas
			Isolamento térmico exterior
			Sistema de tubos enterrados associados
			Vãos envidraçados orientados a Sul devidamente protegidos da radiação solar.
Peral River Tower	China	Energia Eólica Energia Solar Fotovoltaica	Ventilação natural por meio de chaminés térmicas
			Vidros triplos na faixa da
			Ventilação Natural entre as paredes do edifício

Dessa maneira, concluímos a abordagem sobre as principais edificações *nZEB*, destacando as soluções por elas utilizadas. Ainda, verificou-se uma carência de estudos acerca desse tipo de edificações para climas tipicamente brasileiros, principalmente devido às altas temperaturas encontradas constantemente nas regiões ao norte do trópico de capricórnio.

### **2.3 AGÊNCIAS BANCÁRIAS ECOEFICIENTES**

No Brasil, ainda não existem edificações que possam ser classificadas como *nZEBs*, entretanto, algumas empresas que possuem responsabilidade socioambiental possuem alguns projetos ecoeficientes. No âmbito do trabalho em questão, iremos destacar algumas agências bancárias que se destacam se tratando em eficiência térmica e baixo consumo de energia elétrica.

O Banco do Brasil, através do projeto “Agência Ecoeficiente”, desenvolve projetos de agências com implementação de um conjunto de soluções de sustentabilidade ambiental e eficiência energética.

Para o desenvolvimento dos projetos de arquitetura, foram adotadas práticas de sustentabilidade, produtos já utilizados em outras agências, soluções utilizadas em edifícios comerciais ou experimentadas em institutos de pesquisas. As agências contam com projeto de arquitetura bioclimática, utilizando sistemas passivos de controle do ambiente, uma localização otimizada do edifício em relação às variáveis do clima. Utilizam sistemas de geração híbrida (energia da rede e células fotovoltaicas), sistemas de uso racional da água como reaproveitamento, captação de água da chuva e tratamento das águas cinzas. Maximização de ventilação natural e do desempenho térmico do edifício através da utilização de telhado verde, jardim interno, paredes com tijolos de solo-cimento e isolamento térmico.

As duas agências concretizadas até hoje através deste projeto são: Agência Pirituba, em São Paulo e Agência Messejana, em Fortaleza. Ambas inauguradas em 2012, possuem um consumo médio de energia de 9,37 kWh/m<sup>2</sup>.ano e 18,45 kWh/m<sup>2</sup>.ano, respectivamente, além da certificação LEED, na categoria Gold.



Figura 2.6 - Agência Pirituba, São Paulo (Banco do Brasil, 2012)

O Banco Santander, semelhante ao Banco do Brasil, possui construções sustentáveis - aquelas que podem melhorar a qualidade de vida das pessoas e ao mesmo tempo reduzir o consumo de energia e recursos naturais, reciclar materiais e diminuir o uso de substâncias perigosas, ao longo de todo o ciclo de vida do edifício<sup>3</sup> - e conta com um manual de boas práticas de construção, que tenta empregar em todas as reformas e novas construções.

Este manual é baseado na gestão e destinação correta dos resíduos durante a obra, priorização da iluminação natural, sistema de captação de água da chuva, reúso da água em descargas e irrigação de jardins, descargas de duplo fluxo ou à vácuo, lajes com isolamento térmico, tubulações e caixas-d'água feitas com polietileno, reduzindo a emissão de compostos voláteis prejudiciais à saúde, uso de madeira certificada em todas as obras e mobílias, substituição de lâmpadas comuns por fluorescentes T5 ou LED, setorização da iluminação e sensores de presença e coleta seletiva.

Como casos concretos, podemos citar a agência Granja Viana, em São Paulo, que foi o primeiro empreendimento da América Latina a obter o selo LEED, de acordo com a própria instituição. A torre Santander, que obteve a certificação LEED Ouro na categoria *Core and Shell* no ano de 2010. O Centro de Processamento de Dados, em Campinas, composto por três edifícios com certificação LEED (2 Gold e 1 Silver).

---

<sup>3</sup> Definição baseada na ISO/IC 59/SC3 N 459.

## 3 ESTUDO DE CASO – AGÊNCIA SIA TRECHO 2

*Este capítulo apresenta, de forma detalhada, o panorama atual da agência que será reformada, e o projeto de retrofit para torná-lo um projeto de edificação nZEB.*

### 3.1 ASPECTOS GERAIS

O projeto em questão objetiva o desenvolvimento de um edifício nZEB da agência SIA Trecho 2 do Banco do Brasil (Figura 3.1 e figura 3.2), que se trata de um prédio de dois pavimentos, com área construída de 1450 m<sup>2</sup>, onde conta com um elevado número de pessoas durante o expediente bancário, e conta com diversos ambientes utilizados de forma diferente, como salas de gerência, salas de suporte, telefonistas entre outros. A agência já possui um sistema de climatização instalado, porém de vários tipos, o que pode ser prejudicial para a eficiência energética do sistema como todo.

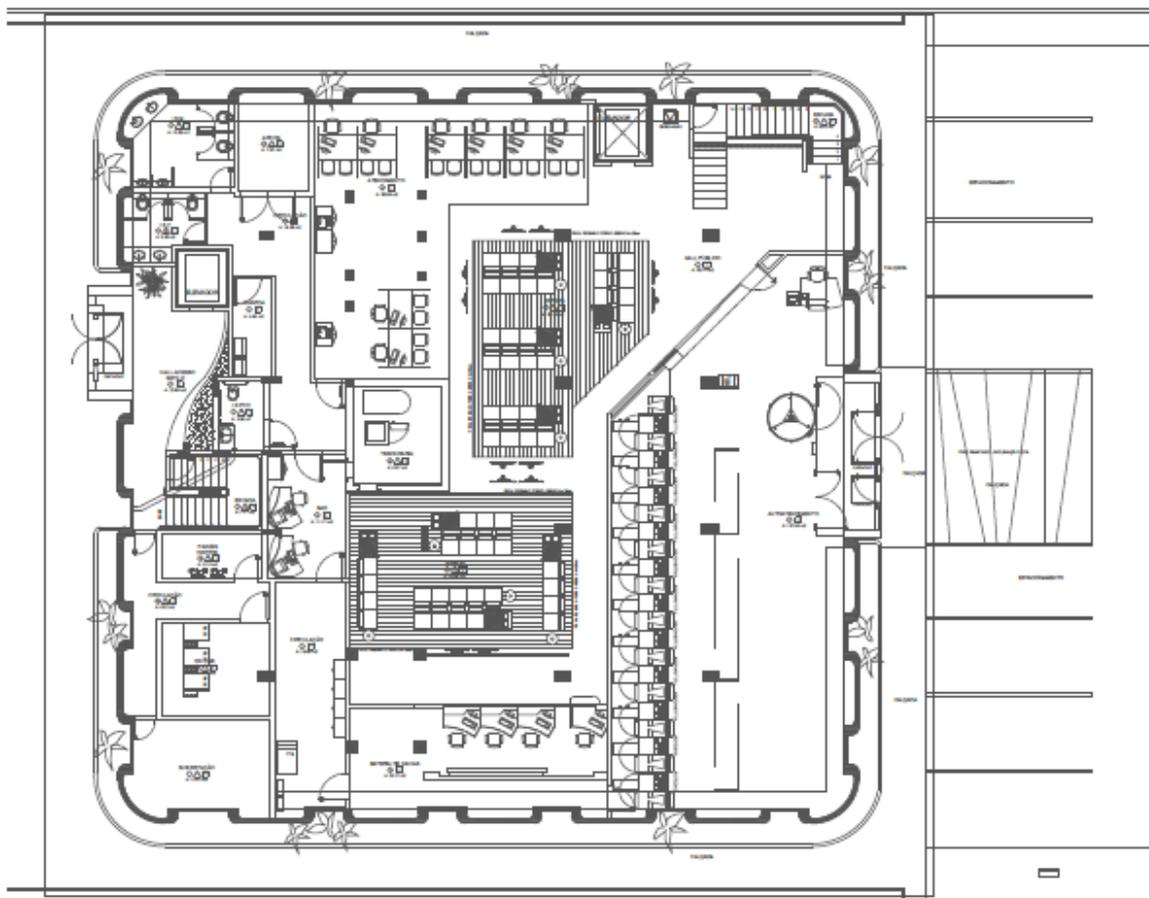


Figura 3.1 - Planta baixa primeiro pavimento (Banco do Brasil, 2014)



Latitude: 15° 48' 18,73'' S

Longitude: 47° 57' 17,58' W

Elevação: 1112 m



Figura 3.3 - Geolocalização da Agência SIA Trecho 2 (Google Earth, 2015)

O clima de Brasília é classificado como Tropical de Altitude, por apresentar características térmicas e de precipitação impostas pela altitude. Análises climáticas do local através do comportamento da temperatura e da umidade indicam para um período quente e úmido, de outubro a abril, com baixas amplitudes térmicas, e um período seco e de menores temperaturas de maio a setembro. Outubro é, predominantemente, o mês mais quente do ano, apresentando a maior temperatura média das médias, em aproximadamente 23°C, e média das máximas de 29,2 °C. Entretanto, o mês de setembro é apontado como um dos piores, do ponto de vista do conforto térmico, pois combina elevadas temperaturas e baixa umidade.

No entanto, uma análise da temperatura média diária mostrada na Figura 3.3, disponibilizada pelo *Instituto Nacional de Meteorologia* (INMET), mostra que o mês de fevereiro também apresenta condições de temperatura elevadas.



Figura 3.4 – Média das temperaturas diárias no ano de 2014 em Brasília (INMET, 2015)

Do gráfico acima, desprende-se que os edifícios possuem uma tendência de apresentar os picos de carga térmica para os meses de outubro, em virtude da alta temperatura de bulbo seco; ou em fevereiro, devido ao balanço entre alta temperatura de bulbo seco e alta umidade relativa.

Com relação à precipitação, uma característica típica do clima é a escassez de chuvas durante o inverno. Durante os meses de maio a setembro costumam haver baixas taxas de pluviosidade, além de ser comuns períodos de seca superiores a 2 meses.

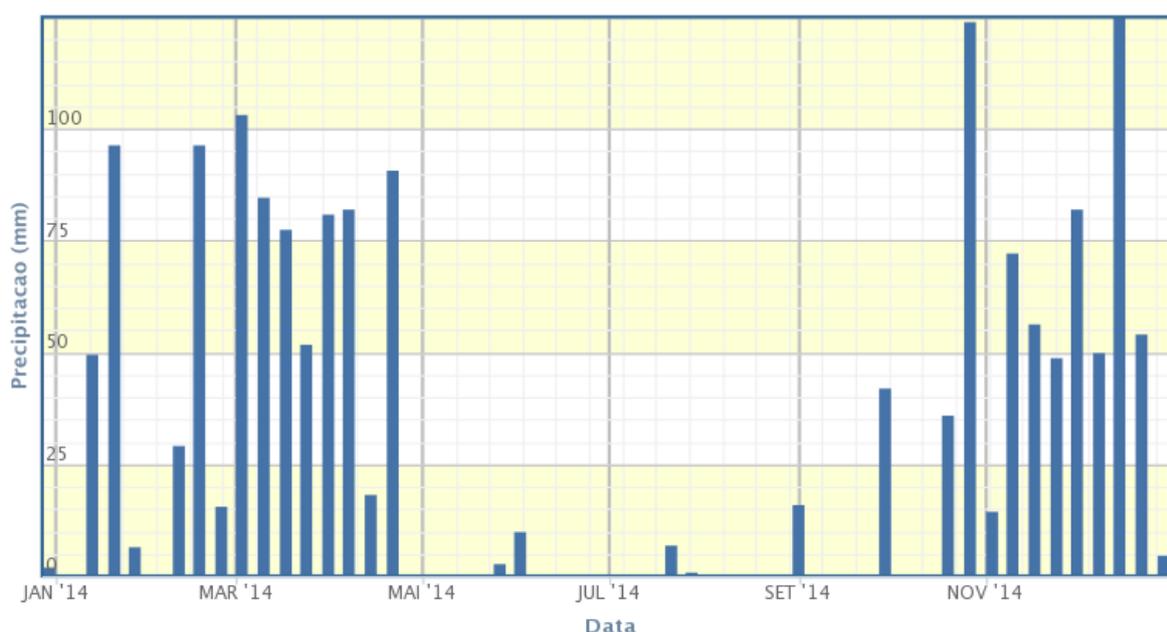


Figura 3.5 – Pluviosidade acumulada no ano de 2014 em Brasília (INMET, 2015)

Os ventos são, predominantemente, da direção leste, com variações para sudeste ou nordeste. A intensidade varia ao longo do ano, podendo chegar a velocidades de até 6 m/s em agosto e setembro. O perfil de intensidade média diária dos é mostrado na Figura 3.4.

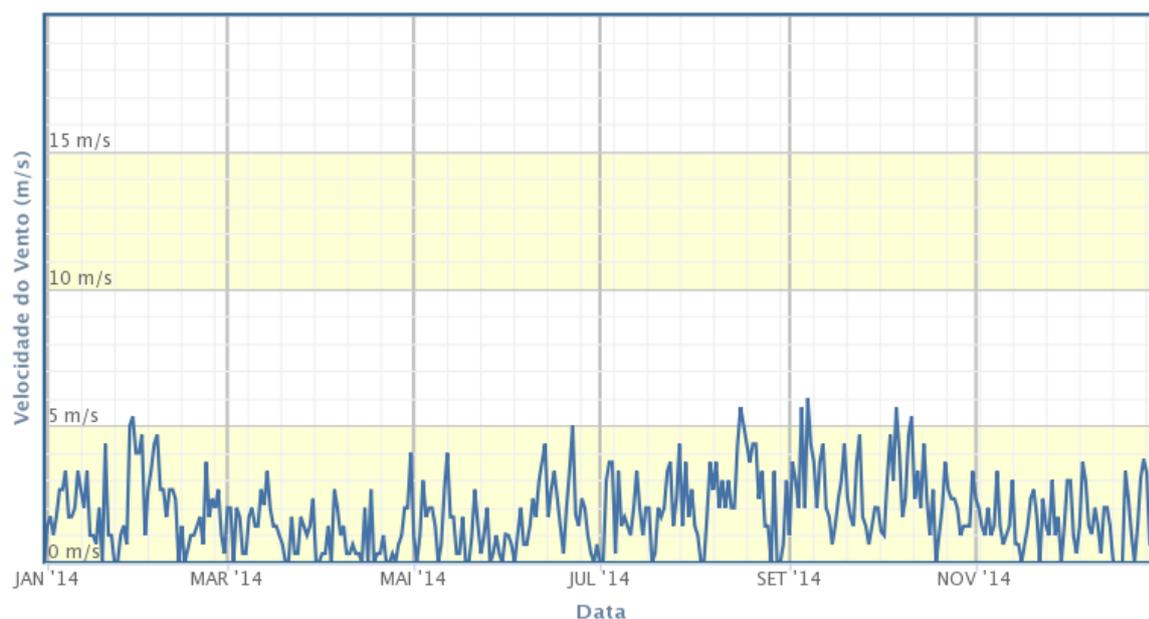


Figura 3.6 - Média das velocidades do vento diárias no ano de 2014 em Brasília (INMET, 2015)

Diante do apresentado, identificamos que as maiores dificuldades a serem contornadas em relação ao clima são: A temperatura máxima, que pode chegar a 34°C, nos meses de fevereiro, setembro e outubro; as baixas umidades relativas no inverno, que podem atingir até 15%; A radiação solar, que é predominantemente direta e com pouca composição difusa, o que favorece o aquecimento dos ambientes e dificulta a iluminação natural sem a incidência direta dos raios solares.

Apesar das características acima apresentadas serem aparentes empecilhos para a manutenção do conforto térmico, em alguns períodos específicos a combinação de outros fatores, quando bem aproveitados, se contrapõem, favorecendo a implantação de princípios bioclimáticos para as edificações da cidade. Por exemplo, em períodos quentes e úmidos, onde a ventilação seria mais recomendável, possuem uma maior intensidade de ventos. Enquanto que nos períodos com temperaturas mais reduzidas, apresentam ventos com intensidades menores.

### 3.3 SITUAÇÃO EXISTENTE

Foi realizada uma visita à Agência com acompanhamento do Gerente de Negócios da dependência e de alguns funcionários. Inicialmente, observou-se a fachada do edifício (Figura 3.3 e Figura 3.4), predominantemente cores escuras, e utilização de vidros comuns, com

persianas para a proteção da incidência de raios solares. Um leve vegetação nas laterais, mas que não contribuem para a proteção das paredes contra incidência solar.



Figura 3.7 - Faixada atual agência (O Autor, 2014)



Figura 3.8 – Faixada lateral atual agência (O Autor, 2014)

Durante a visita também pode-se levantar a opinião dos funcionários quanto ao conforto térmico, basicamente, questionando se eles sentiam calor durante o expediente, onde conclui-se que o sistema de climatização funciona relativamente bem, já que houveram apenas algumas reclamações pontuais de calor durante o expediente. Este fato decorre do grande espaço aberto na agência, e elevado número de difusores de ar no espaço.

Levantou-se também se os funcionários sofriam com a sensação de sonolência e/ou dores de cabeça, sintomas presentes quando há elevada concentração de CO<sub>2</sub> no ambiente, as quais foram todas negativas, apesar do sistema de renovação de ar atual ser muito precário, apenas ventiladores que tomam ar no ambiente fazendo-os passar por um filtro e insuflam-no dentro do ambiente, sem tratamento.

Além disso, foi informado que a agência atende, em média em um dia comum, cerca de 250 clientes no atendimento de caixa e 80 clientes em atendimento negocial, além dos 40 funcionários, que contribuem para a ocupação do edifício. A figura 3.9 representa o perfil de ocupação do edifício durante um dia comum.

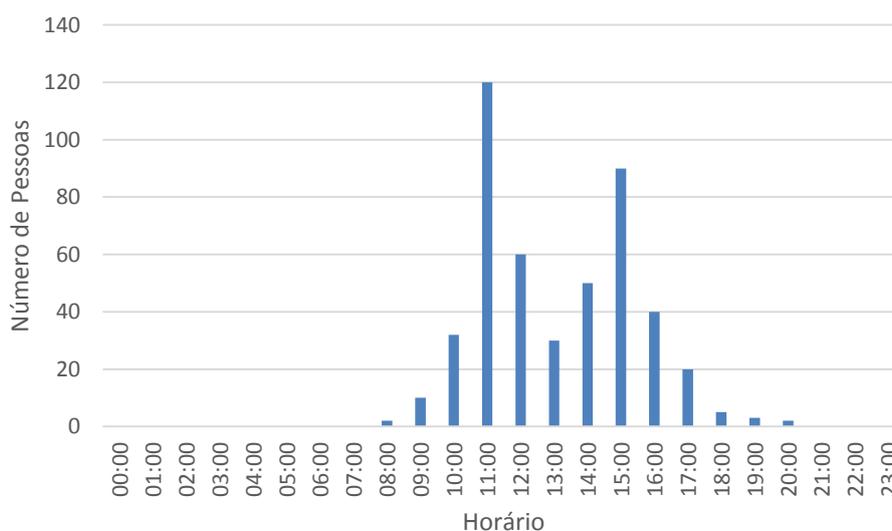


Figura 3.9 - Perfil de ocupação do edifício (O Autor, 2015)

O sistema de climatização utilizado para o primeiro andar do edifício é do tipo *splitão*, que são duas unidades de 15 TR de capacidade, cada (Figura 3.5). Além disso, existem algumas unidades independentes do sistema, que são um aparelho *Split* dedicado para a sala online<sup>4</sup>, dois

---

<sup>4</sup> Sala Online é o ambiente onde encontram-se o servidor da agência, aparelhos de circuito fechado de TV, gravadores e outros equipamentos de segurança. Como estes aparelhos necessitam estar em funcionamento 24 horas/dia, é necessário que exista um sistema de climatização dedicado para manter a temperatura do ambiente sempre baixa.

aparelhos *Split* (Figura 3.6) instalados na sala de atendimento e um ACJ instalado na sala do tesoureiro. Vale observar que a sala de autoatendimento também é atendida pelo sistema central.



Figura 3.10 - Unidade evaporadora atual (O Autor, 2014)



Figura 3.11 - *Splits* sala de autoatendimento (O Autor, 2014)

O sistema de climatização utilizado para o segundo andar do edifício é do tipo VRF, com duas unidades de 15 TR de capacidade também, que atendem por completo o pavimento.

Além disso, a agência conta com ambientes que não necessitam de climatização corrente, como salas de reuniões (Figura 3.7) e não possuem unidade de controle independente, ou seja, é climatizada sem necessidade.



Figura 3.12 - Sala de Reuniões (O Autor, 2014)

Quanto a iluminação, foi questionado aos funcionários se a iluminação era suficiente para a realização dos trabalhos com conforto visual, onde alguns disseram que a agência poderia ser melhor iluminada. Foi observado que a iluminação do primeiro pavimento é extremamente precária, enquanto o do segundo pavimento é razoável, já que existe a possibilidade de abrir as persianas, entretanto, os funcionários preferem não o fazer já que a temperatura próxima a janela fica muito elevada durante o expediente, conforme mencionado por alguns funcionários que tem seu posto de trabalho neste local.

### 3.4 SIMULAÇÕES DO PANORAMA ATUAL

A situação atual da agência foi simulada no *software Design Builder*, a metodologia de análise encontra-se mais detalhada no capítulo 5 (Envoltória) e capítulos adiante, podendo ser consultado previamente; entretanto, é necessário citar alguns parâmetros existentes que são pertinentes a este capítulo, e que foram obtidos através de simulação numérica.

Primeiramente, alguns dados importantes para validação da simulação numérica, que são: Consumo elétrico da edificação e a capacidade de climatização instalada.

Dados coletados junto a instituição mostram (Figura 3.12) o perfil de consumo elétrico da agência.

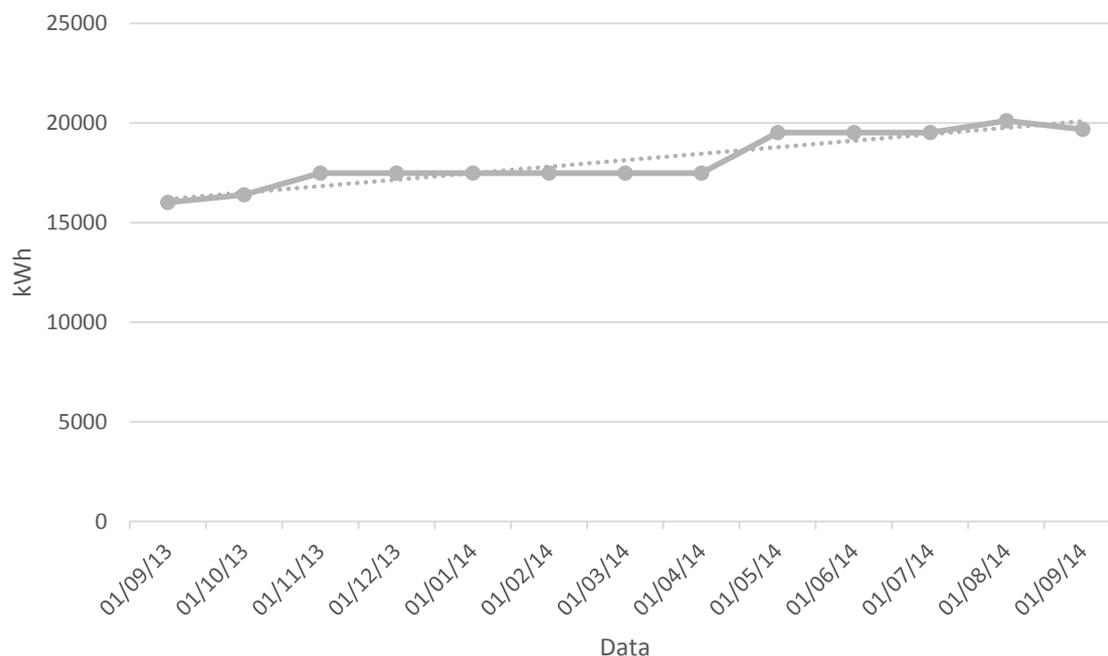


Figura 3.13 - Perfil de consumo elétrico atual (Banco do Brasil, 2014)

Percebemos uma linearidade do consumo elétrico com tendência de subida. Isso pode decorrer do fato que os equipamentos elétricos sofrem depreciação, causando uma queda na sua eficiência energética, ou, em outras palavras, o aumento no consumo de energia elétrica.

Também podemos perceber que não existe uma queda no consumo de energia elétrica entre os meses de maio e julho, que, em Brasília, são meses de inverno. Podemos inferir então que neste período não há alteração no fluxo de funcionamento do sistema de climatização, provavelmente causando desconforto térmico por frio durante este período.

O principal responsável pelo consumo de energia elétrica da agência é o sistema de climatização, conforme Figura 3.13, que traz a porcentagem de consumo de cada grupo responsável pelo consumo de energia (Ar condicionado, iluminação e aparelho eletrônicos), seguido da Tabela 3.1, que se trata da quantificação de equipamentos da agência que consomem energia.

■ Aparelhos Eletônicos ■ Iluminação ■ Climatização

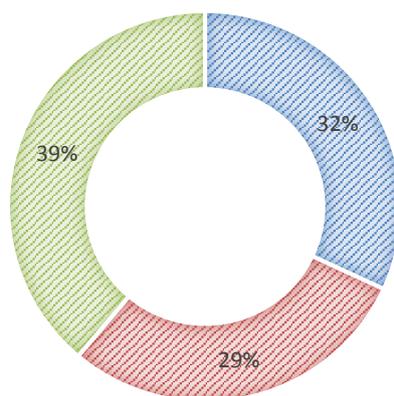


Figura 3.14 - Percentual de consumo de energia elétrica (O Autor, 2015)

Tabela 3.1 - Quantificação dos aparelhos que consomem energia elétrica (Confecção própria)

Equipamento	Quantidade	Potência (W)	Funcionamento (h/dia)
Computadores	55	355	8
Impressoras	5	415	8
TAA's	11	355	12
TAA's Estilo	2	355	8
Sala Online	1	3000	24
Lâmpadas Comuns	100	8	8
Lâmpadas Tubulares	400	25	8
Televisores	18	200	8
Geladeiras	2	500	24
Micro-ondas	2	2000	2
Cafeterias	2	600	4
Evaporadoras	4	8432	8
Condensadoras	2	13040	8

Os dados acima apresentados para o perfil de consumo foram obtidos através da simulação térmica do panorama atual da agência no software já citado, sendo que o consumo total anual de energia elétrica obtido pela simulação foi de 212742,1 kWh.

Quanto ao sistema de climatização, existem vários parâmetros a serem analisados. Inicialmente, o conforto térmico, a ser analisado através do PMV (Predicted Mean Vote) e do PPD (Predicted percentage of dissatisfied). Propostos por Fanger e adotados pela norma ISO 7730 de 1984, recomenda-se que o índice PMV seja mantido entre -0,5 e 0,5 nas horas de ocupação do edifício não ultrapassando 10% de ocupantes insatisfeitos com as condições térmicas interiores para, assim, se garantir o conforto térmico.

Analisando o PMV da situação atual (Figura 3.14) percebemos que a maioria dos valores que não se encontram na faixa aceitável (entre  $\pm 0,5$ ) representam desconforto por frio.

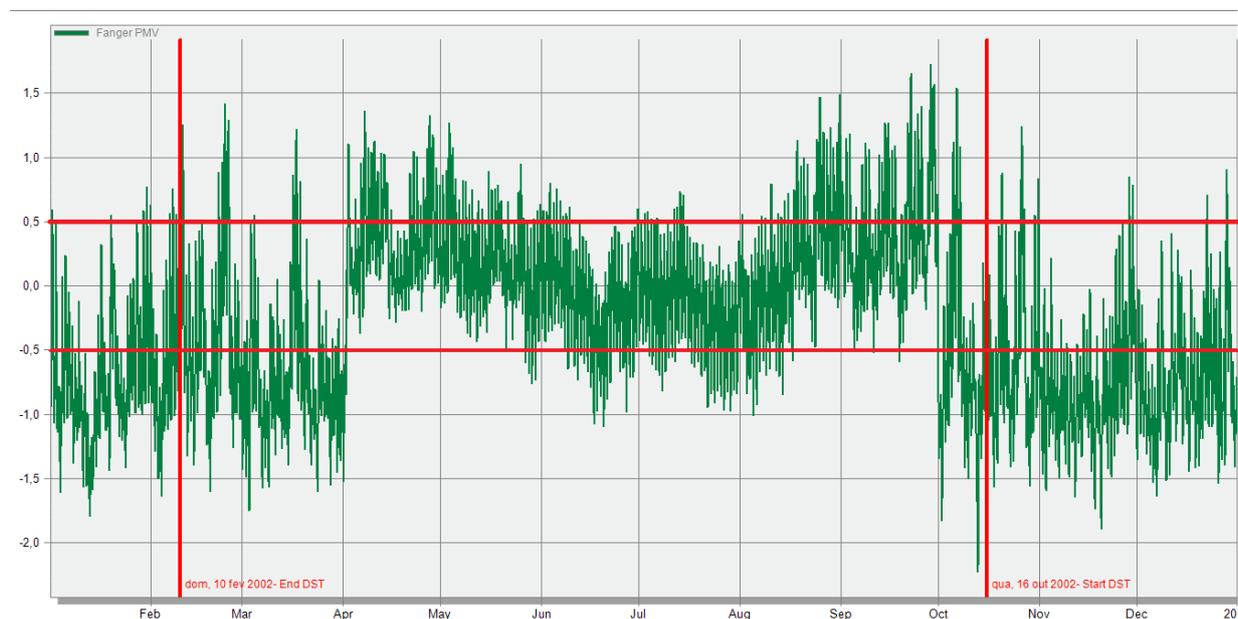


Figura 3.15 - Perfil PMV da situação atual (Design Builder, 2015)

Assim, com os valores do PMV, o PPD resultou em 16% no mês de janeiro, em 14,4% no mês de fevereiro e 16,8% em março. Após, os meses de outubro, novembro e dezembro obtiveram PPD acima de 10%, os quais valem 17%, 18,9% e 16,8%, respectivamente. Ainda, calculado também pelo *Design Builder*, as horas de desconforto durante o ano somam 468,11 h, incluindo desconforto por frio e por calor.

Outro ponto importante para a avaliação do projeto é a carga térmica<sup>5</sup> inerente à construção, que, calculado pelo *Design Builder*, vale 38,61 TR, que coincide com a capacidade instalada da edificação, que é, como dito anteriormente, aproximadamente 30 TR.

Podemos também analisar a temperatura média do ar no edifício, presente na Figura 3.16.

<sup>5</sup> Vide capítulo 7.

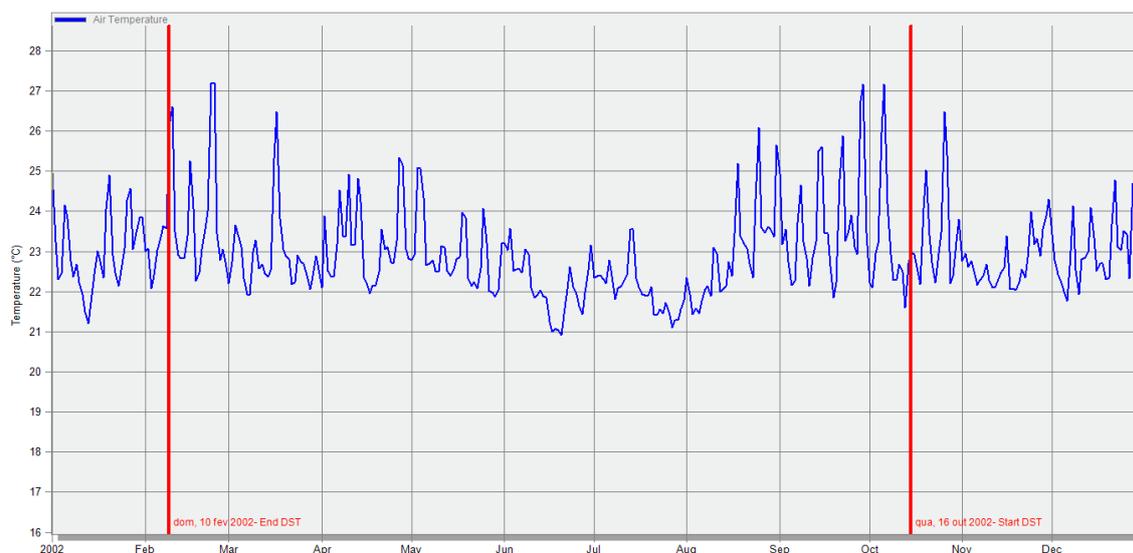


Figura 3.16 - Temperatura média diária do ar dentro da edificação (Design Builder, 2015)

### 3.5 INTENÇÕES COM O PROJETO

Dado o panorama da agência, o setor competente da instituição decidiu realizar uma reforma no edifício, visando adequar apenas o *layout* a um modelo recorrente de novas agências, e melhorar algumas questões estéticas, questões de climatização e ambiência da agência. Como o objetivo, de fato, é realizar alterações em cima do projeto visando a obtenção de menores cargas térmicas e maiores eficiências, iremos adotar soluções que contribuam para o objetivo supracitado compatíveis com as alterações que necessitam ser realizadas, buscando sempre a viabilização das alterações sugeridas.

## 4 ANÁLISE DAS INSTRUÇÕES NORMATIVAS

*Este capítulo aborda as instruções normativas do Banco do Brasil pertinentes ao projeto, definindo, ao fim, quais soluções podem ser tomadas para melhorar a eficiência energética do edifício.*

### 4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O Banco do Brasil foi o primeiro banco a atuar no país e, hoje, é a maior instituição financeira nacional com mais de 200 anos de existência. Sua marca é uma das mais conhecidas e valiosas do País, além de ser uma instituição com função social e comprometida com a sustentabilidade do país. O Banco conta com mais de 4 mil agências espalhadas por todo o território nacional e mais de 40 mil caixas eletrônicos, além de 50 pontos de atendimento no exterior.

Como qualquer grande empresa, o Banco do Brasil possui normas internas que devem ser referência para os funcionários diretos da instituição e para outras empresas que prestadoras de serviço, conseqüentemente, existem normas pertinentes ao assunto aqui tratado, já que se trata de um projeto de *retrofit* em um edifício da instituição. Os principais pontos que devem ser observados durante o desenvolvimento do projeto em questão estão descritos nas seções seguintes.

### 4.2 SOBRE A ENVOLTÓRIA DO PROJETO

O projeto de estrutura deve obedecer às normas referentes ao assunto, em especial as NBR 6118, NBR 6120, NBR 7190, NBR 8800, NBR 7197, NBR 6123, NBR 9062 e NBR 7191, além de permitir a adoção de normas internacionais mediante justificativa.

Para o projeto em questão, estamos interessados nos materiais que podem ser aplicados à envoltória do edifício a fim de melhorar o seu isolamento térmico, entretanto, as instruções normativas da instituição não fazem alusão a nenhum tipo de material específico para paredes, o que viabiliza o estudo de várias soluções de custo-benefício para o isolamento térmico da envoltória do edifício.

Ainda, é pertinente a análise do desempenho térmico dos vidros empregados no projeto, que também não são citados nas referidas normas, podendo ser alterado conforme a necessidade de desempenho melhores quanto ao isolamento térmico.

Uma solução arquitetônica que contribui bastante para a redução do consumo de energia elétrica, que é a iluminação natural através de claraboias<sup>6</sup>, não poderemos considerar neste projeto, já que ofereceria grande risco de furto à agência.

#### **4.3 SOBRE A ILUMINAÇÃO DO PROJETO**

Para a iluminação, as instruções exigem que sejam observadas as orientações contidas na NBR 5413/1992, relativa a iluminância de interiores, na NBR 5382/1985, relativa a verificação de iluminância de interiores, e na NBR 5461/1991, sobre terminologia.

Quanto as soluções que serão empregadas, todos os materiais e equipamentos devem ser energeticamente eficientes, de forma a permitir a otimização do consumo de energia elétrica. É indicado, preferencialmente, a utilização de lâmpadas fluorescentes tubulares de 25W e reatores eletrônicos, entretanto, pode-se estudar o emprego de novas tecnologias para fins de modernização desde que o retorno do investimento seja no prazo de 48 meses, considerando um tempo médio de funcionamento de 12 horas/dia e 22 dias de funcionamento/mês.

Vale ressaltar que todas as instalações elétricas devem estar em conformidade, ainda, com as normas NBR 5410, NBR 5419, NBR 14039, NR 10 e RTP 05.

#### **4.4 SOBRE A CLIMATIZAÇÃO DO PROJETO**

As instruções exigem que os projetos estejam em conformidade com as normas nacionais pertinentes – NBR 16401, NBR 10080, NBR 5410 e NBR 6493 – e, caso seja necessário atender situações não previstas nas normas, poderão ser utilizadas as orientações contidas em normas estrangeiras de organizações com reconhecida capacidade, como ANSI, ARI, ASHRAE, ASTM, DIN, NEMA, NFPA e SMACNA.

Quanto a escolha do sistema, ele será escolhido mediante análise da localização, características do prédio e particularidades como fornecimento de energia elétrica, qualidade da água disponibilizada, poluição, áreas vizinhas, ampliação futura, fatores econômicos, manutenção, influência estética e outros, sendo que a solução deverá ser do tipo que utiliza equipamentos centrais – self-contained, splitão, roof-top, fan coil – instalados em salas de máquinas que favoreçam a troca de ar exterior nas taxas previstas na legislação pertinente, conforme portaria 3523 do Ministério da Saúde, sendo vedado o uso de equipamentos de pequeno porte, como Mini Split e ACJ, exceto em ambientes de autoatendimento e sala OnLine,

---

<sup>6</sup> Claraboias tratam-se de uma abertura no alto das edificações destinada a permitir a entrada de luz solar no ambiente.

como complemento do sistema central, ou quando houver inviabilidade técnica para instalação dos equipamentos recomendados acima.

Também, pede-se que, sempre que possível, a ventilação natural seja adotada, caso não exista essa possibilidade, poderá ser utilizada ventilação mecânica, que deve ser prioridade para ambientes como subestações, casas de máquinas, salas de baterias, laboratórios garagens, sanitários, tesourarias, cozinhas e sanitários.

Quanto ao zoneamento, além das observações constantes na NBR 16401, este deverá buscar economia e redução da demanda de energia elétrica.

Quanto as casas de máquinas, deve-se encontrar na posição mais central possível, afim de reduzir os custos com distribuição de ar. Deve-se evitar também casas de máquinas atendendo mais de um pavimento, a não ser em sistemas que utilizem central refrigeradora do tipo Chiller, e que atendam, preferencialmente, a mesma prumada.

Quanto as tomadas de ar exterior, devem ser dotadas, no mínimo, de venezianas, tela metálica, registro e filtro de ar com classificação G1 da ABNT. Caso sejam utilizados dutos, verificar a necessidade de ventilação forçada.

Quanto a distribuição de ar, podem ser adotados sistemas de distribuição de ar, tanto insuflamento quanto retorno, através de dutos aparentes ou embutidos, construídos em chapas de aço galvanizado ou alumínio. Os dutos deverão possuir portas de inspeção próximas a curvas e derivações. Grelhas e difusores devem ser selecionados de modo a compatibilizar níveis de ruídos e necessidades de aplicação.

Inserido no contexto do presente projeto, os ambientes analisados devem ser agrupados em função das características de utilização para as quais foram designados e de sua localização. De fato, dentre as diversas possibilidades técnicas e tecnológicas para a climatização de todos os espaços, os sistemas escolhidos devem considerar características particulares de cada ambiente, bem como o espaço físico disponível e custos de instalação, manutenção e funcionamento. Nesse sentido, o projeto de fabricação e instalação dos equipamentos e principais acessórios deve seguir as prescrições técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Destaca-se ainda a necessidade de instalar cartazes e mapas de advertência e segurança exigidos legalmente. A instalação deve estar de acordo com os códigos e padrões da ASHRAE.

O início do procedimento numérico de projeto é marcado pelas premissas associadas aos cálculos envolvendo o sistema de condicionador de ar em questão. Nesse sentido, as condições externas do ambiente são estabelecidas pela norma ABNT NBR 16401. Essa determinação leva em conta a latitude, longitude e altitude do local, bem como a frequência anual e os níveis de resfriamento e desumidificação referentes. As condições internas também

são determinadas pela ABNT NBR 16401. Assim, considerando as condições de ambientes ocupados, o documento estabelece faixas limites para a temperatura operativa, umidade relativa dentro do recinto e velocidade média do ar (não direcional). Critérios associados à renovação do ar, taxas de ocupação dos ambientes e níveis de iluminação são descritos pela mesma norma.

#### **4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Estudadas as normas pertinentes aos casos que serão abordados no projeto, podemos perceber que as elas servem para nortear o projetista e garantir que as normas nacionais – e internacionais em alguns casos – sejam cumpridas. Devemos observar também que, de forma geral, a norma já sugere algumas soluções para os projetistas, para que estes apenas dimensionem o sistema, não os deixando livre para, por exemplo, estudar uma alternativa de iluminação natural ou algum outro meio de climatização mais eficiente.

Como neste projeto o objetivo principal é tornar o edifício uma construção do tipo nZEB, as orientações acima serão consideradas, mas não serão impeditivas para qualquer solução que se mostrar mais eficiente energeticamente e contribuir de maneira real para o objetivo citado anteriormente.

## 5 ENVOLTÓRIA

*Este capítulo trata das alterações na envoltória do edifício, afim de melhorar o seu isolamento térmico, diminuindo a carga térmica em seu interior.*

### 5.1 IMPORTÂNCIA DA ENVOLTÓRIA PARA UM PROJETO NZEB

As condições de conforto proporcionadas no interior de um edifício são ligadas a uma série de fatores, incluindo características de construção do edifício, características do sistema de aquecimento e dos sistemas de arrefecimento empregados. Tais fatores também estão relacionados diretamente com os custos de operação do edifício. Assim, é essencial proceder a uma avaliação correta destas características para se viabilizar linhas de modificação que possam proporcionar uma melhoria significativa do ambiente interior e a diminuição de custos na utilização de energia.

As características arquitetônicas e construtivas das edificações têm uma elevada influência nas condições de conforto interior. Por exemplo, seja um edifício projetado e construído sem levar em conta as condições climáticas do local; provavelmente será um edifício ineficiente na utilização de energia para proporcionar conforto aos seus moradores/usuários.

Entretanto, nos últimos anos, essas questões vêm sendo resolvidas através de sistemas artificiais de controle do conforto térmico, ignorando as características climáticas do local onde o edifício se insere, isso incorre em elevados custos de aquecimento e de ar condicionado nas despesas das famílias e empresas.

Um bom isolamento da envolvente do edifício proporciona diminuição nos custos de aquecimento e arrefecimento, ou seja, viabiliza poupar energia elétrica durante a sua utilização, através da implantação de materiais e técnicas de isolamento. A escolha depende das restrições de construção da área visada e do clima da zona. Os isolantes térmicos empregados são, geralmente, materiais porosos e de baixa densidade como o EPS (Poliestireno Expandido), o XPS (Poliestireno Extrudado), a PUR (Espuma de Poliuretano), o ICB (Aglomerado de cortiça), a MW (lã mineral) e similares. Consoante os casos, são utilizados materiais soltos ou sob a forma de espuma, placas compactas, tapetes ou placas de feltro. A par do ICB, existem ainda outros materiais de isolamento de origem natural como a vermiculite, a perlite e a fibra de coco.

As superfícies envidraçadas também desempenham um papel importante no domínio da eficiência térmica do edifício. Levando em conta que eles são uma fonte de entrada de calor

sem custos, mas ainda, são saídas através das quais o calor se dissipa, quando não construídas e instaladas apropriadamente. A intervenção no âmbito das janelas tem o intuito de aumentar a captação de ganho de calor no inverno, reduzir as infiltrações de ar não controladas, reforçar a proteção da radiação solar durante o verão e melhorar as condições de ventilação natural.

## 5.2 DESEMPENHO TÉRMICO DE PAREDES

Paredes de edifícios desempenham um papel fundamental para a sua sustentação e, ainda, oferece isolamento térmico para os ocupantes dentro do ambiente. Isso se deve pelo fato dos materiais que são utilizados para criar as paredes possuírem uma resistência térmica associada.

A troca de calor entre ambientes se dá a partir da diferença de temperatura entre os eles, onde o ambiente de maior temperatura transfere uma quantidade  $Q$  de calor ao de menor temperatura até que os ambientes tenham a mesma temperatura. No caso específico de paredes, conseguimos obter o fluxo de calor que irá incidir no ambiente interno através da Eq. 1, a seguir.

$$q = UA\Delta T \quad (1)$$

Onde  $q$  é o fluxo de calor (W),  $U$  é a transmitância térmica (W/m<sup>2</sup>K) e  $\Delta T$  a diferença de temperatura (K).

A transmitância térmica pode ser determinada através dos procedimentos presentes na instrução NBR 15220 – Desempenho Térmico de edificações – parte 2. Além disso, o fluxo de calor não depende exclusivamente da diferença de temperatura entre o ar interno e externo, devemos considerar o ganho de temperatura através de radiação solar incidente nas paredes.

Ao incidir energia proveniente do sol em um corpo opaco<sup>7</sup> parte dessa energia é absorvida e parte é refletida, conforme Fig. 5.1, a seguir.

---

<sup>7</sup> Corpo opaco é aquele onde seu meio não permite a propagação de luz em níveis perceptíveis, onde parte da energia proveniente da incidência é absorvida e parte refletida.

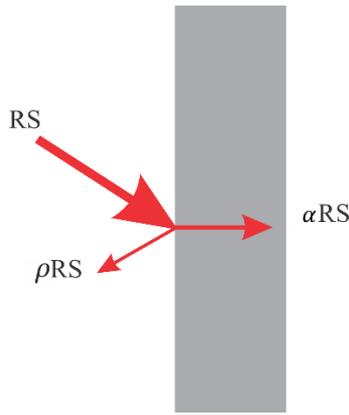


Figura 5.1 - Radiação solar em superfícies opacas (O Autor, 2014)

Onde  $RS$  é a radiação total incidente na superfície ( $W/m^2$ ),  $\alpha$  é a absorvância solar e  $\rho$  é a refletividade solar. Tem-se também que a soma das quantidades  $\alpha$  e  $\rho$  é unitária, além disso, elas dependem do material e possuem valores tabelados.

Sendo  $\Delta T$  a diferença entre a temperatura externa e interna, podemos identificar a primeira como sendo a temperatura sol-ar ( $T_{sol-ar}$ ), que representa o efeito combinado da radiação solar incidente na fachada e das trocas de energia por radiação e convecção entre a superfície e o meio envolvente, que, com as devidas simplificações, pode ser calculado pela Eq. 2.

$$T_{sol-ar} = T_{ext} + \alpha RS \cdot R_{se} - \varepsilon \Delta R_L \cdot R_{se} \quad (2)$$

Onde  $R_{se}$  é a resistência superficial externa ( $m^2K/W$ ),  $\Delta R_L$  é a diferença entre a radiação de onda longa emitida e recebida pela superfície e  $\varepsilon$  é a emissividade do material. Para planos verticais, a quantidade  $\Delta R_L$  é nula, pois as perdas ficam compensadas pela radiação de onda longa recebida do solo e das superfícies do meio. Assim, podemos desconsiderar a última parcela da temperatura sol-ar, que fica definida pela Eq. 3.

$$T_{sol-ar} = T_{ext} + \alpha RS \cdot R_{se} \quad (3)$$

Assim, o fluxo de calor a ser considerado que irá incidir no ambiente interno é dado por (Eq. 4)

$$q = UA(T_{ext} + \alpha RS \cdot R_{se} - T_{int}) \quad (4)$$

### 5.3 DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS

Semelhante ao desempenho térmico de paredes é o desempenho das coberturas dos edifícios, entretanto, no caso de superfícies horizontais, a diferença entre a radiação de onda longa emitida e recebida é considerável, e, segundo dados experimentais, valem  $4^{\circ}\text{C}^8$ , portanto, o fluxo de calor a ser considerado que irá incidir no ambiente interno através da cobertura pode ser obtido pela Eq. 5, a seguir.

$$q = UA(T_{ext} + \alpha RS \cdot R_{se} - 4 - T_{int}) \quad (5)$$

### 5.4 DESEMPENHO TÉRMICO DE JANELAS

Vidros são matérias transparentes às radiações visíveis e viabilizam a iluminação natural do ambiente interno, ainda assim, são entradas para fluxo de calor e podem causar problemas térmicos, acústicos e econômicos. Ao ocorrer incidência de energia radiante sobre superfícies desse tipo, parte dela é absorvida, parte refletida e parte pode ainda ser transmitida, segundo esquema a seguir (Fig 5.2).

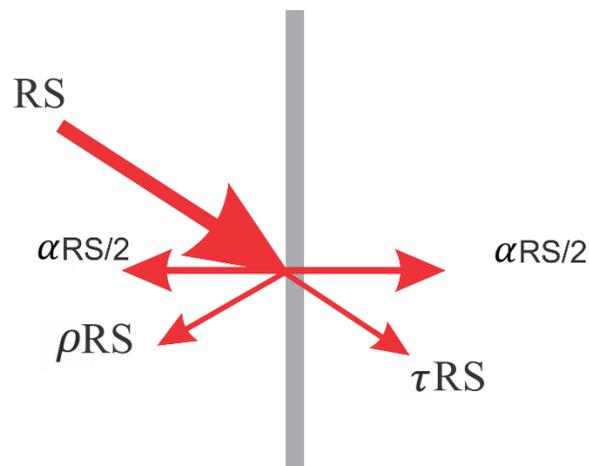


Figura 5.2 - Radiação solar em superfície transparente (O Autor)

Onde  $RS$  é a radiação total incidente na superfície ( $\text{W}/\text{m}^2$ ),  $\alpha$  é a absorvância do vidro,  $\rho$  é a refletividade do vidro e  $\tau$  é a transmissividade do vidro. Tem-se também que a soma das quantidades  $\alpha$ ,  $\rho$  e  $\tau$  é unitária, além disso, elas dependem do material e possuem valores tabelados.

---

<sup>8</sup> LAMBERTS, R. Desempenho térmico de edificações, 2011, Capítulo 4.

Semelhante aos casos anteriores, conseguimos determinar o fluxo de calor que incide sobre uma superfície envidraçada apenas acrescentando a parcela de calor que penetra no ambiente, o qual é dado por (Eq. 6):

$$\dot{q} = U(T_{ext} + \alpha RS \cdot R_{se} - T_{int}) + \tau RS \quad (6)$$

Separando-se os ganhos de calor devido a diferença de temperatura dos ganhos devido a incidência solar e, chamando o termo  $U \cdot \alpha \cdot R_{se} + \tau$  de fator solar  $F_s$ , podemos escrever a Eq. 6 como:

$$\dot{q} = U\Delta T + F_s RS \quad (7)$$

Sendo os valores de  $F_s$  disponíveis em formas de tabela na literatura técnica especializada de acordo com o material, inclusive para materiais que podem ser aplicados em vidros com finalidade de absorção de energia ou isolamento, com películas e cortinas.

## 5.5 SIMULAÇÕES DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DA ENVOLTÓRIA

Enunciada a teoria necessária para calcular o fluxo de calor através das estruturas nos deparamos com a elevada complexidade e volume de cálculos a serem realizados, o que tornaria inviável o cálculo dessas quantidades pertinentes a análise térmica da edificação. Entretanto, existem *softwares* capazes de realizar tal cálculo com precisão e rapidez. A utilização desses programas, além de oferecer credibilidade aos resultados, possibilita, de forma rápida e fácil, a análise das soluções separadamente afim de identificar aquelas que causam mais impacto positivo ao projeto.

Assim, foi realizada pesquisa afim de selecionar um *software* capaz de atender os requisitos para o projeto, já que é necessário calcular a carga térmica do edifício, alterar características construtivas e estimar o seu consumo de energia elétrica. Dessa forma, e com base em outros trabalhos já realizados nessa área, o *software* escolhido foi o *Design Builder*.

O referido tem uma interface gráfica muito amigável e oferece facilidade na construção de modelo CAD 3D de edifícios, além disso, ele possui uma vasta biblioteca de materiais de construção utilizados no mercado, incluindo módulos de iluminação, aquecimento/refrigeração, geração de energia e outros. Entretanto, o *Design Builder* é apenas um programa CAD, o qual utiliza o *EnergyPlus* como motor de cálculo.

O *EnergyPlus* é disponibilizado gratuitamente pelo Departamento de Energia norte-americano e é predominantemente utilizado para a análise de projetos de alta eficiência. O programa é capaz de modelar diversas alternativas de construção e climatização de edifícios, executar modelos de cálculo aprimorados, oferecendo resultados de elevada confiabilidade. No entanto, ele é apenas um motor de cálculo, sendo praticamente necessário a utilização de programas como o *Design Builder*.

### 5.5.1 OBJETIVO E METODOLOGIA DAS SIMULAÇÕES ENERGÉTICAS

Para embasarmos as alterações arquitetônicas a serem realizadas no projeto do edifício atual com objetivo de torná-lo uma edificação nZEB, necessitamos comparar o impacto das soluções em alguns aspectos. O mais importante deles é o consumo de energia elétrica anual, ou seja, quantificar a economia de energia causada pela alteração realizada. Não obstante, o conforto térmico deve ser mantido, então, deve-se analisar os perfis PMV e PPD de ambos os casos.

É ideal que as simulações sejam realizadas para cada solução escolhida, a fim de determinar o impacto de cada uma. A utilização de *softwares* computacionais mais intuitivos facilita bastante esta tarefa. Além de possibilitar a análise separada das soluções adotadas, essa prática visa obter um esquema final de edificação para, por fim, ajustar o sistema de climatização do projeto.

Geralmente, as soluções empregadas visando isolamento térmico contribuem diretamente para a redução do consumo de energia elétrica, entretanto, elas podem contribuir para o desconforto térmico, que necessita de uma análise mais minuciosa. Após essa análise, se houverem períodos desconfortáveis ao longo do ano, é necessário ajustar o sistema de climatização para que ele mantenha as condições de conforto térmico interiores dentro dos limites estabelecidos em norma.

A metodologia utilizada para se atingir os objetivos supracitados consiste, basicamente, em:

1. Introduzir o modelo atual do edifício no *Design Builder*.
2. Realizar simulação térmica do panorama atual a fim de identificar – e validar – o consumo de energia elétrica anual, a carga térmica do edifício e o conforto térmico.
3. Com base nas soluções adotadas nas diversas nZEBs apresentadas em capítulo específico deste trabalho, aplicar a solução ao projeto e realizar novas simulações para obter valores de consumo de energia elétrica anual e carga térmica do edifício para cada solução aplicada.
4. Aplicar todas as soluções em conjunto e simular o projeto a fim de acertar o sistema de climatização, por meio da análise do conforto térmico – PMV – e do ajuste dos termostatos.

5. Após o conforto térmico ser atingido, simular para obter o consumo de energia elétrica anual da edificação após otimização.

O *software Design Builder* obtém os resultados a partir da criação em escala real do projeto do ambiente do programa, com os próprios materiais, características de ocupação, localização e similares. Assim, foi desenvolvido, a partir do modelo CAD disponibilizado pela instituição, o modelo da agência bancária no ambiente do *software Design Builder* (Fig. 5.3).

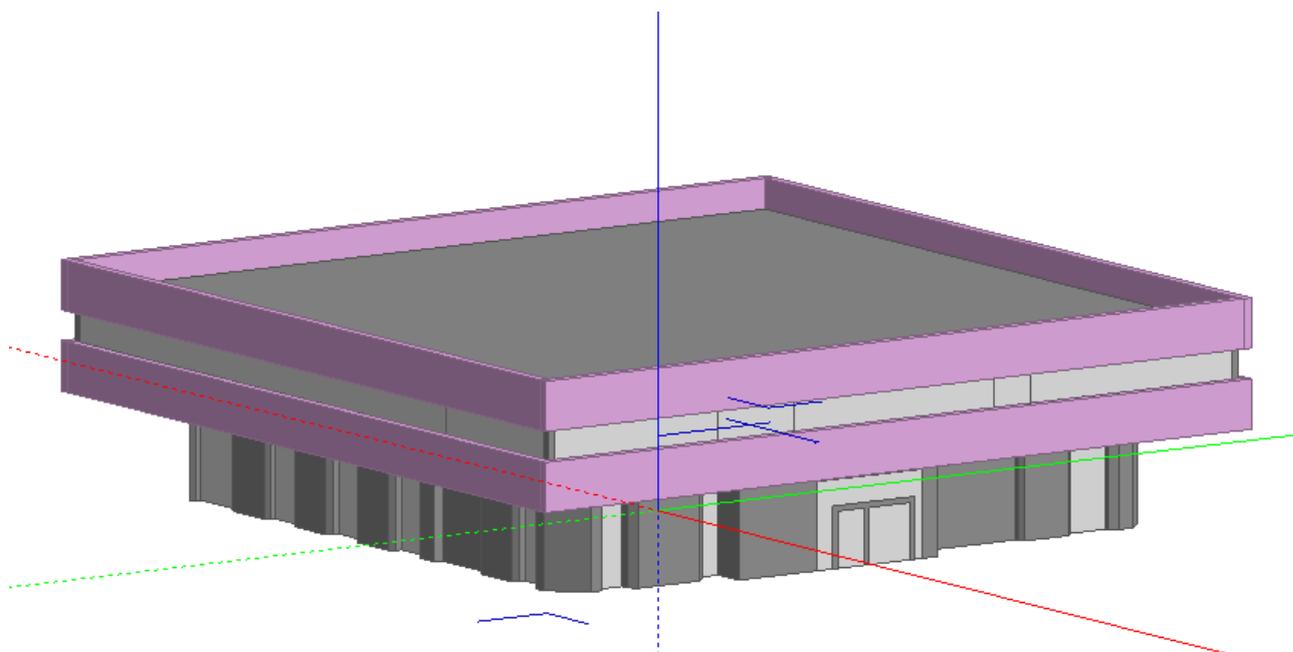


Figura 5.3 - Modelo recriado no software Design Builder (O Autor, 2014)

Mais adiante serão detalhadas as soluções empregadas e os resultados pertinentes das simulações, conforme metodologia citada anteriormente. Serão analisadas soluções para a envoltória do edifício, que compreende paredes externas, coberturas e janelas, além da iluminação e para seu sistema de climatização.

## 5.6 SOLUÇÃO PARA ENVOLTÓRIA

Dadas as considerações acima, podemos concluir que os materiais empregados tanto nas paredes do edifício quanto os materiais utilizados nas partes envidraçadas são fatores determinantes para a carga térmica no interior do edifício, conseqüentemente, para o consumo direto de sua energia elétrica. Em geral, deve-se aplicar materiais de baixa transmitância térmica, para diminuir-se o fluxo de calor entre o exterior e o interior dos edifícios. Assim sendo, seguem as soluções adotadas conforme metodologia desenvolvida acima.

### 5.6.1 PAREDES

Para as paredes do primeiro pavimento do edifício, de acordo com a NBR 15220, que são formadas por uma camada homogênea de concreto normal, devemos obter a transmitância térmica pela razão da condutividade térmica do material e de sua espessura, em metros. Na mesma norma obtemos que a condutividade térmica do material vale  $1,75 \text{ W/m.K}$  e, de acordo com o projeto, a espessura da parede é de  $0,15 \text{ m}$ , assim, a transmitância térmica das paredes do térreo vale, aproximadamente,  $11,67 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Já para as paredes do segundo pavimento do edifício, também de acordo com a NBR 15220, que são formadas por uma camada de reboco interna, uma camada de tijolos comuns, outra camada de reboco externa e uma camada de pastilhas, devemos obter a transmitância térmica pela associação em série das resistências térmicas de cada camada, resultando em uma transmitância térmica de, aproximadamente,  $3,34 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Como existe uma preocupação com a arquitetura e a estética do edifício, não serão empregados nenhum tipo de isolamento térmico nas paredes exteriores, pelo fato, além do supracitado, das paredes do pavimento térreo possuírem baixa faixa de abrangência, pois são intercaladas com janelas contínuas da mesma dimensão da parede e das paredes do pavimento superior possuírem baixa transmitância térmica.

### 5.6.2 COBERTURA

A cobertura tem o mesmo arranjo das paredes do primeiro pavimento, com a mesma espessura, portanto, com transmitância térmica de, aproximadamente,  $11,67 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Como a cobertura não é aparente, podemos emprega-la um isolamento térmico, que pode ser realizado por cobertura, aplicação de material isolante e outros. Como pretende-se utilizar energia solar como fonte de energia renovável da edificação, não será utilizado cobertura metálica ou qualquer tipo de telhado. Dito isto, entre as soluções disponíveis no mercado, serão instaladas placas de *Isofoam*, de  $50 \text{ mm}$  de espessura, que se trata de um poliestireno de alta densidade expandido e moldado em placas rígidas. Os motivos que levaram a escolha desse tipo de isolamento é que o ele permite a mobilidade em sua superfície, possui coeficiente de condutividade térmica muito baixo ( $0,035 \text{ W/mK}$ ), resultando em uma transmitância térmica calculada seguindo as orientações do NBR 15220 de, aproximadamente,  $3,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Com essa mudança, pretendemos reduzir o consumo de energia elétrica pelo sistema de climatização através da diminuição da carga térmica do edifício, as Figuras 5.4 e 5.5 comparam o consumo de energia elétrica e a carga térmica, respectivamente, entre o caso atual e a situação com a solução proposta aplicada.

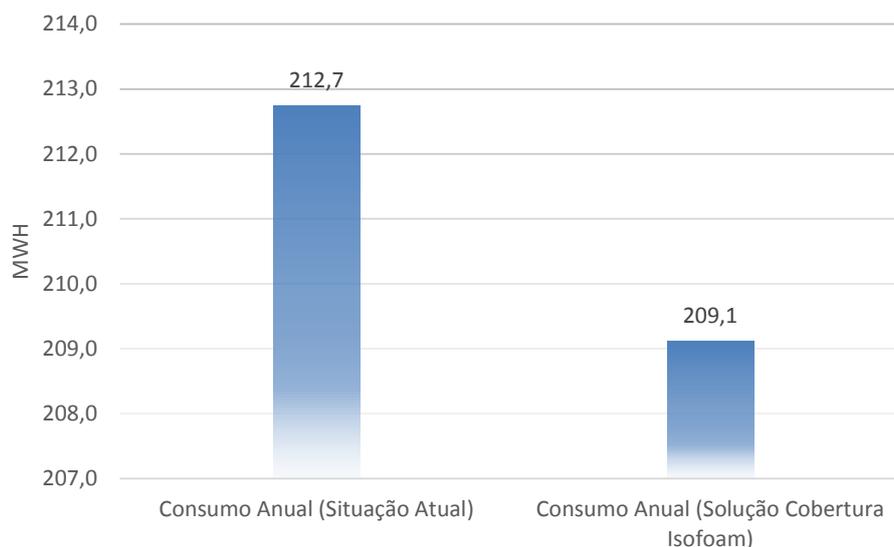


Figura 5.4 - Consumo de energia elétrica após solução cobertura de *Isofoam* (O Autor, 2015)

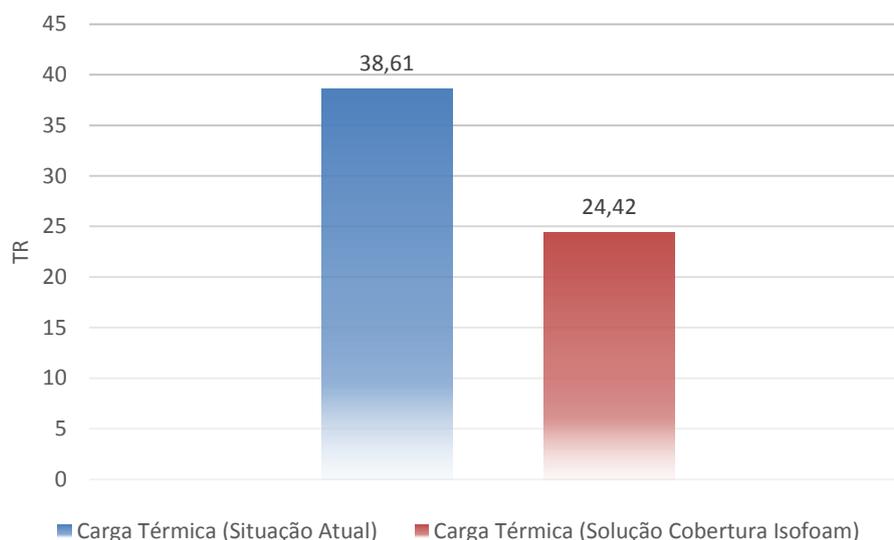


Figura 5.5 – Carga Térmica após solução cobertura de *Isofoam* (O Autor, 2015)

### 5.6.3 PARTES ENVIDRAÇADAS

As partes envidraçadas dos dois pavimentos do edifício são formadas por vidros simples de espessura de 3 mm, com condutividade térmica valendo 5,65 W/m.K e fator solar de 87% são os maiores responsáveis pela acumulação de calor dentro do ambiente. Para tal, necessita-se de vidros mais eficientes, com valores menores de condutividade térmica e fator solar, que sejam amplamente disponíveis no mercado e de custo acessível.

Em pesquisas de mercado, pode-se observar uma gama de soluções para isolamento térmico com a utilização de vidros especiais, como vidros de baixa emissividade, vidros duplos, de baixos coeficientes de transmissão térmica e outras propriedades. Analisando as equações

(Eq. 6) obtidas, observamos que o termo que pesa mais no fim do cálculo do fluxo de calor é o termo relativo aos ganhos de calor devido a incidência solar, que são diretamente proporcionais ao fator solar ( $F_s$ ). Assim, um vidro ideal, além de possuir baixo valor de  $U$ , deve, obrigatoriamente, ter baixo valor de  $F_s$ .

Ainda, os fatores estéticos são importantes, ou sejam a aparência do vidro não pode fugir a tendência de *layout* do prédio, ou seja, vidros de tonalidades neutras serão necessários. O uso de persianas também é um fator crucial, pois permite o uso de luz natural durante o expediente. Seguindo os requisitos e as tendências de mercado, o tipo de vidro escolhido para ser utilizado é do tipo insulado – ou duplo – o qual consiste em uma bolsa de ar confinada entre dois vidros, conforme Fig. 5.6, a seguir.



Figura 5.6- Esquema de montagem vidro insulado (GlassecViracon, 2012)

Neste caso, selecionamos junto ao fabricante *GlassecViracon* o modelo SunGuard Solar Silver 20 On Clear. Trata-se de uma montagem com 24 mm de espessura – vidro externo de 6 mm – 12 mm de ar – vidro interno de 6 mm. O seu aspecto exterior é prata, e, suas principais propriedades de acordo com o catálogo do fabricante, encontram-se na Tabela 5.3.

Tabela 5.1- Propriedades do vidro Solar Silver 20 On Clear (Confecção própria)

<b>Espessura</b>	<b>Fator Solar</b>	<b>U</b>
(mm)	(%)	(W/m <sup>2</sup> K)
24	22	2,32

Ainda, o modelo tem a possibilidade de ser disponibilizado com persiana interna, o que reduz os custos com sua manutenção, evita gastos de reposição e atende o objetivo de utilizar luz natural quando convier. Esta solução será utilizada para substituir todos os vidros externos do edifício.

Essa solução visa reduzir o consumo de energia elétrica pelo sistema de climatização através da diminuição da carga térmica do edifício, as Figuras 5.7 e 5.8 comparam o consumo de energia elétrica e a carga térmica, respectivamente, entre o caso atual e a situação com a solução proposta aplicada.

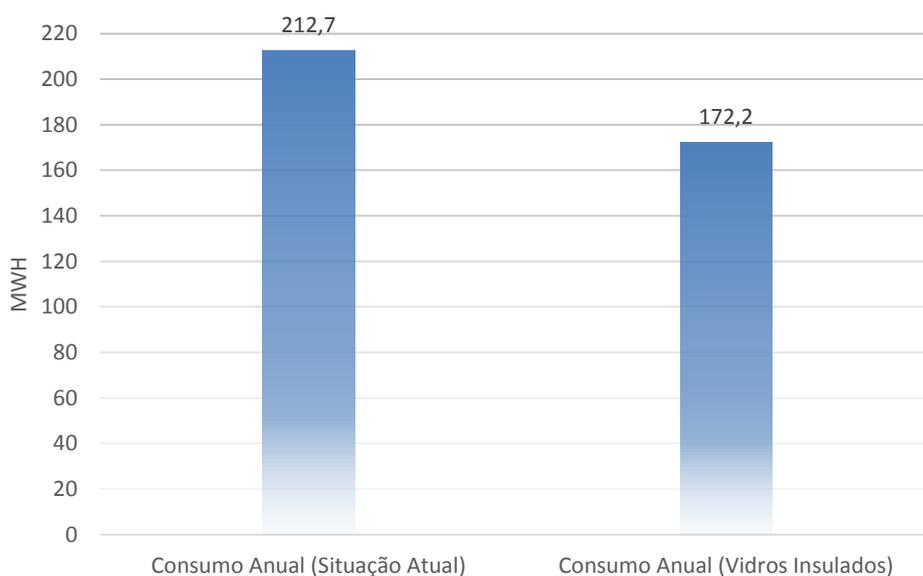


Figura 5.7 – Consumo de energia elétrica após solução de Vidros Insulados (O Autor, 2015)

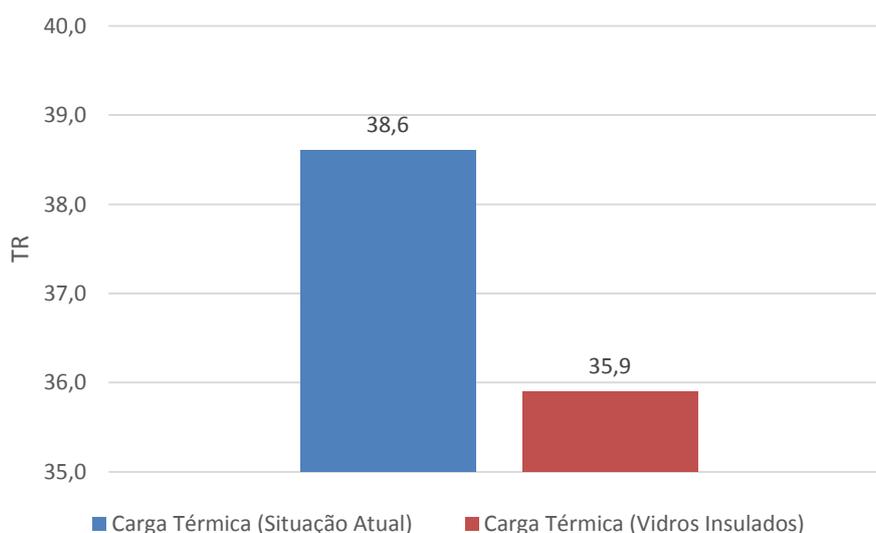


Figura 5.8 - Carga Térmica após solução cobertura de vidros Insulados (O Autor, 2015)

## 6 ILUMINAÇÃO

*Este capítulo trata-se do projeto de iluminação da agência, analisa as formas de iluminação artificial existentes no mercado baseado na eficiência energética de cada uma. Ainda, estuda alternativas e implementação de iluminação natural.*

### 6.1 IMPORTÂNCIA DA ILUMINAÇÃO PARA UM PROJETO NZEB

Semelhante a envoltória do edifício, a iluminação do projeto tem grande influência sobre o conforto térmico do ambiente e, sobretudo, no consumo final de energia elétrica. Um projeto de iluminação não consiste apenas na disposição de pontos de iluminação de tal forma que o ambiente fique claro, é essencial realizar uma avaliação correta de todos os pontos relacionados a fim de se obter soluções que possam proporcionar uma melhoria significativa do ambiente interior e a diminuição de custos na utilização de energia.

Dada a necessidade de avaliar várias variáveis inerentes a um projeto de iluminação, é necessário realizar um levantamento minucioso das necessidades de iluminância de um ambiente de acordo com a atividade que será realizada nele; a simples prática de posicionar pontos de iluminação – conforme citado anteriormente - provavelmente tornará o edifício ineficiente na utilização de energia elétrica, podendo afetar o conforto aos seus moradores/usuários e comprometer a sua saúde.

O cenário atual é bastante propício aos projetos eficientes em consumo de energia elétrica, dada a preocupação, em âmbito nacional e internacional, com o consumo não sustentável de energia elétrica. Podemos tomar como exemplo o selo PROCEL, um indicador nacional responsável por indicar a eficiência de consumo de energia<sup>9</sup> de bens de consumo. Ainda, podemos citar novas tecnologias de iluminação, como lâmpadas de LED, que são equipamentos de baixo consumo elétrico, ou, a proibição da utilização de lâmpadas incandescentes, que são extremamente ineficientes.

Outra solução que pode contribuir para a diminuição do consumo de energia elétrica no âmbito da iluminação é a utilização de iluminação natural, aproveitando a incidência de raios

---

<sup>9</sup> Neste caso, não se trata exclusivamente de energia elétrica, já que o selo PROCEL avalia também produtos que utilizam combustíveis fósseis com fonte de energia primária.

solares durante o dia, entretanto, esta solução deve ser analisada também quanto a contribuição para o aumento de ganho de calor devido a esta mesma incidência, a qual pode onerar a carga térmica do edifício, levando a um consumo maior do sistema de refrigeração para a manutenção do conforto térmico.

## 6.2 ILUMINÂNCIA DE AMBIENTES

A iluminância – ou iluminamento ou intensidade de iluminação – trata-se de uma grandeza de luminosidade, que representa a relação entre o fluxo luminoso que incide na direção perpendicular a uma superfície iluminada e sua área; Em outras palavras, é a quantidade de luz dentro de um ambiente.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), iluminância é "limite da razão do fluxo luminoso recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, para a área da superfície quando esta tende para o zero." (NBR 5413/1992).

Ainda de acordo com a norma, é definido a iluminância necessária em cada ambiente para a realização de trabalhos de forma correta, sem prejudicar a visão e a saúde do trabalhador. A definição da luminosidade conveniente em cada ambiente inicia-se identificando, de acordo com a tarefa visual que é realizada, em que classe de iluminância está inserido o ambiente, com auxílio da tabela seguinte.

Tabela 6.1-Iluminâncias por classe de tarefas visuais (NBR 5413)

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20 - 30 - 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 - 75 - 100	Orientação simples para permanência curta
	100 - 150 - 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos
	200 - 300 - 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
B Iluminação geral para área de trabalho	500 - 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios
	1000 - 1500 - 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 - 3000 - 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	5000 - 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000 - 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Após determinar a classe que se encontra o ambiente de acordo com a atividade, define-se um peso adequado para a aplicação de acordo com a tabela seguinte:

Tabela 6.2-Fatores determinantes da iluminância adequada (NBR 5413)

Características da tarefa e do observador	Peso		
	-1	0	+1
Idade	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e precisão	Sem importância	Importante	Crítica
Refletância do fundo da tarefa	Superior a 70%	30 a 70%	Inferior a 30%

Assim, analisa-se cada fator de acordo com a característica do trabalho visual, realiza-se a soma algébrica dos pesos obtidos – considerando os sinais – caso o resultado seja igual a -2 ou -3, utilizar o valor inferior de iluminância do grupo; caso o resultado for igual a +2 ou +3, o valor superior; nos demais casos, a iluminância média. Ainda, é salientado que a maioria das tarefas visuais apresenta pelo menos média precisão, e, o valor mais alto das iluminâncias de cada grupo só deve ser utilizado quando a tarefa se apresenta com refletância e contrastes bastante baixos; erros são de difícil correção; o trabalho visual é crítico; alta produtividade ou precisão são de grande importância; a capacidade visual do observador está abaixo da média. Já o valor mais baixo, pode ser utilizado quando a refletância e contrastes são relativamente altos; velocidade e/ou precisão não são importantes; a tarefa é executada ocasionalmente.

A norma ainda estabelece a iluminância de alguns tipos de atividade, no caso do projeto em questão, necessitamos apenas calcular o fator determinante da atividade, já que ela tem estabelecido os valores de iluminância para agências bancárias, que estão expressos na tabela seguinte.

Tabela 6.3-Iluminância para Agência Bancárias (Confecção própria)

<b>Ambiente/Atividade</b>	<b>Baixa</b>	<b>Média</b>	<b>Alta</b>
Atendimento ao público	300	<b>500</b>	750
Máquinas de Contabilidade	300	<b>500</b>	750
Estatística e Contabilidade	300	<b>500</b>	750
Salas de datilógrafas	300	<b>500</b>	750

Salas de gerentes	300	<b>500</b>	750
Salas de recepção	100	<b>150</b>	200
Salas de conferências	150	<b>200</b>	300
Guichês	300	<b>500</b>	750
Arquivos	200	<b>300</b>	500
Saguão	100	<b>150</b>	200
Ambientes de trabalhos de menor importância	200	<b>300</b>	500
Cantinas	100	<b>150</b>	200

De acordo com a tabela 2, acima, conseguimos determinar o nível de iluminância que utilizaremos – alto, médio ou baixo – para tal precisamos determinar o peso de acordo com as características das tarefas. Quanto a idade, utilizaremos o peso 0, pelo fato da média da faixa etária de funcionários ser extremamente dispersa, entretanto, a maioria das pessoas ativas entre 40 e 55 anos encontram-se em atividade de trabalho no país, e este peso não irá influenciar muito na análise total. Quanto a velocidade e precisão, podemos utilizar o peso -1, apesar de ser um item importante para os atendimentos nas agências, a iluminação do ambiente não interfere diretamente na duração das tarefas realizadas no espaço de trabalho. Quanto a refletância do fundo da tarefa, utilizaremos peso 0. Refletância é a razão entre o fluxo de radiação eletromagnética incidente numa superfície e o fluxo que é refletido. Como o ambiente possui telas de computador, folhas e superfícies claras, podemos considerar que esta razão será entre 30 e 70% - o que já é uma faixa muito grande de análise.

Assim, a soma algébrica dos pesos dos fatores resultou em -1, o que indica a utilização da iluminância média para os ambientes. Devemos então desenvolver um projeto de iluminação que atenda aos requisitos da norma e tenha a melhor eficiência energética possível.

Para se garantir que a norma está sendo atendida é necessário aferir se os valores de projeto são os que estão sendo fornecidos. Da mesma forma que o fluxo luminoso não é distribuído uniformemente, não terá o mesmo valor em todos os pontos da área em questão, para tal, devemos seguir os procedimentos descritos na NBR 5382 para verificar a iluminância incidente no ambiente de acordo com a disposição das luminárias e pontos de iluminação. Este procedimento deve ser realizado após a instalação do sistema.

### 6.3 SOLUÇÕES PARA ILUMINAÇÃO

Determinadas as necessidades de iluminância de cada ambiente precisamos decidir qual tipo de alternativa de iluminação será utilizada. Para tal, tendo como base as edificações nZEBs existentes, adotou-se a iluminação do tipo LED, tanto para modelos tubulares, quanto para modelos comuns.

Após uma pesquisa de mercado, os modelos tomados por referência para as simulações térmicas do edifício estão listados na Tabela 6.4, a seguir. As reduções de consumo de energia elétrica e redução na carga térmica do edifício também estão expressas nas Figuras 6.1 e 6.2, respectivamente.

Tabela 6.4 - Características das soluções de iluminação que serão analisados (Confecção própria)

Modelo	Fabricante	Vida Útil (h)	Potência (W)	Fluxo Luminoso (Lm)	Tensão (V)
<b>TUBULARES</b>					
MASTER LEDtube STD 1200mm 20W865 T8 I	Philips	40000	20	2100	220 – 240
<b>COMUNS</b>					
LED Bulb 9.5-60W E27 3000K 220-240V A55	Philips	15000	9.5	806	220-240

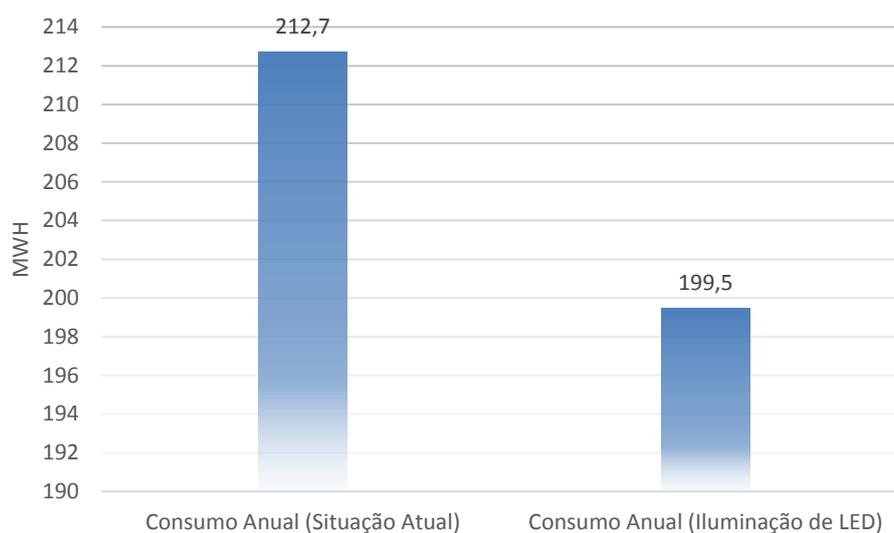


Figura 6.1 - Consumo de energia elétrica após solução Iluminação de LED (O Autor, 2015)

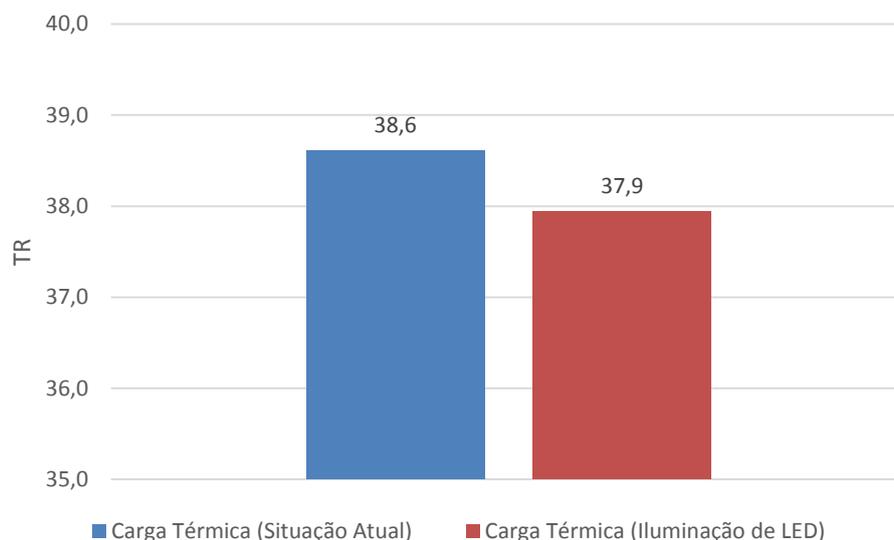


Figura 6.2 – Carga térmica após solução Iluminação de LED (O Autor, 2015)

#### 6.4 AUTOMAÇÃO DE ILUMINAÇÃO

Um dos aliados do baixo consumo de energia elétrica são os sensores de presença, responsáveis por detectar a presença de indivíduos no ambiente. Os sensores funcionam a partir da detecção da temperatura humana e, através da frequência de emissão luminosa do indivíduo, consegue calcular a distância que ele está do sensor, podendo assim, gerir o ligamento e o desligamento de lâmpadas de alguns ambientes. Para a aplicação atual não se faz necessário um modelo específico para ser instalado, pois os modelos disponíveis no mercado são bem similares, assim, deve-se priorizar por marcas reconhecidas, como a Philips, Osram, Samsung e similares.



Figura 6.3 - Sensor de presença (Exatron, 2014)

Os sensores devem ser instalados em locais que, eventualmente, possam ficar desocupados e que não tenham necessidades de interruptores, como corredores, halls e similares, entretanto,

a instalação em qualquer ponto que se achar pertinente que possa contribuir para a diminuição do consumo de energia elétrica pode ser realizado.

Vale ressaltar que, tanto o panorama atual da agência, quanto todas as simulações realizadas para a composição dos dados deste trabalho já incluíram a automação da iluminação através de sensores de presença.

# 7 CLIMATIZAÇÃO

*Este capítulo trata-se do projeto de climatização da agência, analisando as soluções possíveis com ênfase na eficiência energética do sistema e do conforto térmico dos usuários do edifício, além dos requisitos necessários para a realização do projeto.*

## 7.1 IMPORTÂNCIA DA CLIMATIZAÇÃO PARA UM PROJETO NZEB E CONFORTO TÉRMICO

A Arquitetura e a Engenharia devem servir ao homem e ao seu conforto, isto inclui o seu conforto térmico, oferecendo condições térmicas favoráveis ao conforto térmico humano no interior dos ambientes independentemente das condições climáticas externas. As principais variáveis climáticas de conforto térmico são temperatura, umidade, velocidade do ar e radiação solar incidente, além de serem influenciadas pelo regime de chuvas, vegetação, permeabilidade do solo, águas superficiais e subterrâneas, topografia, entre outras características locais.

Neste cenário, são comumente aplicados aparelhos de Ar Condicionado que visam a manutenção ou a construção de cenário favorável a condições adequadas de conforto térmico para o ser humano, observando também o conforto acústico e olfativo nos ambientes. As condições de conforto e a qualidade do ar no interior dos edifícios são atualmente mais importantes que nunca, dessa forma as soluções de ventilação e tratamento do ar, permitem, regular a qualidade do ar interior, no que diz respeito às suas condições de temperatura, umidade e limpeza.

O tratamento do ar é importante porque permite reduzir os microrganismos como bactérias, vírus e principalmente mofo e fungos na habitação, tendo esta grande importância na causa de doenças e alergias. A ventilação permite introduzir ar novo e limpo do exterior de forma a substituir o ar viciado existente, dentro do edifício. Para manter o seu conforto e para uma melhor eficiência energética é importante que a substituição do ar seja feita de modo a minimizar a sua perda.

O sistema de climatização de um projeto também influencia bastante no consumo final de energia elétrica, e são praticamente essenciais para manutenção do conforto em um ambiente. Um projeto de climatização envolve muitos fatores, não consiste apenas em alocar aparelhos para que o ambiente fique simplesmente gelado, é essencial avaliar corretamente

todos as necessidades do ambiente – taxa de renovação de ar, insuflamento, temperatura e outros – de acordo com a sua finalidade.

Práticas de engenharia que não levam em conta todos os fatores necessários para um bom projeto podem onerar os custos de consumo energético, onerar os custos da instalação e prejudicar a saúde dos frequentadores do edifício.

## 7.2 SITUAÇÃO PARA CLIMATIZAÇÃO

Após as considerações anteriores, chegamos a uma construção otimizada que necessita atingir o conforto térmico. Esta situação trata-se da aplicação de todas as soluções construtivas sugeridas para a redução da carga térmica e do consumo de energia elétrica. Dito isso, seguem alguns dados relevantes a partir deste ponto para a análise de conforto térmico.

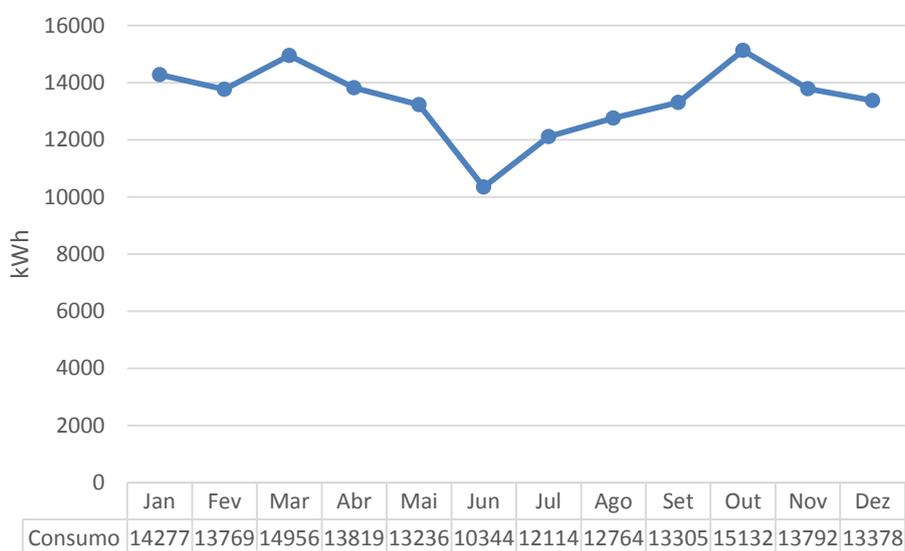


Figura 7.1 – Perfil de consumo mensal do edifício com as soluções sugeridas (O Autor, 2015)

Vale lembrar que este panorama ainda considera o sistema de climatização atual instalado na agência, mesmo assim, as soluções propostas já reduziram o consumo de energia elétrica em 24,7%. Nessas condições, o perfil PMV comporta-se como mostra a Figura 7.2, a seguir.

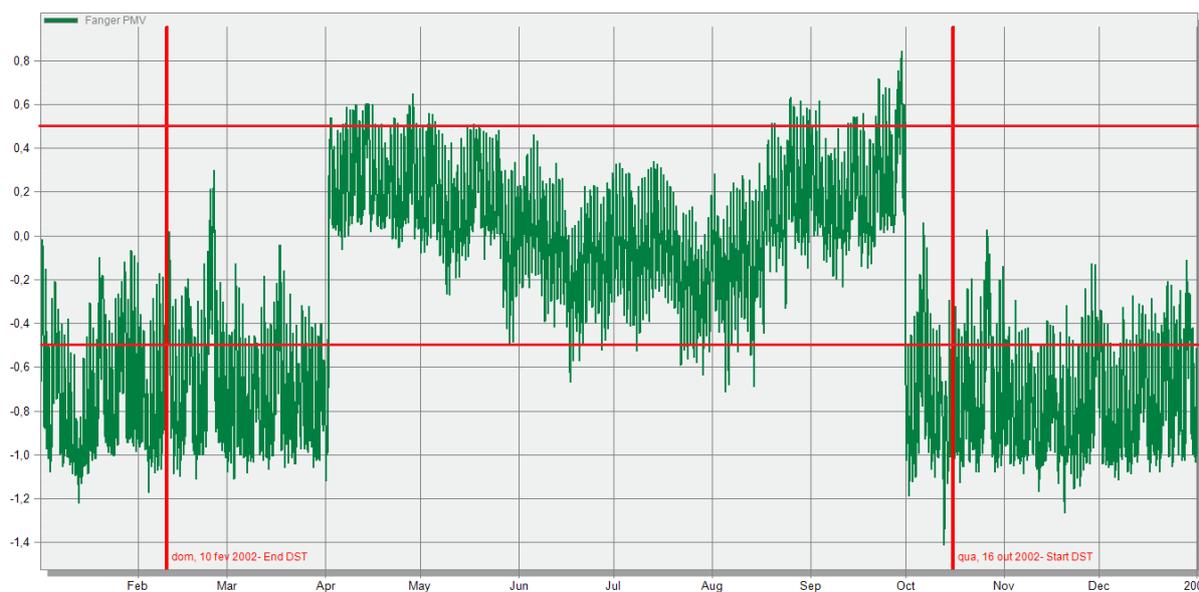


Figura 7.2 - Perfil PMV após aplicação das soluções sugeridas (Design Builder, 2015)

Ainda, as horas de desconforto durante o ano agora somam 493,7 h, incluindo desconforto por frio e por calor. Percebemos que o índice PMV indica maior desconforto por frio – índices menores que -0,5 – e que devemos ajustar os termostatos para garantir o conforto térmico.

Apenas o ajuste dos termostatos pode adequar o perfil PMV e garantir o conforto térmico, entretanto, o sistema instalado na agência é antigo, e apresenta baixa eficiência. Além disso, o sistema não conta com regeneradores, tratamento do ar de renovação e consiste em várias soluções diferentes aplicadas no mesmo edifício, como mostrado no capítulo 3.

Dessa forma, torna-se importante o estudo para mudança do sistema de climatização, afim de atingir o conforto térmico e reduzir o consumo de energia elétrica. Vale ressaltar que agora não serão mais alteradas características construtivas, apenas o ajuste do sistema de climatização.

Para tal, é importante identificar a carga térmica resultante do edifício após a aplicação das soluções sugeridas. Adiante, será elucidada a teoria acerca do cálculo da carga térmica de um ambiente, ela será calculada e será realizada seleção e ajuste de novo sistema de climatização.

### 7.3 DETERMINAÇÃO DAS ZONAS TÉRMICAS

Para dar início ao projeto de climatização da agência iremos dividi-la em zonas térmicas distintas, que visa reduzir as perdas de carga ao longo de grandes linhas frigorígenas e seus custos. Segundo a BEMBook, há alguns critérios simples que devem ser seguidos ao se determinar um projeto de zonas térmicas em um edifício, dentre eles:

- **Critério de utilização:** Quaisquer ambientes que estiverem combinados em uma única zona térmica devem ter cargas térmicas e agendas de utilização semelhantes, o que envolve o número de pessoas, iluminação, equipamentos e a frequência de uso do ambiente;
- **Critério de temperatura:** Salas em uma mesma zona térmica devem ter mesmo setpoint de refrigeração;
- **Critério de ganho solar:** Ambientes em uma mesma zona térmica devem ter ganhos de energia por carga solar semelhantes, o que também favorece na imposição de cargas térmicas semelhantes;
- **Critério de perímetro e localização interior:** Áreas de perímetro não devem estar em uma mesma zona térmica que áreas mais interiores do edifício. Isso se justifica porque a carga térmica em corredores, por exemplo, é muito menor do que a carga térmica de ambientes que ficam com algumas de suas paredes expostas à radiação solar;
- **Critério de distribuição do sistema:** Não é possível combinar ambientes que estejam sendo climatizados por alternativas distintas de refrigeração.

Dadas os critérios estabelecidos, foram estabelecidas as seguintes zonas térmicas (Figura 7.1 e Figura 7.2).

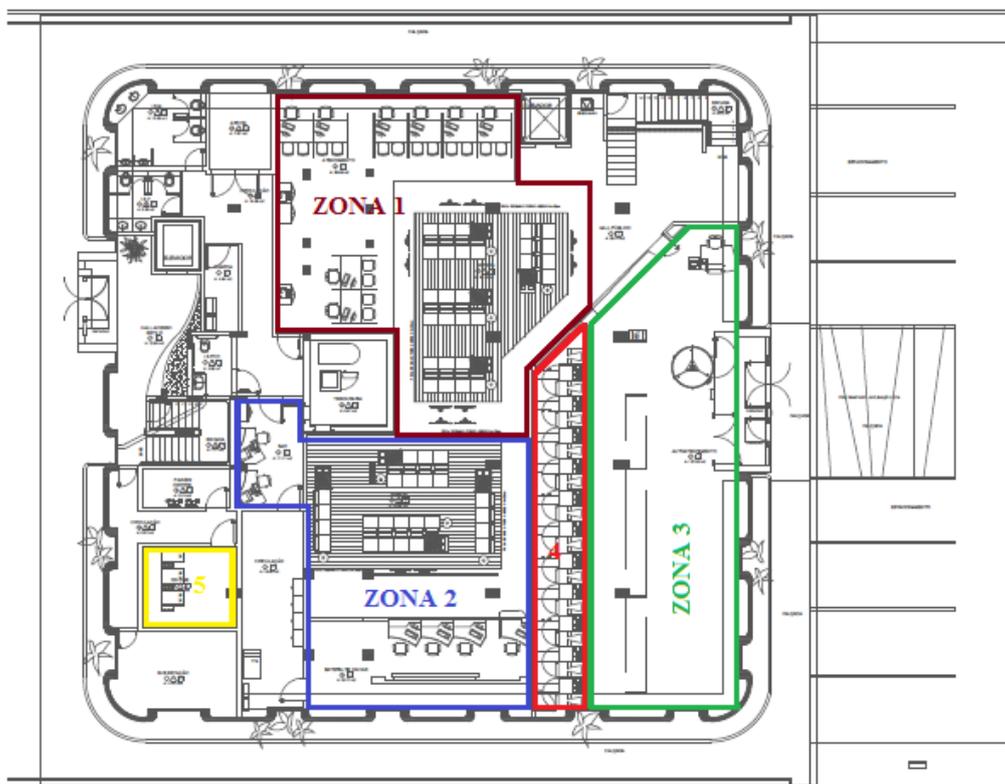


Figura 7.3- Zonas térmicas pavimento térreo (O Autor, 2014)

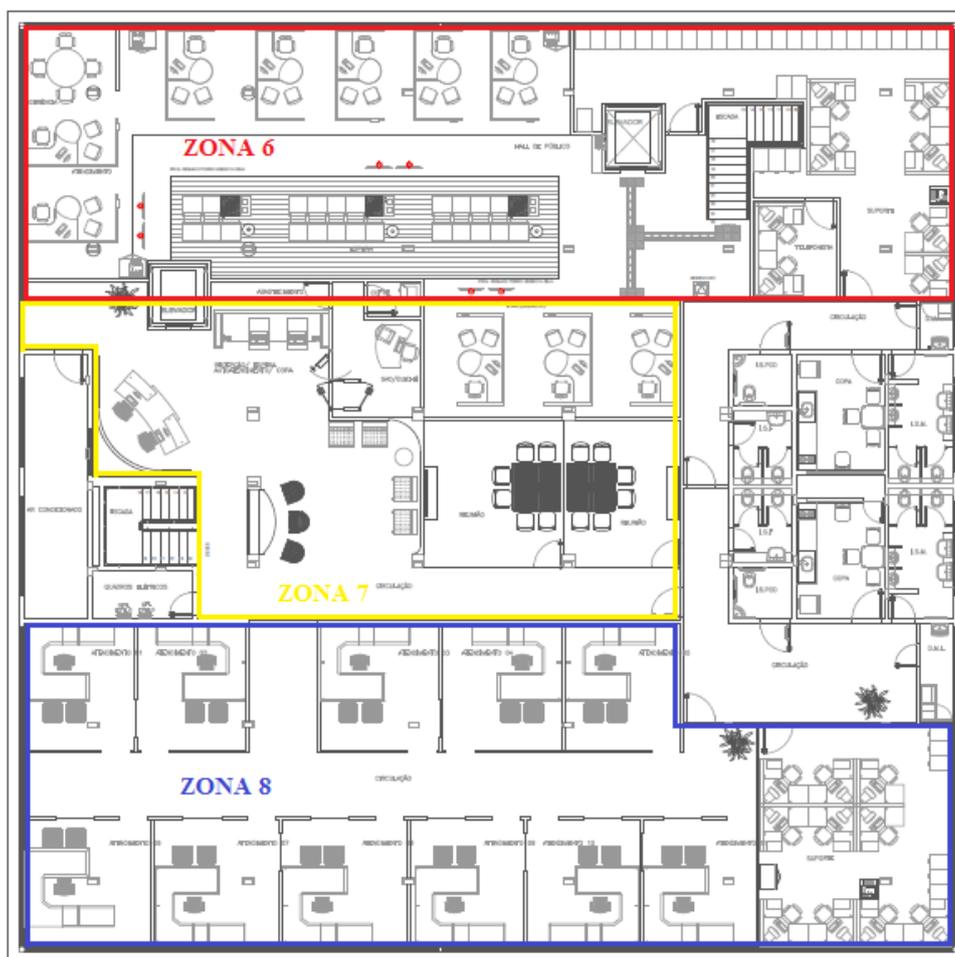


Figura 7.4 - Zonas térmicas segundo pavimento (O Autor, 2014)

Podemos perceber que alguns ambientes não fazem parte de nenhuma zona térmica, isso deve-se do fato que são ambientes que não necessitam de climatização, por não existir atividade contínua de trabalho, com, por exemplo, as copas, os banheiros, áreas de circulação, salas cofre e similares. O fato de não necessitar de climatização, não implica que o ambiente não necessite de renovação de ar, como, por exemplo, banheiros e copas.

Dessa forma, estão detalhados a seguir (Tabela 7.1) as atividades realizadas em cada zona térmica que justificam a sua separação.

Tabela 7.1- Caracterização das zonas térmicas (Confecção própria)

Zona Térmica	Atividades Realizadas
<b>Zona 1</b>	Atendimento presencial (ambientes com paredes voltadas para o exterior) e hall de espera para clientes.
<b>Zona 2</b>	Atendimento caixa (ambientes com paredes voltadas para o exterior) e hall de espera para clientes.

<b>Zona 3</b>	Ambiente Autoatendimento
<b>Zona 4</b>	Ambiente de reabastecimento dos terminais de autoatendimento (TAA)
<b>Zona 5</b>	Sala Online (necessita ser climatizado por <i>split</i> )
<b>Zona 6</b>	Atendimento presencial (ambientes com paredes voltadas para o exterior), sala de suporte e hall de espera para clientes.
<b>Zona 7</b>	Atendimento presencial, sala de reuniões e hall de espera para clientes.
<b>Zona 8</b>	Atendimento presencial (ambientes com paredes voltadas para o exterior), sala de suporte e hall de espera para clientes.

#### 7.4 CARGA TÉRMICA

A pergunta essencial a ser respondida no estudo de carga térmica é como dimensionar a capacidade de climatização necessária do sistema de ar condicionado. Para isso, as condições climáticas externas, a radiação solar e as cargas internas devem ser devidamente analisadas. Para projetos nessa área, três taxas distintas de transferência de calor estão relacionadas:

- Ganho de calor: taxa interna segundo a qual o calor entra ou é gerado no espaço em questão. Importante notar que esse ganho pode ser tanto sensível quanto latente;
- Carga térmica: taxa segundo a qual o calor deve ser removido do espaço de tal forma que a temperatura do ar permaneça constante;
- Taxa de extração de calor: taxa segundo a qual o calor é removido do espaço condicionado. Esse valor se iguala à carga térmica apenas quando a temperatura do ar é mantida constante.

Para a determinação da carga térmica, é importante notar que o calor pode entrar no ambiente por meio das paredes e das janelas, além de poder ser gerado por equipamentos elétricos diversos ou até mesmo pela presença de pessoas. Há inúmeras soluções arquitetônicas e de engenharia plausíveis para a redução da carga térmica, o que varia inevitavelmente a carga térmica a ser vencida. Dentre essas soluções, pode-se citar o tipo de parede utilizada, a variação do posicionamento do prédio em relação à incidência solar, a instalação de utensílios que garantam sombreamento externo e até mesmo a utilização de películas nas janelas.

Nesse sentido, é necessário determinar numericamente a carga térmica de refrigeração das baias de atendimento, hall de espera dos clientes, salas de suporte e o restante dos ambientes que necessitam climatização. No caso de prédios, edifícios e grandes pavilhões, o cálculo da carga térmica considera uma série de fatores, sendo os principais:

- envoltória do edifício: considera o ganho de carga térmica pela incidência solar na fachada, através de superfícies de vidro (como em janelas, por exemplo), dentre outros. Neste caso, é fundamental que a posição e orientação geográfica do prédio, os tipos de vidros e materiais utilizados em janelas e paredes e a posição de possíveis sombras sejam variáveis conhecidas;
- ocupação e utilização: as pessoas e equipamentos (principalmente eletrônicos) inseridos nos limites do pavilhão dissipam determinada quantidade de calor, a qual deve ser considerada para o cálculo da carga térmica;
- condições climáticas locais: considera a influência de fatores naturais, tais como a velocidade e a direção dos ventos, os limites máximo e mínimo de temperatura, a umidade relativa do ar, a insolação média, etc;
- hora e data: dependendo do dia, as condições climáticas externas podem exigir uma maior ou menor necessidade de resfriamento. Assim, é importante definir o período de utilização do prédio.

Considerando a metodologia de simulação já citada, utiliza-se o modelo já construído no software *Design Builder* para a análise da carga térmica. Trata-se de uma opção acessória ao programa, que também utiliza o *Energy Plus* como motor de cálculo e, além da carga térmica, calcula as necessidades de vazão de ar insuflada e renovada.

Utiliza-se como dados de entrada que a localização do prédio esteja a 15° na latitude sul - Brasília. Para os vários ambientes do edifício, as definições de temperatura de bulbo seco, vazão de renovação e umidade relativa foram feitas de acordo com os limites estabelecidos pela norma NBR 16401-3. A taxa de ocupação foi escolhida de acordo com as recomendações da norma NBR 16401. A norma NBR 16401 estabelece condições climáticas típicas de acordo com a região do território nacional. Sendo assim, para Brasília, a temperatura externa máxima foi definida em 34°C. Considerando a planta baixa dos dois pavimentos da edificação, a Tabela 7.2, a seguir, identifica a divisão dos ambientes (Figura 7.3 e Figura 7.4) para o tratamento da carga térmica. Relembrando que alguns ambientes não necessitam climatização, apenas aqueles que terão pessoas em trabalho ativo durante o expediente.

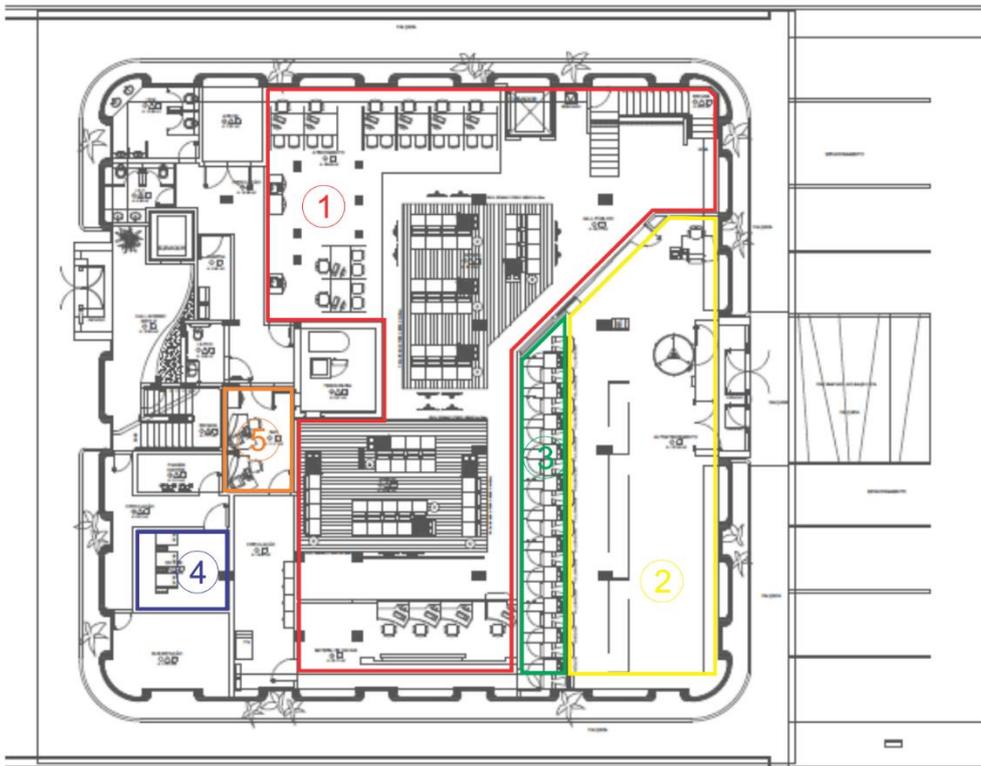


Figura 7.5 - Ambientes 1º pavimento (O Autor, 2014)



Figura 7.6 - Ambientes 2º pavimento (O Autor, 2014)

Tabela 7.2 – Divisão dos ambientes do Instituto de Letras (Confecção própria)

<b>Ambiente</b>	<b>Descrição</b>
<b>1</b>	Atendimento Caixa e Presencial
<b>2</b>	Salas de Autoatendimento
<b>3</b>	Corredor de abastecimento dos TAAs
<b>4</b>	Sala Online
<b>5</b>	Tesouraria
<b>6</b>	Atendimento Presencial (Personalizado)
<b>7 e 12</b>	Suporte
<b>8</b>	Telefonistas
<b>9 e 10</b>	Salas de Reunião
<b>11</b>	Atendimento Presencial (Estilo)

Por meio da utilização do software *Design Builder*, diversos parâmetros devem ser identificados para que os resultados sejam válidos. Dentre essas informações de entrada, destaca-se que a temperatura interna do ambiente climatizado foi definida como sendo igual a 22 °C, o que representa um valor aceitável para que o conforto térmico seja atingido. Ressalta-se que, segundo a norma ISO 7730, o conforto térmico é o estado de alma que expressa satisfação com o ambiente térmico, ou seja, é um conceito subjetivo. Os valores de área foram obtidos por meio das plantas em AutoCAD e o número de pessoas por ambiente foi obtido pelo modelo de ocupação já apresentado para a agência.

Ainda, existe a necessidade da renovação do ar circulante. Em algumas aplicações onde o condicionamento de ar está diretamente ligado ao conforto, a vazão mínima de ar externo deve estar entre 10 a 20% da vazão total de ar insuflado. Em aplicações especiais, como salas de operações em hospitais e laboratórios, o ar insuflado é inteiramente externo, sendo condicionado para atender as condições de temperatura preestabelecidas, nestes casos, não se recircula o ar.

Para o cálculo da taxa de renovação de ar, é necessário alocar o ambiente em uma categoria de área funcional e determinar o volume de ar presente no ambiente. De posse dos dados presentes na Tabela 7.3, e dos procedimentos presentes na norma NBR 16401-2:2008, pode-se determinar a taxa de renovação de ar e a vazão eficaz de ar necessária.

Tabela 7.3 – Taxa de renovação de ar interno. (Internet)

ÁREA FUNCIONAL	TAXA DE RENOVAÇÃO
Salas de animais	12 a 16
Auditórios	10 a 20
Padaria	20 a 60
Igrejas	15 a 25
Salas de aula	10 a 30
Corredores	3 a 10
Ginásios	5 a 30
Garagens	6 a 10
Bibliotecas	15 a 25
Restaurantes	6 a 20
Lojas	18 a 22
Residências	5 a 20
Escritórios	6 a 20
Salas de depósito	2 a 15

Assim sendo, a seguir mostram-se valores de carga térmica, vazão de ar, taxa de renovação e número de pessoas em cada ambiente. O valor total da carga térmica corresponde à potência de refrigeração necessária em cada ambiente, enquanto a vazão de ar considera os processos de insuflamento e externo, bem como as trocas de ar por hora e com o meio exterior.

Tabela 7.4 - Carga térmica e vazão de ar dos ambientes climatizados (Confecção própria)

Ambiente	Carga Térmica (TR)	Vazão de Ar (m <sup>3</sup> /h)		Taxa de Renovação (Trocas/hora)	Número de pessoas
		Insuflada	Exterior		
<b>1</b>	4,43	5063,76	1065,6	15	30
<b>2</b>	2,97	2209,68	806,4	15	30
<b>3</b>	0,96	1461,60	-	2	-
<b>4</b>	0,65	1097,28	-	2	-
<b>5</b>	0,36	302,76	39,6	6	2
<b>6</b>	3,74	4604,40	873	15	25
<b>7</b>	1,65	1834,92	124,56	15	6
<b>8</b>	0,29	274,32	31	6	2
<b>9</b>	0,53	409,32	95,76	10	6
<b>10</b>	0,47	331,92	92,16	10	6
<b>11</b>	5,91	6238,44	333,5	8	30
<b>12</b>	1,63	1645,20	169,2	8	10
<b>TOTAL</b>	<b>23,58</b>	<b>25473,6</b>	<b>3630,78</b>	<b>-</b>	<b>147</b>

Nota-se que o número de ambientes é menor do que o número total de salas mostradas no projeto, devido ao fato de que os ambientes representam apenas as localidades passíveis de climatização. Apenas para exemplificar o conceito de ambiente térmico, banheiros e copas não entraram no projeto de climatização, já que não há permanência de indivíduos por muito tempo.

Como resultado da simulação térmica realizada, a carga térmica de todo o projeto totaliza em 23,58 TR para um edifício de 1450 m<sup>2</sup> de área. Nota-se ainda que a vazão de ar insuflado totaliza 29104,38 m<sup>3</sup>/h.

De posse de todas as influências térmicas atuantes sobre o ambiente, a carga térmica está determinada e deverá ser vencida por meio do método selecionado de climatização. Deve-se atentar, portanto, que o ar proveniente de renovação deve estar de acordo com as características do ar tratado no interior do ambiente, para tal, serão utilizados misturadores de ar que permitem a troca de calor e umidade entre o ar de renovação e o ar insuflado no ambiente.

## 7.5 ALTERNATIVAS DE CLIMATIZAÇÃO

Determinadas a carga térmica de cada ambiente precisamos decidir qual tipo de alternativa de climatização será utilizada. Para tal, analisaremos de acordo com eficiência energética das soluções de climatização pré-escolhidas, com base nas tendências de mercado, tendências de eficiência energética e limitadores de projeto.

Com o objetivo de se preservar a integridade estética da edificação, a opção de se instalar condensadoras na parede lateral exterior não deve ser considerada. A opção de se utilizar casa de máquinas internas ao edifício tem a limitação das dimensões estabelecidas, que são uma sala de 7,89 m<sup>2</sup> no primeiro pavimento e uma sala de 16,43 m<sup>2</sup> no segundo. Deve-se preferir a utilização do mesmo sistema para ambos os pavimentos.

Ainda, existe espaço suficiente entre o forro e o teto nos dois pavimentos, o que sugere a instalação de sistemas que utilizem dutos. A opção de utilizar unidades evaporadoras internas aparentes, mesmo unidades embutidas, deve ser considerada apenas em último caso, com exceção da sala online do edifício. Por fim, o sistema deve ser passível de automação, e que não exija nenhum técnico residente para a sua operação.

Dessas considerações, podemos descartar algumas soluções de climatização e concentrar em algumas possibilidades, que são:

- **Chiller de condensação a ar:** O sistema chiller de condensação a ar/fan-coil é um sistema de expansão indireta. O ambiente a ser climatizado com este tipo de sistema troca

calor com um sistema composto por uma serpentina e um ventilador (fan-coil), onde permite a distribuição de ar por dutos. Podem contar com a tecnologia *inverter*<sup>10</sup>.

- **Sistema VRF:** O sistema de ar condicionado do tipo VRF é um modelo desenvolvido especialmente para residências amplas e edifícios comerciais de médio e grande porte. É um sistema multi-split com apenas uma unidade externa condensadora ligada a múltiplas unidades internas que operam individualmente (podendo chegar a 64 máquinas). O refrigerante utilizado nesse sistema é preferencialmente o R-410. Existem sistemas VRF que contam com a tecnologia *Inverter*, viabilizando a economia de energia elétrica.

- **Sistema Splitão:** De fato, um sistema *Split* comum de grande porte, cuja unidade evaporadora, com grandes dimensões, permite a utilização de dutos para a canalização e distribuição do ar tratado. Possui a possibilidade de capacidades de refrigeração de 5 a 50 TR, e quando os compressores são dotados da mesma tecnologia *inverter*, já citada, podem ser sistemas de baixo consumo energético.

Assim, serão analisadas as soluções supracitadas quanto ao consumo de energia elétrica de acordo com a necessidade de capacidade de refrigeração já determinada. O custo com dutos, isolamento e similares serão considerados posteriormente, já que o gasto realizado com as soluções é, aproximadamente, igual para todas as soluções. Dito isto, seguem algumas soluções que podem ser adotadas para atender as necessidades de carga térmica do ambiente, considerando que, de modo geral, as soluções de maior eficiência energética, são aquelas que possuem maior COP<sup>11</sup>.

Tabela 7.5 - Comparação das soluções de climatização (Confecção própria)

Marca	Modelo	Unidade Condensadora	
		Capacidade (TR)	COP
<b>Chiller condensação a ar</b>			
<b>Hitachi</b>	AISL 30 TR	28,9	2,91
<b>Carrier</b>	30 RH 30 TR	26,5	1,79

<sup>10</sup>*Inverter* é uma tecnologia que regula o fluxo de energia do sistema, alterando a velocidade do compressor quando se detecta que o ambiente precisa de menos refrigeração ou aquecimento. O *inverter* também auxilia reduzindo os picos de energia e flutuação.

<sup>11</sup> COP (Coeficiente de Performance) é a razão entre o efeito útil (a capacidade de retirar calor do ambiente) e o gasto de energia realizado pelo compressor.

<b>Sistema VRF</b>			
<b>Hitachi</b>	RAS32FSNHB	25,58	4,24
<b>LG</b>	ARUB320BTE4	25,47	4,14
<b>Mitsubishi</b>	PUHY-800YSHM	25,59	3,25
<b>Midea</b>	MDVS-16W/D2CN1(B)	25,58	3,91
<b>Sistema Splitão</b>			
<b>Hitachi</b>	2 RTC200_K	30,9	2,66
<b>York</b>	HCE300	25	2,58

Assim, pode-se identificar que os sistemas que oferecem maior COP são os sistemas VRF, portanto, o que será adotado para o projeto. Como referência, utilizaremos uma unidade condensadora da marca Hitachi, modelo RAS32FSNHB, cuja capacidade nominal de refrigeração é de 25,58 TR.

Selecionada a unidade condensadora, partimos para a seleção da unidade evaporadora, a qual deve ser compatível com a solução adotada, eficiente energeticamente, atender as vazões necessárias de ar e que tenda aos requisitos de arquitetura já citados. Dito isto, por preferência na utilização de dutos afim de não ferir a estética do projeto, foi selecionada a seguinte solução do tipo piso duto:

Tabela 7.6 - Características evaporador (Confecção própria)

<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Unidade Evaporadora</b>	
		Capacidade (TR)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)
<b>Hitachi</b>	4 RPDT16FSN5B	12,8	7200

Com isso, serão instaladas nas casas de máquinas duas unidades evaporadoras por andar, e a unidade condensadora no teto do edifício. Ainda, será empregado um aparelho *Split*, na sala online, cujo selo PROCEL seja A, de marca reconhecida no mercado. O projeto de dutos, tanto para ar de insuflamento e ar de renovação, o projeto de retorno de ar, competem ao projeto básico de instalação do ar condicionado, que não se mostra importante para este trabalho.

A instalação de regeneradores de calor nas linhas do ar condicionado também contribuiu para a redução do consumo de energia elétrica, já que aumenta a sua eficiência térmica. O princípio de funcionamento dos regeneradores – ou recuperadores – de calor consiste na troca de temperatura e/ou umidade entre o ar de retorno e o ar de insuflação no interior dos ambientes. Desta forma, a energia térmica contida no ar de retorno é recuperada para o ar de insuflação e como consequência a capacidade total de energia necessária para tratar o ar é reduzida, em

níveis maiores que 50%. Antes da introdução de regeneradores de calor o ar de retorno era simplesmente rejeitado diretamente para a atmosfera.

O modelo utilizado como referência – Hitachi KPI100A3P – para as simulações possui eficiência entálpica de 73% para aquecimento e 67% para resfriamento para vazões de 800 m<sup>3</sup>/h, e eficiência entálpica de 70% para aquecimento e 64,3% para resfriamento se opera com vazões maiores que 800 m<sup>3</sup>/h.

## 7.6 CONFORTO TÉRMICO

A mudança do sistema de climatização contribui para a redução do consumo de energia elétrica, já que o novo possui um COP mais elevado do que o sistema instalado anteriormente. Ainda, pode-se uniformizar o sistema de climatização utilizado, o que reduz custos com manutenção e, principalmente, com energia elétrica, já que, dessa forma, o sistema foi projetado para atender todas as necessidades de vazão de ar e temperatura dos ambientes. A seguir, na Figura 7.7, podemos analisar a contribuição do novo sistema de climatização para a redução no consumo de energia elétrica.

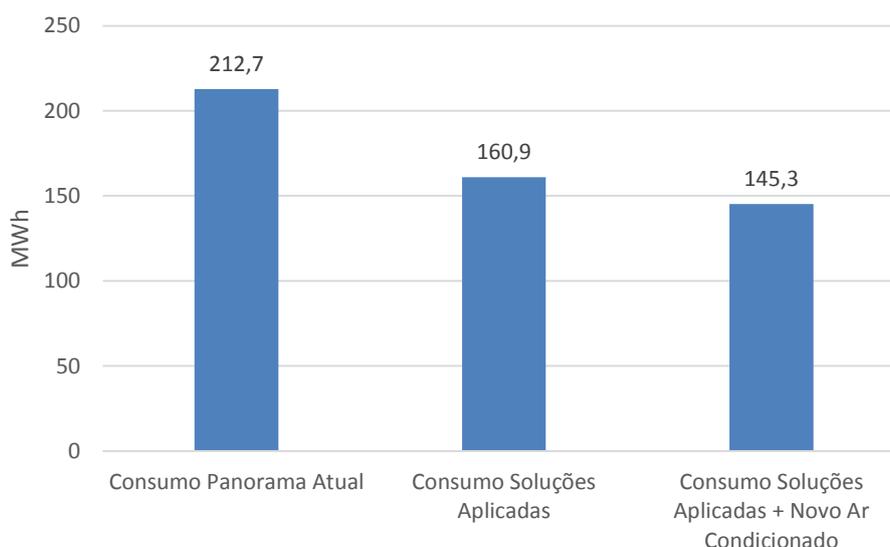


Figura 7.7 - Comparação do consumo de energia elétrica anual (O Autor, 2015)

Dada a seleção do novo sistema de climatização precisamos garantir que ele proporcione o conforto térmico para os ocupantes. Analisando o perfil PMV nessa situação (Figura 7.8) percebemos que ainda existe grande desconto por frio, principalmente nos meses de janeiro a abril e de outubro a dezembro, somando um total de 493,8 horas de desconforto térmico.

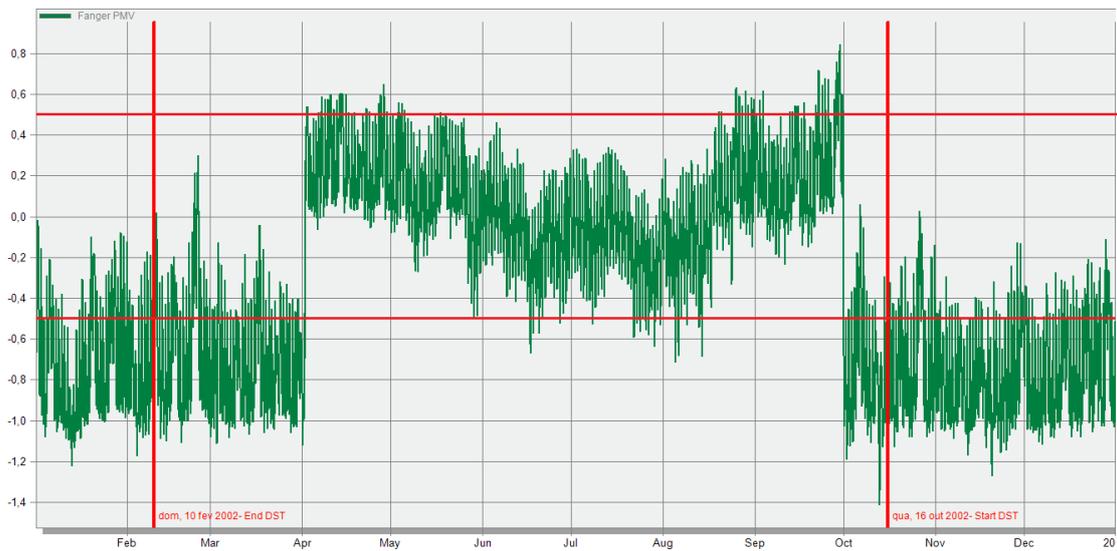


Figura 7.8 - Perfil PMV para novo sistema de climatização (Design Builder, 2015)

Uma ótima prática para adequar o PMV entre os valores aceitáveis é realizando o ajuste nos termostatos do sistema de climatização. Anteriormente, e em todas as simulações realizadas, o *setback* para aquecimento era de 18°C e para resfriamento de 28°C, sendo que a temperatura deveria ser mantida em 22°C. Como o desconforto maior era por frio, alterou a temperatura de operação do ar de 22°C, para 22,5°C, no caso do aquecimento e para 21,5°C para o resfriamento, ajustando os *setback* de aquecimento e resfriamento para 20°C e 24°C, respectivamente. Tal alteração resultou num perfil PMV (Figura 7.9) que atende os requisitos de conforto térmico, como mostra perfil PPD (Figura 7.10), reduzindo as horas de desconforto térmico para 480,48 horas durante o ano.

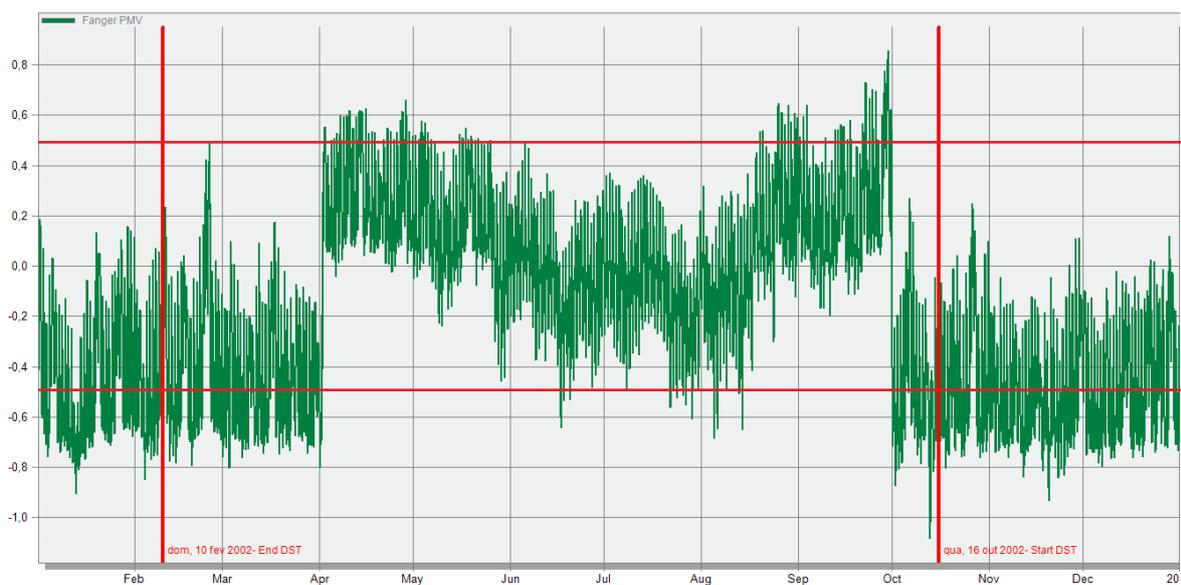


Figura 7.9 - Perfil PMV após ajuste dos termostatos (Design Builder, 2015)

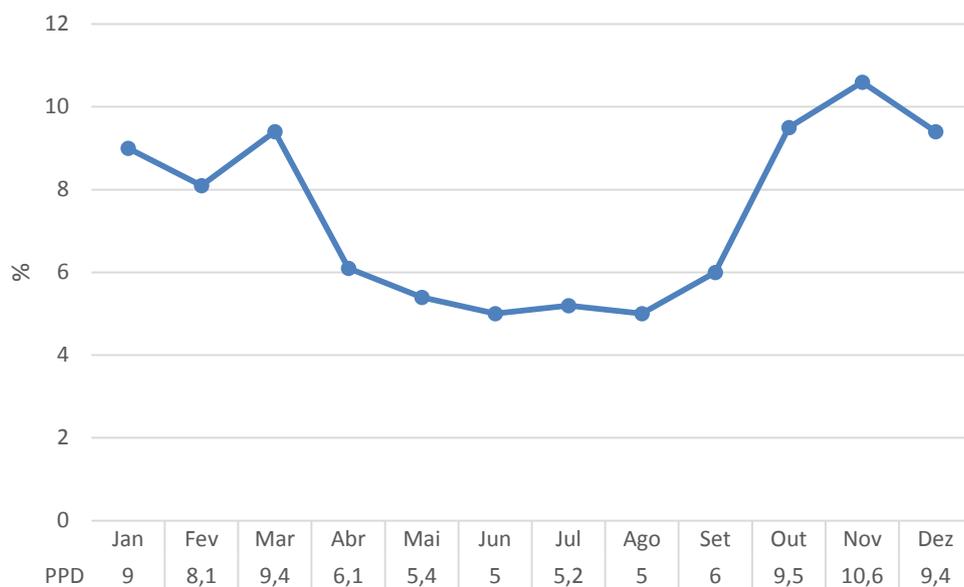


Figura 7.10 - Perfil PPD mensal (O Autor, 2015)

A alteração do termostato não contribuiu apenas para a manutenção do conforto térmico, mas, conseqüentemente, auxiliou também na redução de consumo de energia elétrica, já que, precisando produzir agora ar com temperaturas mais elevadas, ocorre diminuição na produção das unidades condensadoras da instalação. Por fim, o consumo final de energia elétrica da edificação encontra-se na Figura 7.11, a seguir, e mostra uma comparação da redução total de energia elétrica do panorama atual e todas as fases de soluções empregadas no projeto.

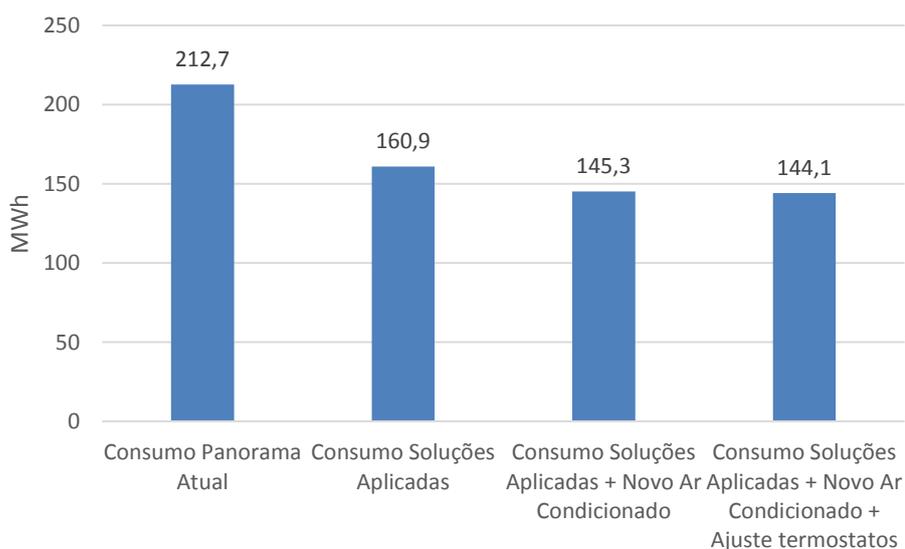


Figura 7.11 – Comparação do consumo anual de energia elétrica a partir das soluções utilizadas (O Autor, 2015)

## 8 ANÁLISE ENERGÉTICA

*Este capítulo apresenta uma breve introdução sobre energia solar fotovoltaica, uma análise do efeito do sombreamento sobre o projeto e o dimensionamento do sistema de geração de energia.*

### 8.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é a energia proveniente da transformação direta de luz solar em energia elétrica. Este fenômeno foi descrito pela primeira vez pelo físico Edmond Becquerel, em 1839, ao perceber que o Selênio, ao ser exposta ao sol, produzia uma corrente elétrica diretamente proporcional à radiação recebida. O assunto tomou destaque no início da década de 60, devido a guerra fria, já que esta alternativa mostrou-se apropriada para a manutenção e viabilização de missões aeroespaciais na época.

Grandes investimentos foram realizados em fontes alternativas de energia, incluindo a solar, na década de 70, conjuntamente com a crise do petróleo, inserindo a tecnologia das células fotovoltaicas em aplicações terrestres. Nesta mesma época foram desenvolvidos estudos para a redução do custo da tecnologia, onde foram desenvolvidas células de silício policristalino, que eram muito mais fáceis e mais baratas de se produzir que as células de silício monocristalino, porém menos eficiente.

Os sistemas fotovoltaicos são divididos quanto a sua aplicação, que podem ser autônomos ou ligados à rede elétrica. Nos sistemas ligados à rede elétrica, além dos geradores fotovoltaicos, é necessário instalar um inversor de corrente, que irá transformar a corrente contínua gerada nos painéis em corrente alternada. Ainda, conectar um equipamento de proteção contra correntes reversas nos painéis. A figura 2, a seguir mostra um esquema ilustrativo de um sistema fotovoltaico ligado à rede.

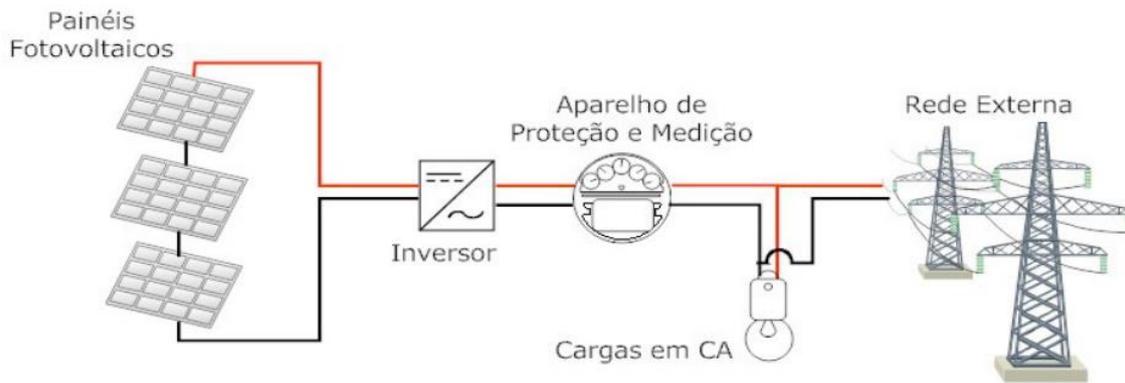


Figura 8.1 - Modelo ilustrativo de sistema fotovoltaico ligado à rede elétrica (O Autor, 2015)

Neste tipo de montagem, o sistema não precisa de um sistema de armazenamento de energia, onde a energia que não está sendo utilizada pelo circuito é jogada na rede. Isto é muito comum em países europeus, onde o Estado fornece taxas de energia elétrica menores para “pequenos produtores” de energia. No Brasil não existe nenhum incentivo do tipo, e ainda há grande dificuldade em se projetar um sistema de pequeno porte, como uma residência ou um edifício comercial, e liga-lo a rede elétrica.

Nos sistemas autônomos, torna-se necessário um meio de armazenamento de energia, onde são empregados frequentemente as baterias. Além disso, deve-se instalar um controlador de carga para a proteção da bateria contra sobre carga, proveniente dos painéis, e contra carga contrária – geralmente alternada – vinda do circuito ligado, já que ainda é necessário a utilização de um inversor de corrente.

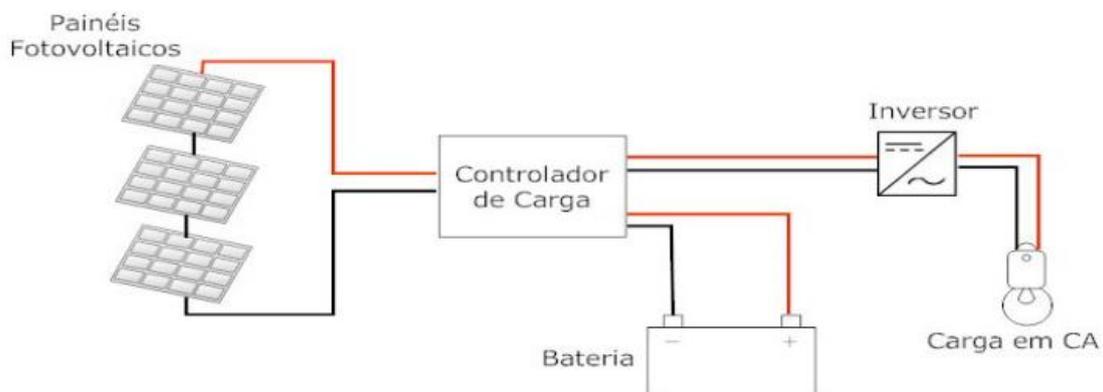


Figura 8.2 - Modelo ilustrativo de sistema fotovoltaico autônomo (O Autor, 2015)

Os painéis fotovoltaicos são placas planas com várias células fotovoltaicas ligadas, que produzem corrente contínua através do *efeito fotovoltaico*, que ocorre nas células se existir energia suficiente em um fóton de luz incidente que é capaz de excitar elétrons através do campo elétrico formado pelos polos da placa. Uma única célula solar, em sua potência máxima, é capaz de produzir cerca de 0,4 Volts, deste fato que ocorre a necessidade de se ligar várias placas – normalmente os painéis possuem entre 36 a 72 células, produzindo assim tensões de corrente contínua compatíveis com sistema de 12 a 24V.

Caso a energia produzida por um único painel não seja suficiente para a demanda energética do projeto, é possível aumentar a geração conectando outros painéis no sistema. Ao se conectar painéis em série, a tensão de saída do sistema será proporcional à quantidade de painéis, com o valor da corrente permanecendo o mesmo, permitindo que o sistema seja ligado com cabos de mesma bitola, entretanto, o sombreamento de um único módulo afeta a eficiência da fileira como um todo.

Ao se conectar painéis em paralelo, não iremos alternar o valor da tensão de saída, desse modo, podemos alocar vários equipamentos que exigem o mesmo nível de tensão em um mesmo painel, mas, deve-se atentar para os níveis de corrente que serão atingidos. Nesta configuração o sombreamento afeta a produção apenas dos módulos em que incide.

Ainda, pode-se conectar fileiras de painéis em paralelo, constituindo uma ligação série-paralelo, que consegue atender solicitações maiores de tensão e corrente. São comumente empregados em sistemas maiores.

## 8.2 EFEITOS DO SOBREAMENTO

Como dito anteriormente, o sombreamento afeta a produção energética das placas fotovoltaicas, pelo fato de impedirem a incidência solar em determinadas células. Assim, o levantamento de possíveis sombreamentos e o estudo do posicionamento do sol durante o ano é fundamental para o sucesso do projeto. A produção energética dos sistemas fotovoltaicos varia nas épocas do ano, não somente decorrente das condições meteorológicas, mas também devido ao movimento de translação da Terra, como mostrado na figura a seguir.

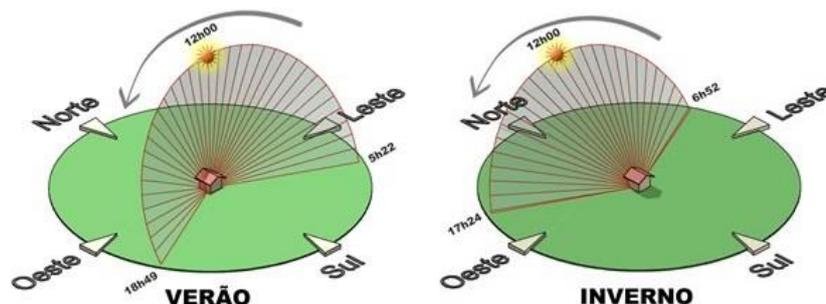


Figura 8.3 - Posicionamento do sol durante o ano (Autor desconhecido)

No caso específico da agência em questão, não necessitamos prever perdas de produção por sombreamentos, tendo em vista que os edifícios que ficam na sua periferia possuem altura igual ou menor, não causando sombras na cobertura do edifício, onde serão instaladas as placas fotovoltaicas.

De acordo com o movimento da Terra conhecido, recomenda-se no hemisfério sul que as placas estejam viradas para o norte geográfico. No hemisfério norte, que as placas estejam voltadas para o sul, assim obtém-se um melhor aproveitamento energético durante o ano. Dependendo da inclinação dos painéis, se produz mais energia em algumas épocas do ano, em compensação, se produz menos em outras, o que pode ser interessante em projetos com demanda energética diferente em certas épocas do ano.

Diretamente, a produção anual de energia solar depende do recurso solar disponível na região durante o ano, e pode ser obtido de duas formas: radiação direta e radiação difusa. A radiação direta é aquela que vem diretamente do sol, incidindo sem sofrer reflexões ou refrações intermediárias. Já a radiação difusa é emitida pelo céu durante o dia através dos fenômenos de reflexão e refração da atmosfera solar, nas nuvens, e nos demais elementos da atmosfera terrestre. Os dois são capazes de gerar energia a partir de painéis fotovoltaicos, entretanto, a radiação direta possui maior concentração e é a principal responsável pelo produzido por instalações deste tipo. Dito isto, é extremamente importante analisar o perfil de radiação direta e difusa do local de instalação do sistema de geração para nortear as decisões do projeto.

Estes dados – e outros relevantes ao clima e ambiente – geralmente são coletados por estações solarimétricas espalhadas por diversas localidades. No Brasil, o responsável pelas estações solarimétricas públicas é o INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – e os dados coletados por elas são disponibilizados através de seu site. Algumas outras empresas possuem estações de medição espalhadas no Brasil, como a ASHRAE, e coleta os mesmos dados coletados pelo INMET.

Dessa forma, analisamos através dos resultados disponibilizados pelo *Design Builder*, que utiliza um arquivo climático da ASHRAE, os valores acumulados de radiação solar direta e radiação solar difusa, durante um ano típico, presentes na Figura 8.4.

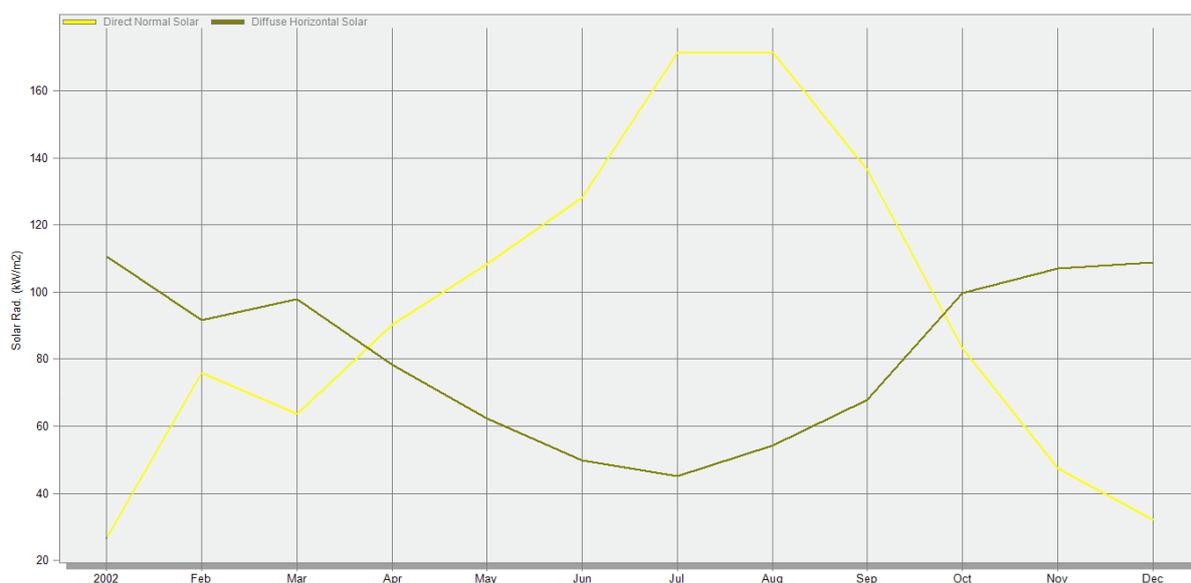


Figura 8.4 - Acumulado radiação solar direta e difusa durante o ano (Design Builder, 2015)

### 8.3 GERAÇÃO DE ENERGIA

Tendo como base as edificações nZEB bem-sucedidas, decidiu-se por adotar a geração de energia elétrica realizada por painéis fotovoltaicos instalado na cobertura do edifício. O sistema de geração será do tipo conectado à rede (SFCR), sem a necessidade de acumuladores de energia. Nesse tipo de sistema, a energia produzida pelos painéis pode ser consumida pela unidade consumidora local ou injetada diretamente na rede elétrica convencional, para ser consumida pelas unidades consumidoras conectadas ao sistema de distribuição.

O projeto da planta solar e cálculo do potencial de produção de energia anual foi realizado com programa *System Advisor Model* (SAM) disponibilizado pelo *National Renewable Energy Laboratory* (NREL).

O SAM é um programa que faz previsões de desempenho e custo de estimativas de geração para projetos de energia conectadas à rede com base em custos de instalação, de operação e de parâmetros de entrada fornecidos pelo usuário para o modelo.

O software possui uma interface gráfica amigável e bastante intuitiva, onde os diversos sistemas podem ser selecionados. Após selecionar o sistema de produção de energia fotovoltaica, deve-se configurar os parâmetros climáticos locais, ou seja, os dados de Brasília, por meio de um arquivo climático já disponível no software.

O sistema, em suma, consiste nos painéis solares, responsáveis por captar a radiação e transformar em corrente elétrica contínua, e no inversor de corrente, responsável pela inversão de corrente contínua para alternada. Para tal, devemos selecionar a quantidade de painéis e seu arranjo, e, após, o inversor de frequência.

A seleção dos painéis não é uma tarefa difícil, devemos priorizar a eficiência, e a temperatura de eficiência máxima, que deve ser próxima da temperatura da região. Entretanto, possuímos uma restrição de espaço, onde a área total do campo de painéis solares não pode ser maior que a área da cobertura – 900 m<sup>2</sup> – além do comprimento de uma fileira de painéis não puder ultrapassar 30 m. Dessa maneira, foram selecionados painéis da fabricante japonesa Inventec Energy, modelo IECS-6M6C-330, com as seguintes características (Tabela 8.1).

Tabela 8.1 - Características painel fotovoltaico (Confecção própria)

<b>Inventec Energy IECS-6M6C-330</b>					
<b>Eficiência</b>	<b>Potência Máxima</b>	<b>Tensão Máxima</b>	<b>Corrente Máxima</b>	<b>Nº de Células</b>	<b>T<sub>operação</sub></b>
[%]	[W]	[V]	[A]		[°C]
17,0437	330136	39,5	8,4	72	48,6

Ainda, o painel possui 1m de altura e 1,94m de comprimento, totalizando uma área de 1,94 m<sup>2</sup>. Devido à restrição mencionada, o arranjo escolhido para as fileiras foi o de dez painéis ligado em série, totalizando um comprimento de 19,4 m. Não foi utilizado todo o espaço disponível pois os painéis necessitam de eventual manutenção, ou seja, é necessário que se tenha espaço para locomoção na cobertura. Dessa forma, serão vinte e cinco fileiras iguais a mencionada, ligadas em paralelo, totalizando uma capacidade instalada de 82.534 kW de potência.

Além disso, o sistema conta com rastreamento em dois eixos, fazendo com que os painéis aproveitem melhor o recurso solar. Seria inviável a instalação do sistema sem o rastreamento, já que, mesmo fixando a inclinação do painel na mesma latitude do local e voltando-as para o sul, a quantidade de painéis necessária para suprir a necessidade de energia do edifício superaria, em área, o espaço disponível para instalação. Neste arranjo, considerando o espaçamento necessário para que os painéis não sobrem uns aos outros, a área total instalada resultou em 484,3 m<sup>2</sup>.

A partir da potência total instalada fazemos a seleção do inversor de frequência, levando-se em conta um coeficiente de conversão de corrente contínua para alternada de, aproximadamente, 1,10, deve-se escolher um inversor – ou uma combinação de inversores – que possua uma capacidade próxima a 75.030,9 kW<sup>12</sup>. Dessa forma, o inversor selecionado foi o do fabricante Solectria Renewables, modelo PVI75kW-480PE480V, com as seguintes características (Tabela 8.2).

<sup>12</sup> Valor obtido através da divisão da potência instalada total pelo coeficiente de conversão.

Tabela 8.2 – Características inversor de corrente (Confecção própria)

<b>Solectria Renewables PVI75kW-480PE480V</b>					
<b>Eficiência</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência</b>	<b>Tensão</b>	<b>Tensão</b>	<b>Corrente</b>
[%]	Máxima AC	Máxima DC	Nominal AC	Máxima DC	Máxima DC
	[W]	[W]	[V]	[V]	[A]
97,314	750000	77259,102	480	600	264

Vale ressaltar que todas as peças foram selecionadas dentro do próprio SAM, já que ele possui um vasto banco de dados destes produtos de vários fabricantes diferentes. Após a seleção no *software* dos itens supracitados, basta solicitar que calcule a geração de energia a partir dos dados de entrada. Nas condições acima, o sistema mostrou-se capaz de gerar, no primeiro ano, um total de 174.879 kWh.

Ainda, sabe-se que os equipamentos sofrem depreciação e, conseqüentemente, queda na produção de energia. O próprio SAM estima, para um período de vinte e cinco anos a produção de energia elétrica anual do sistema, conforme Figura 8.5, a seguir.

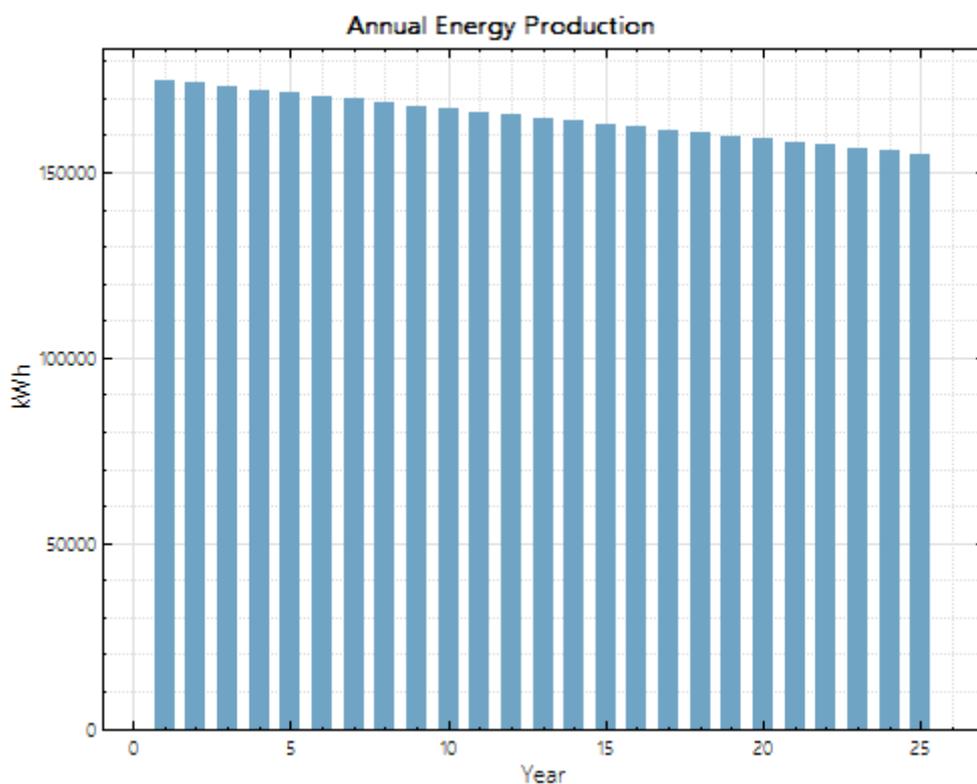


Figura 8.5 - Simulação de geração anual pelo período de 25 anos (SAM, 2015)

## 8.4 BALANÇO ENERGÉTICO

Dado o panorama otimizado da agência, já considerando todas as soluções aplicadas, o novo sistema de climatização e com os termostatos ajustados conforme mostrado anteriormente, obtivemos um consumo anual total do edifício de 144,1 MWh, com o comportamento de acordo com a Figura 8.6, a seguir.

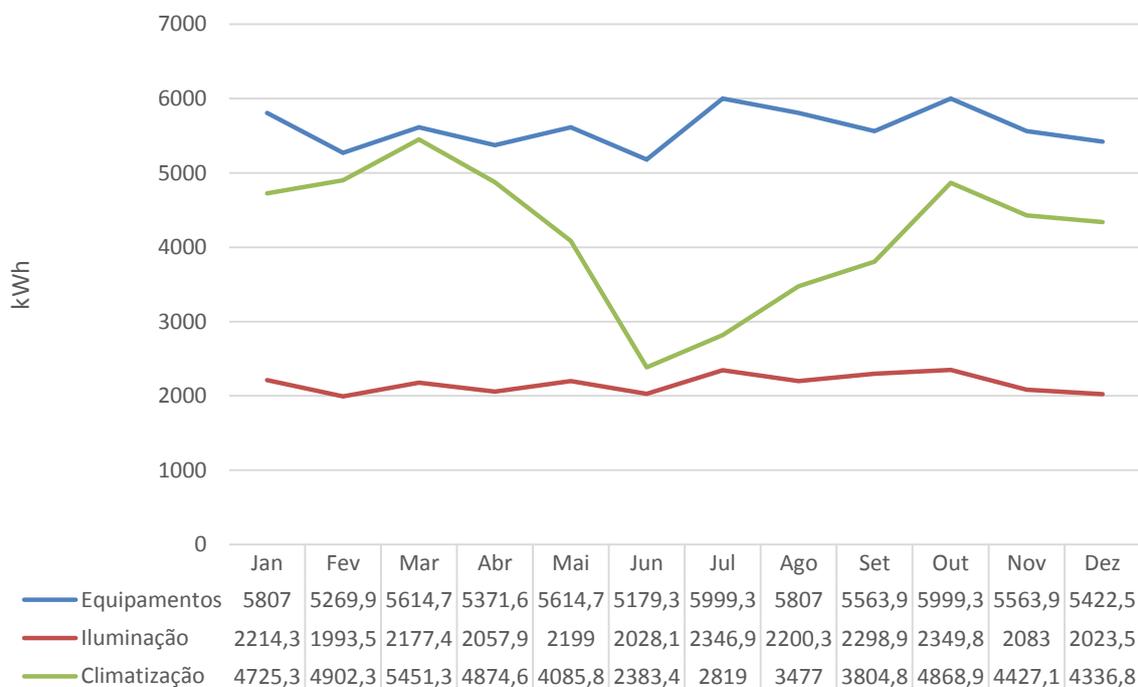


Figura 8.6 - Esquema de consumo anual de energia elétrica por setor (O Autor, 2015)

Do gráfico apresentado conseguimos perceber que o grande responsável pelo consumo de energia do edifício são os equipamentos internos, com 48,24% do consumo total. Não obstante, o sistema de climatização representa 33,76% do consumo anual, enquanto a iluminação é responsável por 18%.

Com a instalação do sistema de geração fotovoltaico, que é capaz de produzir cerca de 174,9 MWh por ano, obtém-se um superávit de produção em 30,8MWh/ano, o que representa cerca de 17,6% da produção total do sistema. O próprio SAM fornece uma previsão de “crédito de energia”, ou seja, o que é produzido além da necessidade de consumo, o qual, possui o comportamento expresso na Figura 8.7.

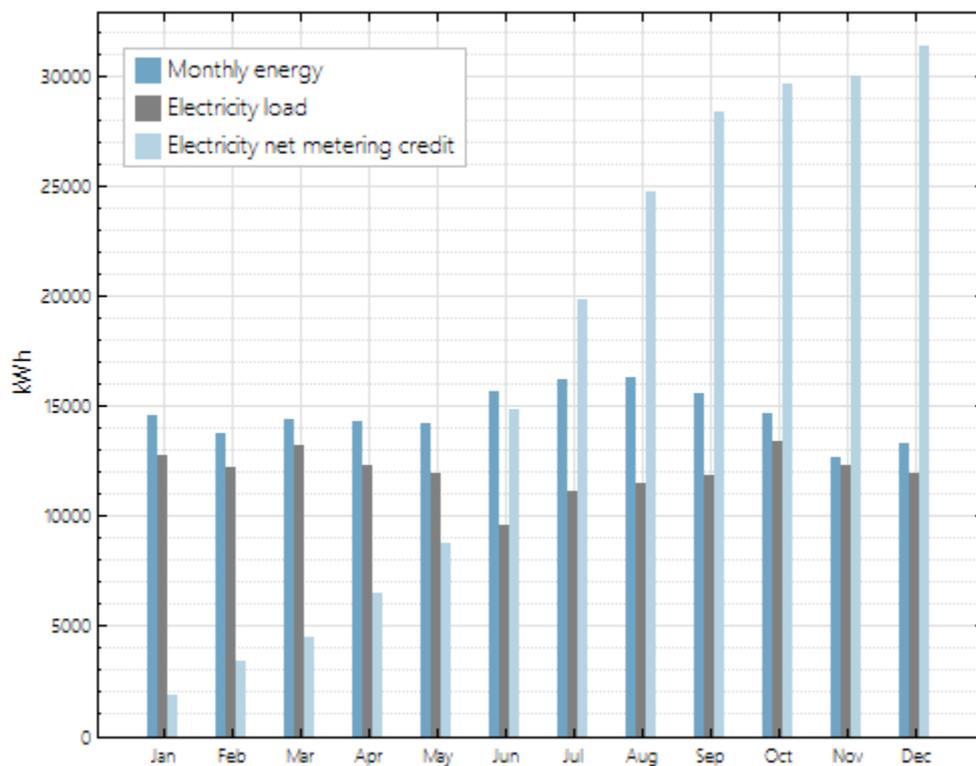


Figura 8.7 - Comparação entre consumo e geração de energia mensal (SAM, 2015)

Levando-se em conta a depreciação do sistema, se acordo com a Figura 8.5, o sistema chegará ao final de 25 anos produzindo um equivalente a 155,06 MWh por ano, que supera o consumo ainda em 7%, com um superávit aproximado de 10,96 MWh anual.

## 9 CONCLUSÃO

Primeiramente, é evidente que a implantação de soluções sustentáveis para um projeto que ainda não foi executado é extremamente mais fácil em comparação com um projeto de *retrofit* de uma edificação já concluída para torna-la nZEB. Em fase de projeto, pode-se alterar o tipo de construção das paredes, dos vidros, dos telhados e similares sem haver um impacto muito grande nos custos; já a alteração do tipo de arranjo de uma parede em uma edificação já construída é totalmente inviável.

Tais desafios parecem tornar impossível projetos nZEBs para edificações já existentes, entretanto, pode-se observar que existem algumas alterações que contribuem significativamente para a eficiência térmica do edifício, que não apresentam impacto tão grande para o projeto em si. Vale ressaltar que o conceito nZEB não depende exclusivamente da edificação, os seus usuários devem ser conscientizados sobre uso sustentável de energia elétrica e costumes sustentáveis, o que faz uma grande diferença no balanço energético final da edificação.

No entanto, com base nos resultados obtidos, podemos afirmar que o projeto nZEB em questão é viável. Pesquisas já realizadas em outros países ditam a viabilidade de edificações nZEBs de pequeno porte fotovoltaicas, ou seja, que utilizam energia obtida através de painéis solares como fonte primária de consumo elétrico; em outras palavras, a maioria das edificações de pequeno porte, residências, lojas, comércios e similares podem se tornar edificações nZEB, principalmente com o avanço tecnológico com foco em soluções sustentáveis, energias renováveis e a mudança da consciência mundial para o consumo sustentável.

Mesmo atingindo uma produção de energia 21,37% maior que o consumo anual, estimado em 144,1 MWh/ano, que perfaz uma taxa de consumo de 99,34 kWh/m<sup>2</sup>.ano, ainda são números pouco expressivos se observarmos outras construções ecoeficientes e *nZEBs*, como podemos observar no comparativo a seguir (Tabela 9.1).

Tabela 9.1 - Previsão de consumo elétrico (Confecção própria)

<b>Edifício</b>	<b>Consumo (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>
TD Bank <i>nZEB</i>	241
Science House <i>nZEB</i>	40,21
Oberlin College <i>nZEB</i>	101,82
Agência Messejana BB	18,45
Agência Pirituba BB	9,37
Agência SIA Trecho 2 – Atual	146,72
<b>Agência SIA <i>nZEB</i></b>	<b>99,34</b>

Entretanto, pode-se observar que a taxa de consumo ainda é muito menor que edifícios comerciais comuns. Não obstante, podemos constatar uma similaridade na taxa de consumo anual entre edificações com áreas praticamente iguais. Ainda, percebemos um grande potencial de redução de consumo através de algumas mudanças que não se enquadram no âmbito deste trabalho, por exemplo: diminuição dos postos de trabalho, redução do número de computadores, diminuição do fluxo de pessoas e similares.

Tais mudanças podem contribuir fortemente para a redução do consumo anual de energia, visto que neste novo cenário o principal responsável pelo consumo de energia são os equipamentos eletrônicos, com um total de 67213,05 kWh/ano.

Por fim, conclui-se que o conceito *nZEB* foi atingido com sucesso, não obstante, destacamos o potencial da edificação para obter um superávit de produção de energia elétrica maior; ainda, o projeto mostra-se bastante eficiente em relação a prédios comerciais comuns, podendo se tornar referência para projetos futuros. Quanto ao conforto térmico, podemos afirmar que foi obtido, como mostra os perfis PMV e PPD para a edificação em seu último estágio.

# 10 BIBLIOGRAFIA

1. NBR 5413, Iluminância de interiores, 1992.
2. NBR 15215 - 1, Iluminação Natural, Conceitos básicos e definições, 2003.
3. NBR 15215 - 2, Iluminação Natural, Procedimentos de cálculo para estimativa de luz natural, 2003.
4. NBR 15220, Desempenho térmico de edificações, 2003.
5. GTES – Grupo de Trabalho de Energia Solar, Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos, PRC – PRODEEM, 2004.
6. LAMBERTS, R. Desempenho térmico de edificações, 2005.
7. ASHRAE. ASHRAE Strategic Plan, 2008. Disponível em: [http://www.ashraesd.org/20080703\\_ASHRAEStrategicPlan.pdf](http://www.ashraesd.org/20080703_ASHRAEStrategicPlan.pdf). Acessado dia 10/09/2014.
8. LAUSTSEN, J. ENERGY EFFICIENCY REQUIREMENTS IN BUILDING CODES, ENERGY EFFICIENCY POLICIES FOR NEW BUILDINGS IEA Information paper. , 2008. OECD/IEA. Disponível em: [http://www.iea.org/g8/2008/Building\\_Codes.pdf](http://www.iea.org/g8/2008/Building_Codes.pdf). Acessado dia 13/09/2014.
9. NBR 1601 – 1, Instalações de ar condicionado – Sistemas Centrais e Unitários, Projeto das instalações, 2008.
10. NBR 1601 – 3, Instalações de ar condicionado – Sistemas Centrais e Unitários, Qualidade do ar interior, 2008.
11. CARLISLE, N.; GEET, O. V.; PLESS, S. Definition of a “Zero Net Energy” Community. , Nov. 2009. NREL. Disponível em: <http://www.nrel.gov/docs/fy10osti/46065.pdf>. Acessado dia 10/09/2014.
12. LAUSTSEN, J. Definition of Zero Energy Buildings, 2009. Workshop, Washington. Disponível em: <http://www.scribd.com/doc/31739775/Definitions-Zero-Energy-Buildings>. Acessado dia 13/09/2014.
13. PARKER, D. Very low energy homes in the United States: Perspectives on performance from measured data. Energy and Buildings, 2009. Acessado dia 13/09/2014.
14. O'BRIEN, W. The Relationship between Personal Net Energy Use and the Urban Density of Solar Buildings. , 2010. Disponível em: [http://sbrn.solarbuildings.ca/c/sbn/file\\_db/Pres\\_Pdf/Spatial-Considerations-of-Energy.pdf](http://sbrn.solarbuildings.ca/c/sbn/file_db/Pres_Pdf/Spatial-Considerations-of-Energy.pdf). Acessado dia 13/09/2014.
15. LOPES, R. M. F, Otimização do desempenho energético de um edifício residência em Portugal, 2010.

16. LOPES, R. M. F., Otimização do desempenho energético de um edifício residencial em Portugal, USC, Florianópolis, 2010.
17. VERBRUGGEN, A.; MARCHOHI, M. A.; JANSSENS, B. The anatomy of investing in energy efficient buildings. *Energy and Buildings*, v. 43, n. 4, p. 905–914, 2011. Acessado dia: 14/9/2013.
18. COOPER, P.; LIU, X.; KOSASIH, P. B.; YAN, R. Modelling net zero energy options for a sustainable buildings research centre, Univesrsity of Wollongong, 2011.
19. Balanço Energético Nacional 2012: Ano base 2011 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2012.
20. ADHIKARI, R. S.; ASTE, N.; PERO, C. D.; MANFREN, M. Net Zero Energy Buildings: Expense or Investment? *Energy Procedia*, 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610211045176>. Acessado dia: 14/9/2014.
21. TORCELLINI, P.; PLESS, S.; LEACH, M. Cost Control Best Practices for Net Zero Energy Building Projects. NREL, 2012. Disponível em: <http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/61365.pdf>. Acessado dia: 14/09/2014.
22. Balanço Energético Nacional 2013: Ano base 2012 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2013.
23. Balanço Energético Nacional 2014: Ano base 2013 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2014.
24. PACHECO, M. T. G.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Bibliografia selecionada sobre edifícios de energia zero, Florianópolis, 2013.
25. Agências Ecoeficientes, disponível em:  
[http://www.bb.com.br/portallbb/page100,19424,19427,20,0,1,1.bb?codigoNoticia=33917&codigoMenu=16878&codigoRet=16943&bread=1\\_3\\_2](http://www.bb.com.br/portallbb/page100,19424,19427,20,0,1,1.bb?codigoNoticia=33917&codigoMenu=16878&codigoRet=16943&bread=1_3_2)
26. Construções Sustentáveis, disponível em:  
<http://sustentabilidade.santander.com.br/pt/Praticas-de-Gestao/Paginas/Construcoes-Sustentaveis.aspx>
27. PINTO, G. S. P., Proposta de edificação experimental com balanço energético nulo para a Universidade de Brasília, UnB, Brasília, 2014.

# 11 ANEXOS

## 11.1 ANEXO I – Acervo Digital

Este trabalho conta com um CD onde se encontram vários arquivos digitais que embasaram os resultados obtidos, além de uma cópia deste impresso. Os arquivos estão disponibilizados da seguinte forma:

1. Projeto de Graduação
  - a. Projeto de graduação.pdf
2. Arquivos de Simulação
  - a. SIA TRECHO 2 Ar Condicionado.dsb
  - b. SIA TRECHO 2 Iluminação LED.dsb
  - c. Projeto de Geração SIA TRECHO 2.sam
  - d. SIA TRECHO 2 Pintura Externa.dsb
  - e. SIA TRECHO 2 Vidros + Cobertura + LED.dsb
  - f. SIA TRECHO 2 Vidros Duplos.dsb
  - g. SIA TRECHO 2.dsb
3. Catálogos
  - a. Hitachi VRF.pdf
  - b. OSRAM LED Comum.pdf
  - c. OSRAM LED Tubulares.pdf