

Universidade de Brasília

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Programa de Pesquisa e Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Área de Concentração: Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade

Linha de pesquisa: Sustentabilidade, qualidade e eficiência do ambiente construído

Dissertação | Programa de Pesquisa e Pós-graduação da FAU

Edifícios de balanço energético nulo: um estudo para escritórios em Brasília

Autor:

João Francisco Walter Costa

Orientadora:

Prof.^a Dr.^a Cláudia Naves David Amorim

Coorientadora:

Prof.^a. Dr.^a Joara Cronemberger Ribeiro Silva

Brasília, setembro de 2018

Universidade de Brasília

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Programa de Pesquisa e Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Área de Concentração: Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade

Linha de pesquisa: Sustentabilidade, qualidade e eficiência do ambiente construído

Dissertação | Programa de Pesquisa e Pós-graduação da FAU

Edifícios de balanço energético nulo: um estudo para escritórios em Brasília

Autor:

João Francisco Walter Costa

Orientadora:

Prof.^a Dr.^a Cláudia Naves David Amorim

Coorientadora:

Prof.^a. Dr.^a Joara Cronemberger Ribeiro Silva

Brasília, setembro de 2018

CC837e

Costa, João Francisco Walter

Edifícios de balanço energético nulo: um estudo para escritórios em Brasília / João Francisco Walter Costa; orientador Cláudia Naves David Amorim; co-orientador Joara Cronemberger Ribeiro Silva. -- Brasília, 2018. 305 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) -- Universidade de Brasília, 2018.

1. NZEB. 2. Balanço energético nulo. 3. Escritórios - Brasília. 4. Retrofit. I. Amorim, Cláudia Naves David, orient. II. Silva, Joara Cronemberger Ribeiro, co-orient. III. Título.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E
URBANISMO

**Edifícios de balanço energético nulo: um estudo
para escritórios em Brasília**

João Francisco Walter Costa

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO DA FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITETURA E URBANISMO

Banca examinadora

Data da defesa: 31/8/2018

Prof.^a Dr.^a Cláudia Naves David Amorim (1º membro – Presidente)

Universidade de Brasília

Prof. Dr. Caio Frederico e Silva (2º membro)

Universidade de Brasília

Prof. Dr. EneDir Ghisi (3º membro - externo)

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Raquel Naves Blumenschein (Suplente)

Universidade de Brasília

Prof.^a. Dr.^a Joara Cronemberger Ribeiro Silva (coorientadora)

Universidade de Brasília

Agradecimentos

À professora Cláudia Naves David Amorim por despertar o interesse na área da simulação e da eficiência energética. Agradeço também pelo profissionalismo e pela orientação do trabalho.

À professora Joara Cronemberger que sempre me auxiliou no desenvolvimento da dissertação e me introduziu na área da produção de energia solar fotovoltaica, cuja integração com a arquitetura tem um grande potencial no nosso país.

Ao professor Caio Frederico e Silva pelo auxílio no trabalho e pelas sugestões para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP – DF) pelo apoio financeiro da pesquisa.

À minha mãe, Maria Emília, pela paixão pela vida acadêmica e pela dedicação à Universidade. Ao meu pai, João Luiz, pelos conselhos e pela companhia nas horas mais difíceis. Agradeço às minhas irmãs, Maria Luiza e Maria Beatriz, pelos momentos felizes e pelo apoio nas decisões difíceis. Às minhas tias Inez, pelo auxílio na área de estatística e Tereza pelo apoio em vários momentos da minha vida. À minha avó por reunir a família nos seus almoços aos sábados.

À equipe do LACAM, em especial à Bárbara, à Luiza e à Natália Politano pelo auxílio na coleta dos dados dos edifícios. Também mando agradecimentos especiais à Márcia Birck por me ajudar nas simulações computacionais e na interpretação dos resultados.

Aos membros da banca, pela disponibilidade em avaliar e contribuir com o trabalho.

Aos meus colegas, em especial ao Adriano, ao João Renato, à Daniela, à Mariana e à Ayana pela troca de ideias e pelos momentos prazerosos. Agradeço aos professores ao longo do curso, com quem tanto aprendi.

Obrigado!

Resumo

Grande parte da produção de energia elétrica é derivada de fontes não-renováveis, que incluem a queima de combustíveis fósseis, que proporcionam impactos negativos no meio ambiente. Esses impactos são agravados frente à crescente demanda por energia elétrica no mundo. Neste contexto, o Parlamento Europeu instituiu que todas as novas edificações devem atingir o padrão *Nearly Net Zero Energy Building* [próximos à meta de balanço energético nulo] até 31 de dezembro de 2020. No Brasil, nota-se uma incipiente busca pelas soluções para obtenção do balanço energético nulo, uma vez que é permitida pela Agência Nacional de Energia Elétrica a microgeração de energia, e a sua compensação, a partir de fontes renováveis. Portanto, o objetivo geral desta dissertação é definir diretrizes para retrofit de edifícios públicos de escritórios com características de balanço energético nulo considerando o contexto climático de Brasília. A pesquisa contou com o levantamento de 240 edifícios de escritórios na zona central de Brasília. Esta dissertação tem especificamente como foco os edifícios de 4 pavimentos. Após a definição do modelo representativo de 4 pavimentos, foram simulados os consumos de energia final para ar-condicionado, iluminação e equipamentos de escritórios (impressoras, computadores etc). Para isso, o estudo considerou as variáveis arquitetônicas de envoltória baseadas em estratégias que podem promover o balanço energético nulo, segundo a literatura revisada. Em paralelo, foram realizadas simulações de produção de energia solar fotovoltaica aplicadas ou integradas nas envoltórias dos respectivos edifícios. Concluiu-se que as variáveis de Percentual de Área Envidraçada (entre 30% e 50%) e vidro (FS 43%/TL 32%) e a adição de proteções solares foram responsáveis pela diminuição de 20% do consumo energético. No total, foi obtida uma redução de 46% no consumo energético total entre o modelo de 4 pavimentos (edifício convencional de escritório, com maior consumo) e o modelo otimizado (menor consumo encontrado). No final, a meta de balanço energético nulo foi alcançada no modelo otimizado. Finalmente, a análise e a discussão dos resultados das simulações permitiram sugerir e inferir diretrizes para obtenção de edifícios NZEB no contexto climático de Brasília.

Palavras-chaves: NZEB, balanço energético nulo, escritórios - Brasília, retrofit

Abstract

A large amount of the consumed energy from the buildings is produced from non-renewable sources, such as oil and coal and this generates negative impacts on the environment. These impacts are aggravated due to the growing energy consumption worldwide. In this sense, the European Parliament has demanded that all new buildings must be Nearly Net Zero Energy Building by December 2020 (public buildings by December 2018). In Brazil, there is an incipient search towards Net Zero Energy Buildings, because the National Agency of Electric Energy allows the microgeneration of electricity on site and its compensation when renewable sources of energy are utilized. Thus, the main goal of this dissertation is to create guidelines towards the implementation of NZEB of public office buildings in Brasilia through retrofit. This search took into consideration the study of 240 buildings in the central zone of Brasilia. The research focuses specifically on the four-story office buildings. After the definition of the representing model of the four-story building, the electric energy consumption for the end uses of lighting, equipment and air-conditioning were simulated. To achieve the NZEB goal, it was taken into account a series of passive and active design strategies that could reduce the energy consumption according to the revised literature. Simultaneously, simulations of solar energy production were made utilizing the integration of façade and roof area (building envelope). It was concluded that the reduction of WWR to levels between 30% and 50%, the utilization of a low SHGC glass (43%) and the addition of window shading caused a reduction of 20% on the total electric energy consumption. It was achieved in this study a total reduction of 46% on the total energy consumption between the conventional four-story building (with the highest final energy consumption) and the optimal building (with the lowest final energy consumption). Finally, the discussion of the simulated results allowed to infer and suggest guidelines towards the implementation of NZEB in office buildings in the central area of Brasilia.

Keywords: Net Zero Energy Building, office building - Brasília, retrofit

Sumário

Lista de figuras	xv
Lista de tabelas	xvii
Lista de abreviaturas	xxi
Lista de símbolos.....	xxi
1. Introdução	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo geral.....	3
1.1.2. Objetivos específicos:	3
1.2. Estrutura da dissertação	4
2. Balanço energético nulo	7
2.1. Conceito de edifício de balanço energético nulo	7
2.2. Estudos de caso de edifícios NZEB	9
2.2.1. Estudos de retrofit para edifícios NZEB	14
2.2.2. Estudos de edifícios NZEB em Brasília	17
2.3. Marco legal	22
2.4. Consumo de energia elétrica no Brasil	25
2.5. Matriz energética brasileira (2017) e potencial de geração a de energia solar no contexto nacional	26
3. Revisão teórica	27
3.1. Estratégias passivas	27
3.2. Estratégias ativas	33
3.3. Métricas para cálculo do balanço energético nulo	34
3.4. Produção de energia	38
3.5. Clima de Brasília	41
3.6. Brasília e seu contexto urbano e arquitetônico	43
3.7. Consumo energético em edifícios de escritórios em Brasília	52
3.8. Simulações termo energéticas no contexto brasileiro	53
4. Método	57
4.1. Levantamento dos edifícios de escritórios em Brasília	57
4.2. Coleta das contas de energia	62
4.3. Estudos de padrão de uso e ocupação e da arquitetura de edifícios públicos na Zona Central de Brasília	63
4.4. Padrões de conforto térmico	64
4.5. Padrões de conforto para iluminação natural	65
4.6. Níveis de eficiência para os sistemas de ar-condicionado	66
4.7. Níveis de eficiência dos sistemas de iluminação	67

4.8.	Definição dos modelos para simulação	68
4.9.	Descrição dos modelos representativos de 4 e de 10 pavimentos	71
4.10.	Variáveis arquitetônicas simuladas e quantidade de simulações	80
4.11.	Simulações de consumo energético (uso final para ar-condicionado e equipamentos)	82
4.11.1.	Ventilação natural	88
4.11.2.	Ventilação da massa térmica	90
4.12.	Simulações de luz natural e consumo de iluminação artificial	95
4.13.	Análise estatística do consumo energético para iluminação e ar-condicionado	99
4.14.	Simulações computacionais de produção de energia (módulos solares fotovoltaicos)	100
5.	Resultados	105
5.1.	Consumo de energia elétrica total dos 30 edifícios públicos	105
5.2.	Padrão de uso e ocupação de oito edifícios públicos	107
5.3.	Simulações de consumo energético das variáveis arquitetônicas de envoltória e obstrução externa	111
5.3.1.	Estudo da influência da obstrução externa e da altura do pavimento no consumo energético para iluminação.....	111
5.3.2.	Influência do vidro e da proteção solar no consumo de iluminação	113
5.3.4.	Influência da obstrução externa e da altura do pavimento no consumo de ar-condicionado	116
5.3.5.	Influência dos elementos da envoltória no consumo de ar-condicionado: PAF, vidro e proteção solar	118
5.4.	Consumo energético e usos finais	118
5.5.	Influência da ventilação natural e da massa térmica no consumo energético ...	122
5.4.1.	Ventilação natural	122
5.4.2.	Ventilação da massa térmica combinada à estratégia de ventilação natural	123
5.6.	Cálculos de produção de energia elétrica	124
5.7.	Balanco energético	127
5.8.	Diretrizes para obtenção do balanço energético nulo no modelo de 4 pavimentos	130
6.	Discussão	133
6.1.	Discussão dos resultados	133
6.2.	Usos finais de energia elétrica	135
6.3.	Limitações da pesquisa e sugestão de trabalhos futuros	135
6.4.	Conclusão	136
	Referências	139
	Apêndice A - Questionário de levantamento	155
	Apêndice B – Lista dos edifícios.....	157

Apêndice C – Lista dos 30 edifícios selecionados	163
Apêndice D – Lista dos módulos fotovoltaicos comercializados no Brasil	165
Apêndice E – Questionários de levantamento in Loco preenchidos	169
Apêndice F – Consumo energético e características morfológicas de 30 edifícios públicos na zona central de Brasília	201
Apêndice G – Resumo dos cenários simulados.....	203
Apêndice H – Análise da influência do vidro e da proteção solar no consumo de iluminação	205
Apêndice I – Análise da influência do vidro e da proteção solar no consumo de ar-condicionado	211
Apêndice J – Estimativa de produção de energia nos cenários 34 a 69	215
Anexo A – Resumo dos resultados de consumo energético.....	217
Anexo B – Análise estatística de consumo energético final para iluminação e ar-condicionado	221
Anexo C – Autonomia de luz natural (cenários 1 a 32)	290

Lista de figuras

Figura 1: projeto edifício experimental NZEB no Campus Darcy Ribeiro.....	17
Figura 2: edifício experimental NZEB no Campus Darcy Ribeiro	18
Figura 3: carga térmica do projeto do Edifício Experimental do Campus Darcy Ribeiro – UnB18	
Figura 4: consumo de energia por uso final do Edifício Experimental do Campus da Universidade de Brasília	19
Figura 5: vista exterior do projeto de edificação NZEB pré-fabricada em Brasília.....	20
Figura 6: número de pavimentos utilizáveis para produção de energia para os tipos diferentes dos protótipos de Florianópolis e Fortaleza	29
Figura 7: resultados fornecidos pelo NZEB Evaluation Tool: balanço entre energia elétrica consumida pelas cargas térmicas do edifício e geração de energia elétrica	35
Figura 8: definição de fronteira ou limite de um sistema elétrico de um edifício.....	36
Figura 9: representação do balanço energético de um edifício NZEB	37
Figura 10: comparação de dados de soma anual de irradiação solar horizontal no Brasil e na Alemanha utilizando o SOLAR GIS 2014	38
Figura 11: Atlas fotovoltaico do Brasil que pode ser gerado para cada módulo de painel fotovoltaico (sistema a-Si) orientados para o norte no ângulo da latitude local.....	39
Figura 12: localização dos setores estudados e divisão entre edifícios públicos e privados na Zona Central de Brasília.....	44
Figura 13: número de pavimentos nos setores estudados.....	45
Figura 14: uso dos edifícios: escritórios e mistos (comercial e de escritórios)	46
Figura 15: relatório preenchido no programa Access do banco de dados desenvolvido por Lima (2010)	47
Figura 16: comparação entre 2010 e 2017 dos dispositivos de proteção solar <i>externa</i> na fachada principal.....	50
Figura 17: evolução do PAF nas fachadas dos edifícios de escritórios.....	51
Figura 18: tipos de vidros levantados nos 240 edifícios de escritórios	52
Figura 19: recorte dos edifícios de escritórios para a realização de estudos de padrão de uso e ocupação.....	59
Figura 20: fluxograma do método da pesquisa	60
Figura 21: mapa mental do tema NZEB em edifícios de escritórios.....	62
Figura 22: método de cálculo do programa Daysim	65
Figura 23: Ângulo Máximo de Incidência do Sol na Fachada do edifício com base no Diagrama Morfológico.....	70
Figura 24: zoneamento térmico do modelo de 4 pavimentos.....	72
Figura 25: zoneamento térmico do modelo de 10 pavimentos.....	72

Figura 26: variáveis analisadas nas simulações de consumo energético.....	81
Figura 27: esquema das simulações de consumo de energia elétrica final e de produção de energia.....	82
Figura 28: modelagem no programa Design Builder	83
Figura 29: zonas térmicas do modelo de 4 pavimentos.....	84
Figura 30: método utilizado de ventilação natural nos cenários 58 a 69.....	89
Figura 31: configuração das aberturas para ventilação natural	89
Figura 32: capacidade de dissipação térmica em função da velocidade do vento.....	91
Figura 33: capacidade de dissipação térmica em função da área de fluxo (porcentagem em relação à área de pavimento).....	92
Figura 34: variação máxima de temperatura horária (ambiente) com base na temperatura externa máxima e a variação de temperatura diária máxima externa	94
Figura 35: modelagem do modelo de 4 pavimentos no programa <i>Rhinoceros</i> , v.6	95
Figura 36: parametrização no programa Grasshopper, v.1.0.0005.....	97
Figura 37: resultados de autonomia de luz natural.....	98
Figura 38: Gráfico de comparação entre 2010 e 2017 dos dispositivos de proteção solar.....	103
Figura 39: Percentual de Aberturas (de vidro) na fachada	103
Figura 40: Gráfico de tipo de vidro.....	103
Figura 41: dados extraídos do programa PVSYST	103
Figura 42: especificação do sistema de módulos fotovoltaicos na cobertura e nas fachadas....	104
Figura 43: gráfico da relação entre consumo e número de pavimentos dos 30 edifícios públicos analisados	106
Figura 44: gráfico do consumo energético e PAF dos 30 edifícios públicos analisados.....	107
Figura 45: gráfico Box-Plot: médias dos consumos de energia elétrica para iluminação dos cenários 1 a 32 separadas por obstrução	112
Figura 46: balanço energético dos cenários 1 a 32 sem proteção solar.....	127
Figura 47: balanço energético dos cenários 1 a 32 com proteção solar (cenário 33 não tem proteção solar).....	128
Figura 48: balanço energético nos cenários 58 a 63 (com ventilação da massa térmica e ventilação natural) e 64 a 69 (apenas com ventilação natural).....	129

Lista de tabelas

Tabela 1: exemplos de edifícios NZEB apresentados no relatório da IEA, foto e balanço energético (produção x consumo de energia).....	10
Tabela 2: estudos de caso de edifícios NZEB em climas tropicais	12
Tabela 3: Quadro resumo de estudos de caso NZEB	13
Tabela 4: retrofit do Parkvaenget Office e detalhe do isolamento térmico da fachada.....	15
Tabela 5: fotos do retrofit da fachada do Rockwool Office, Dinamarca.....	16
Tabela 6: detalhes do projeto de retrofit para o edifício ICM Bio em Brasília	21
Tabela 7: consumo de energia elétrica no Brasil em 2016 e 2017	25
Tabela 8: Usos finais de energia em uma edificação não-residencial no contexto brasileiro	25
Tabela 9: fontes de energia elétrica disponíveis no Brasil	26
Tabela 10: estratégias passivas para climas frios e/ou quentes.	30
Tabela 11: redução do consumo de energia elétrica total (final) de acordo com a utilização das estratégias passivas utilizadas na envoltória	32
Tabela 12: comparação entre um edifício de escritório convencional (consumo “elevado”) e edifícios NZEB.....	33
Tabela 13: normais climatológicas para o clima de Brasília.....	42
Tabela 14: identificação dos edifícios de escritórios analisados	48
Tabela 15: número de pavimentos, forma do edifício e orientação solar da fachada principal ..	49
Tabela 16: consumo de energia em edifícios comerciais em Brasília.....	53
Tabela 17: variáveis arquitetônicas trabalhadas.....	55
Tabela 18: quantidade de artigos filtrados por tema	61
Tabela 19: níveis de eficiência de ar-condicionado considerando o Coeficiente de Performance	66
Tabela 20: limites aceitáveis de DPI para ambiente de escritório.....	67
Tabela 21: cálculo para obtenção da forma do modelo de 4 pavimentos.....	68
Tabela 22: cálculo para obtenção da forma do modelo de 10 pavimentos.....	69
Tabela 23: projeções adotadas nos modelos simulados	70
Tabela 24: Ângulo Máximo de Incidência do Sol nas Fachadas dos edifícios de 4 pavimentos	71
Tabela 25: Ângulo Máximo de Incidência do Sol nas Fachadas dos edifícios de 4 pavimentos	71
Tabela 26: Quadro de áreas por zonas térmicas	73
Tabela 27: modelagem das aberturas para o modelo de 4 pavimentos	74
Tabela 28: detalhes dos ambientes de escritório simulados	75
Tabela 29: Detalhe das esquadrias externas com PAF 50% e PAF 80%	76
Tabela 30: configuração do modelo de 4 pavimentos com as obstruções externas	77
Tabela 31: configuração do modelo de 10 pavimentos com as obstruções externas	78

Tabela 32: proteções solares para o modelo de 4 pavimentos.....	78
Tabela 33: vistas das fachadas com a proteção solar com PAF 32% e PAF 50%	80
Tabela 34: padrões de uso e de ocupação interna do modelo de 4 pavimentos	85
Tabela 35: requerimentos de conforto térmico para ambientes de escritórios	85
Tabela 36: propriedades térmicas do modelo simulado	86
Tabela 37: propriedades térmicas dos vidros selecionados.....	87
Tabela 38: cálculo de resfriamento da massa térmica para o clima de Brasília (cenários 58 a 63)	93
Tabela 39: propriedades óticas dos materiais simulados (refletâncias e transmissão luminosa do vidro).....	96
Tabela 40: iluminância requerida para ambiente de escritório.....	96
Tabela 41: parâmetros usados no programa <i>Daysim</i>	98
Tabela 42: sombreamento externo dos módulos fotovoltaicos nos cenários de 1 a 32	101
Tabela 43: modelos simulados no programa PVSYST, v.6.7.0	102
Tabela 44: valores de eficiência médio, máximo e mínimo de eficiência de 63 módulos comercializados no Brasil	103
Tabela 45: planta baixa, ambiente interno e levantamento dos equipamentos no Ed. Centro Oeste (SCS).....	108
Tabela 46: dados do Edifício Embratur (SCN)	109
Tabela 47: resumo dos dados coletados dos oito edifícios públicos dos usos finais de iluminação, condicionamento de ar e equipamentos.....	110
Tabela 48: Análise de Variância (ANOVA) para comparação das médias devido à obstrução externa.....	111
Tabela 49: testes de média para comparação do consumo entre os pavimentos	112
Tabela 50: comparação entre PAF 50% e PAF 80% entre os cenários 1 a 32	114
Tabela 51: comparação dos cenários 13 e 29	115
Tabela 52: médias de consumo e desvio padrão do consumo de ar-condicionado dos cenários de 1 a 32.....	116
Tabela 53: análise de variância devido à obstrução externa do consumo de ar-condicionado .	117
Tabela 54: usos finais do consumo de energia elétrica dos cenários 1 a 32 (Iluminação DPI 12W/m ² e Ar-Condicionado CoP 2,80).....	119
Tabela 55: usos finais de energia elétrica nos cenários 34 a 57	121
Tabela 56: consumo energético por uso final dos cenários 64 a 69	122
Tabela 57: redução do consumo de ar-condicionado nos cenários sem e com ventilação natural	123
Tabela 58: consumo energético por uso final nos cenários 58 a 63	123

Tabela 59: redução do consumo de ar-condicionado entre os cenários 64 a 69 (ventilação natural) e 58 a 63 (ventilação natural combinada à ventilação da massa térmica	124
Tabela 60: cálculo de produção de energia por obstrução externa.....	125
Tabela 61: consumo energético e características de envoltória simuladas (PAF e proteção solar)	130
Tabela 62: diretrizes para obtenção do balanço energético nulo.....	131

Lista de abreviaturas

NZEB: *Net Zero Energy Building* [edifício de balanço energético nulo conectado à rede elétrica]

MME: Ministério de Minas e Energia

LACAM: Laboratório de Controle Ambiental

RTQ – C – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

COE – Código de Obra de Edificações

EN – *European Standards* [Normas europeias]

PAF – Percentual de área envidraçada na fachada

FS – Fator solar do vidro

TL – Transmissão luminosa

BEN – Balanço Energético Nacional

WWR – Window Wall Ratio

SHGC – Solar Heating Gain Coefficient

Lista de símbolos

E del.: delivered energy – energia entregue

E exp.: exported energy – energia exportada

E: Energia primária

α : Absortância

1. Introdução

O crescimento econômico de um país está associado ao consumo de energia elétrica, juntamente com os demais impactos associados à mudança do estilo de vida das pessoas. Quando se fala em sustentabilidade, um requisito importante é a eficiência energética nos edifícios. Edifícios eficientes energeticamente têm diversas vantagens, que incluem: redução de custos de operação, redução de problemas relacionados à falta de energia, de impactos ambientais e diminuição da exploração dos recursos naturais (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Como benefícios adicionais também podem ser considerados a redução da emissão de gás carbônico e de outros gases do efeito estufa, a redução do desmatamento e inundações devido à construção de novas hidrelétricas e a diminuição da demanda de consumo de energia de novos edifícios.¹

No contexto mundial, discutem-se possibilidades de implementação de edifícios de balanço energético nulo ou próximos a zero [*Zero Energy Building*] como uma alternativa à diminuição da demanda de energia elétrica, principalmente de energias de fontes não-renováveis, como derivados de petróleo, carvão mineral, gás etc (TORCELLINI; CRAWLEY, 2009). Além disso, como a produção de energia da edificação NZEB deve ser interna ou próxima ao local projetado e vinda de fonte renovável, o impacto ambiental na geração e produção de energia diminui com a sua implantação (KURNITSKI *et al.*, 2011).

O Parlamento Europeu criou a Diretiva Europeia EPDB/31 (2010), na qual é exigida a implementação de edifícios NZEB: “todas as novas edificações devem ser próximas à meta NZEB até dezembro de 2020 e as edificações públicas, até dezembro de 2018”². Essa foi uma resposta frente ao crescente consumo de energia per capita, que tem afetado tanto países desenvolvidos, tais como EUA, Austrália, Japão e Alemanha, quanto países em desenvolvimento, como o Brasil. Grande parte da geração de energia consumida pelos países é derivada de fontes não-renováveis como combustíveis fósseis que proporcionam efeitos negativos ao meio ambiente (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2014b).

¹ Id., 2014.

² EUROPEAN PARLIAMENT. Directive 2010/31/2010, of 19. May, 2010. On the energy performance of buildings. Directive, n.31, 19 mai. 2010. Acesso em: <<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>>. Acesso: 17 set. 2018.

No Brasil, grande parte da geração de energia baseia-se em fontes renováveis, representadas pelas usinas hidrelétricas, cujo potencial hidrelétrico é estimado em 373 GW com, até o momento, uma capacidade instalada de 97 GW, correspondente a 65,2% da Matriz Energética Brasileira. Apesar de a capacidade instalada representar somente 26% do potencial estimado, a maior parte do potencial hidrelétrico economicamente viável já foi utilizada devido às dificuldades em obter financiamento para obras de grandes hidrelétricas e devido às resistências provenientes de impactos ambientais (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2017).

As dificuldades na construção de novas hidrelétricas fazem com que o país volte sua atenção para o uso de fontes não-renováveis, como a termoelétrica, consumindo outros tipos de recursos ambientais que se acredita serem mais nocivos que das hidrelétricas. Os impactos no consumo de recursos para geração de energia devem ser avaliados frente aos potenciais e às limitações que cada fonte apresenta, adotando estratégias que envolvam o conceito de sustentabilidade para reduzir o impacto ambiental (LAMBERTS; CARLO, 2007).

O racionamento de energia ocorrido em 2001 foi o marco para promulgação da lei da eficiência energética, Lei nº 10295 que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Ela foi regulamentada pelo Decreto nº 4059 de 19 de dezembro de 2001 que estabeleceu que deviam ser criados parâmetros referenciais para a eficiência energética em edificações, com indicadores técnicos e regulamentação específica para estabelecer a obrigatoriedade dos níveis de eficiência no país. O decreto também criou o Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País para propor uma forma de regulamentar as edificações construídas no Brasil visando o uso racional da energia elétrica (CARLO, 2008).

Segundo a Instrução Normativa n.02 de 4 de junho de 2014 do Governo Federal, as edificações públicas devem ser submetidas à Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) e ao Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). A instrução normativa está presente tanto para a compra de equipamentos públicos como para a execução de retrofit e no projeto de novas edificações públicas (BRASIL, 2014).

De acordo com Griffiths e May (2015), o termo “*retrofit*” consiste no processo de melhoria do desempenho ambiental e energético das edificações por meio de intervenções técnicas. Embora a ideia seja de adaptação para atingir benefícios estéticos e funcionais, esse processo frequentemente necessita englobar não só o estilo de vida, mas também o

hábito dos usuários e o programa de reparos e de manutenção do edifício existente. O conceito é aplicado no Reino Unido, mas com adaptações, pode ser aplicado ao contexto brasileiro, uma vez que o foco do *retrofit* está também relacionado com a melhoria do desempenho energético do edifício compreendendo a melhoria da eficiência dos diversos sistemas elétricos, do conforto do usuário e da instalação de sistemas de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis. Portanto, o termo “*retrofit*” é o que mais se encaixa ao processo de transformação do edifício para atingir a meta NZEB.

No contexto brasileiro, observa-se a ausência de edifícios de balanço energético nulo registrados pela Agência Internacional de Energia. Como recorte da pesquisa, o objeto de estudo desse trabalho são os edifícios de escritórios na zona central de Brasília. A capital federal possui uma grande quantidade de edifícios padronizados, com forma e envoltória semelhantes, que já datam de mais de 50 anos, e necessitam de intervenções para melhoria do desempenho energético. Sendo assim, este parque construído pode ser objeto de retrofit de seus edifícios, para obtenção de melhor desempenho energético dos mesmos, visando a aproximação do desempenho de edifícios de balanço energético nulo. Além disso, Domingos et al. (2014) afirmam que Brasília é a cidade mais adequada para a implantação de edifícios NZEB considerando os valores de temperatura, irradiância solar global e umidade relativa do ar. Assim, esta dissertação tem como foco o estudo de diretrizes para a criação de edifícios de balanço energético nulo em edifícios de escritórios (públicos) na zona central de Brasília.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

Definir diretrizes para retrofit de edifícios públicos de escritórios com características NZEB considerando o contexto climático de Brasília.

1.1.2. Objetivos específicos:

- Caracterizar o consumo energético típico, incluindo usos finais de energia (para iluminação, condicionamento de ar e equipamentos), de edifícios de escritórios na zona central de Brasília;
- Identificar características arquitetônicas e construtivas mais influentes no consumo energético dessas edificações de escritório, parametrizando estas características;
- Estimar a produção de energia possível de ser obtida por meio de módulos solares fotovoltaicos aplicados ou integrados nas envoltórias das edificações.

1.2. Estrutura da dissertação

A dissertação se estrutura em seis capítulos: o primeiro corresponde à introdução do trabalho, o segundo ao conceito de edifício de balanço energético nulo, o terceiro às estratégias para obtenção de uma edificação NZEB, o quarto ao método e o quinto aos resultados. No sexto e último capítulo, são apresentadas as diretrizes para obtenção do balanço energético nulo e a discussão.

Na introdução, correspondente ao capítulo 1, foram discutidos a importância da eficiência energética nos edifícios, a Diretiva Europeia EPDB/31 (2010), na qual devem ser implementados edifícios NZEB, a delimitação da pesquisa e os objetivos.

No capítulo 2, é abordado o conceito de edifício de balanço energético nulo (marco teórico). Na segunda parte do capítulo, são discutidos estudos de caso de edifícios NZEB no contexto internacional e estudos e projetos para o contexto de Brasília.

No Capítulo 3, são discutidas estratégias para a obtenção de edifício NZEB. Discutem-se recomendações projetuais para o aumento da eficiência energética nos edifícios de escritórios neste contexto climático. Além disso, discute-se o alto potencial de geração de energia solar fotovoltaica no Brasil.

Na segunda parte do terceiro capítulo, há uma revisão teórica do levantamento de 240 edifícios de escritórios situados na zona central de Brasília iniciado por Lima (2010) e atualizado por Costa, Politano e Amorim (2017). Ao final, discutem-se as variáveis arquitetônicas mais influentes trabalhadas em simulações computacionais de consumo energético, que incluem os usos finais de iluminação, ar-condicionado e equipamentos em edifícios de escritórios.

No Capítulo 4, relativo ao método, há a descrição do processo de obtenção de um modelo representativo de 4 pavimentos. Segundo Didoné (2014), os edifícios de até 4 pavimentos são os mais suscetíveis a alcançarem a meta de balanço energético nulo no contexto climático de Fortaleza e Florianópolis. Além disso, discute-se posteriormente se essa hipótese é válida para o contexto climático e arquitetônico de Brasília. Após a obtenção do modelo representativo de 4 pavimentos, o processo de simulação de consumo energético é descrito para os usos finais de iluminação, ar-condicionado e equipamentos (impressora, computador etc.) para os ambientes de escritórios. Ao final do capítulo, as simulações de produção de energia solar no modelo de 4 pavimentos são descritas.

No capítulo 5, discutem-se os resultados dos dados de contas de energia obtidos, das simulações computacionais de consumo energético para os usos finais de iluminação e

ar-condicionado e a influência das variáveis arquitetônicas de envoltória simuladas. Em seguida, discutem-se os resultados simulados de produção de energia solar fotovoltaica. Ao final do capítulo, são apresentados os resultados de balanço energético e em quais cenários a meta NZEB foi alcançada.

No capítulo 6, discutem-se as diretrizes para implantação de edifícios NZEB em edifícios de escritórios de 4 pavimentos localizados na zona central de Brasília a partir dos resultados de consumo energético obtidos por meio de simulação computacional.

2. Balanço energético nulo

No capítulo 2, é abordado o conceito de edifício de balanço energético nulo. Em seguida, são apresentados e discutidos estudos de caso de edifícios NZEB no contexto internacional e em Brasília. Ao final do capítulo discutem-se o marco legal para a implantação de edifícios NZEB no Brasil, o consumo de energia elétrica nacional e a matriz energética brasileira.

2.1. Conceito de edifício de balanço energético nulo

O conceito de edifício de balanço energético nulo (sigla NZEB em inglês – *Net Zero Energy Building*), significa que a edificação, conectada à rede elétrica, apresenta um consumo reduzido de energia elétrica e essa demanda de energia elétrica é suprida por meio de energia renovável no período de um ano. A redução no consumo energético é possível quando o edifício tem alta eficiência energética (TORCELLINI; CRAWLEY, 2009).

Na Agência Internacional de Energia (IEA), adota-se o termo NZEB ao se abordar os edifícios de balanço energético nulo conectados à rede elétrica. A sigla NZEB será adotada neste trabalho.

Kurnitski et al. (2011) e Voss e Musall (2012) fizeram uma revisão da Diretiva Europeia EPDB/31 (2010) acerca das edificações “NZEB”. Por meio dessa diretiva, houve um acordo de implementação de edificações NZEB, no qual os países membros da União Europeia devem assegurar que todas edificações novas devem se tornar NZEB até o ano de 2018.

Essa meta de balanço energético nulo pressupõe uma arquitetura adequada ao uso de elementos construtivos e equipamentos de alta eficiência energética, aliado ao desempenho da fonte geradora de energia elétrica a partir de fontes renováveis, que podem ser extremamente dependentes de condições meteorológicas favoráveis⁶ (DOMINGOS et al., 2014).

⁶ As principais fontes de energias renováveis citadas são geradas a partir da energia eólica ou solar, de hidrelétricas de baixo impacto ambiental. Outras fontes de energia são citadas, por emitirem menos gases tóxicos ou de efeito estufa como a biomassa, o etanol e o biodiesel certificados pelo GREEN-E (2009). A redução da emissão de gases estufa são considerados ao se projetar um edifício NZEB (TORCELLINI; CRAWLEY, 2009, p.4, tradução nossa).

Segundo Voss e Musall (2012), há quatro elementos que devem ser considerados durante o projeto de um edifício NZEB, que são:

- Consumo energético para os usos finais (incluem equipamentos, iluminação e condicionamento de ar);
- Estratégias passivas (arquitetura);
- Eficiência energética;
- Produção de energia elétrica (*on-site*).

Os três elementos estabelecidos por estes autores valem tanto para a construção de novos edifícios como para a renovação de edifícios existentes. “Cerca de 70% dos edifícios residenciais existentes na Alemanha têm mais de 30 anos de idade” e “foram construídos quando não havia requerimentos ou regulamentos significantes de eficiência energética”. Apenas 1% dos edifícios residenciais na Alemanha atingiram a meta NZEB. Isso significa que “no ritmo atual esta meta levaria 100 anos para ser completada” e “incentivos como benefícios fiscais e redução de impostos” são importantes porque “reduzem os custos e tornam as renovações “economicamente” viáveis (VOSS; MUSALL, 2012, p.10, tradução nossa).

Voss e Musall (2012) discutem as lições e experiências apreendidas sobre os edifícios NZEB. Dentre elas, destacam-se as fontes de energia renovável utilizadas e a forma dos edifícios NZEB (relação entre área exposta e volume total). A fonte mais utilizada como produção de energia é a solar. Isso significa que considerar a área da envoltória do edifício é essencial para a produção de energia.

Os edifícios mais baixos e menos compactos têm maior potencial para se tornarem NZEB, porque têm maior área exposta em relação ao volume total, o que aumenta a proporção da produção de energia em relação ao consumo energético. Em edifícios não-residenciais, essa meta é mais ambiciosa, porque “os edifícios de escritórios são na maioria mais largos e mais compactos do que a tipologia residencial”⁷.

A seguir são apresentados estudos de caso de edifícios NZEB construídos. Depois são discutidos dois projetos de edificações no contexto de Brasília, que são estudos em edificação educacional e residencial.

⁷ Id., 2012, p.114.

2.2. Estudos de caso de edifícios NZEB

Em 2013, havia cerca de 120 edifícios NZEB no mundo, sendo que mais de 50% dos edifícios se encontravam no continente europeu e 25% nos EUA e no Canadá. Ainda em 2012, cerca de 20% dos edifícios NZEB eram edifícios de escritórios. No entanto, como a própria definição de balanço energético nulo é divergente, é difícil determinar a quantidade exata de edifícios NZEB pelo mundo. Os edifícios NZEB no mundo abrangem diversas tipologias, que podem ser hotéis, hospitais, edifícios educacionais, apartamentos, residências, edifícios de escritórios etc⁸.

Neste tópico, são apresentados estudos de caso sobre os edifícios NZEB. A Agência Internacional de Energia (IEA, 2014) publicou um relatório de estudos e soluções para edifícios NZEB. No relatório, são apresentados 30 estudos de caso de edifícios NZEB. Na página da IEA, *Task 40 - Subtask C*, foram publicados estudos de caso sobre edifícios NZEB, onde são descritos os dados do edifício incluindo consumo energético, detalhes dos sistemas de produção de energia e breve análise do clima local. Dentro do clima local, são resumidas as estratégias necessárias para redução do consumo energético, que incluem as horas do ano em que as estratégias para resfriamento ou aquecimento devem ser aplicadas. Três estudos de caso em climas temperados encontrados no relatório são apresentados na Tabela 1.

⁸ Id., 2012.

Tabela 1: exemplos de edifícios NZEB apresentados no relatório da IEA, foto e balanço energético (produção x consumo de energia)

Edifício Green Office					
<p>Localização: Paris Lat.: 48°80 N Long.: 2° L Clima: temperado Principal estratégia recomendada: aquecimento (50% do ano) e resfriamento (50% ano) Tipologia: escritório</p>					
<p>Estratégias utilizadas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Massa térmica para aquecimento - Aproveitamento da luz natural - Ventilação natural - Dispositivos de controle solar (sombreamento externo) - Equipamentos eficientes - Isolamento térmico da parede e da cobertura - Geração de energia: módulos fotovoltaicos (fachada e cobertura) - Resfriamento noturno 	<p>Consumo energético e produção de energia</p> <table border="1" data-bbox="683 757 1343 945"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Consumo de energia elétrica (final) kWh/m²ano</th> <th style="text-align: center;">Produção de energia kWh/m²ano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">81</td> <td style="text-align: center;">20</td> </tr> </tbody> </table>	Consumo de energia elétrica (final) kWh/m ² ano	Produção de energia kWh/m ² ano	81	20
Consumo de energia elétrica (final) kWh/m ² ano	Produção de energia kWh/m ² ano				
81	20				
Edifício Meridian Building					
<p>Localização: Wellington, Nova Zelândia Lat.: 41° 28' S Long.: 174°77' L Clima: temperado Principal estratégia recomendada: aquecimento (40% do ano) e resfriamento (60% do ano) Tipologia: escritório</p>					

<p>Estratégias utilizadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ganhos solares passivos (radiação solar) - Ventilação noturna - Equipamentos eficientes - Geração de energia: módulos fotovoltaicos (cobertura) 	<p>Consumo energético e produção de energia</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Consumo de energia elétrica (final) kWh/m²ano</th> <th style="width: 50%;">Produção de energia kWh/m²ano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>98</td> <td>98</td> </tr> </tbody> </table>	Consumo de energia elétrica (final) kWh/m ² ano	Produção de energia kWh/m ² ano	98	98
Consumo de energia elétrica (final) kWh/m ² ano	Produção de energia kWh/m ² ano				
98	98				
Ed. Solar XXI					
<p>Localização: Lisboa, Portugal Lat.: 38° 46' N Long.: 9° 10' O Clima: temperado Principal estratégia recomendada: aquecimento (35% do ano) e resfriamento (65% do ano) Tipologia: educacional/ escritório</p>					
<p>Estratégias utilizadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aproveitamento da luz natural nos ambientes internos - Integração da fachada com os módulos fotovoltaicos - Utilização da ventilação natural - Fachada ventilada - Aberturas zenitais nos ambientes do segundo pavimento - Sombreamento externo das aberturas - Controles avançados do sistema de iluminação artificial 	<p>Consumo energético e produção de energia</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Consumo de energia elétrica (final) kWh/m²ano</th> <th style="width: 50%;">Produção de energia kWh/m²ano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>24</td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table>	Consumo de energia elétrica (final) kWh/m ² ano	Produção de energia kWh/m ² ano	24	25
Consumo de energia elétrica (final) kWh/m ² ano	Produção de energia kWh/m ² ano				
24	25				

Fonte: International Energy Agency (2014a) e Alenei e Gonçalves (2016).

As estratégias utilizadas nos três estudos de caso variam conforme as estações (verão e inverno) para redução do consumo energético. Em mais da metade das horas ocupadas nos três edifícios, as estratégias são voltadas para a economia de energia elétrica para aquecimento artificial. Dos trinta estudos de caso apresentados, apenas 3 edifícios NZEB estão localizados em climas tropicais (Tabela 2). No Brasil, não há registros oficiais de edifícios NZEB.

Tabela 2: estudos de caso de edifícios NZEB em climas tropicais

Ed. ENERPOS					
<p>Localização: Saint-Pierre, Reunion Island (território francês) Lat.: 21° 20' S Long.: 55° 29' L Clima: tropical Principal estratégia recomendada: resfriamento (90% do ano) Tipologia: educacional</p>					
<p>Estratégias utilizadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Isolamento térmico da cobertura - Ventilação natural - Sombreamento externo das aberturas envidraçadas - Aproveitamento de luz natural - Equipamentos eficientes - Resfriamento evaporativo 	<p>Consumo energético e produção de energia</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Consumo de energia elétrica (final) kWh/m²ano</th> <th>Produção de energia kWh/m²ano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>16</td> <td>115</td> </tr> </tbody> </table>	Consumo de energia elétrica (final) kWh/m²ano	Produção de energia kWh/m²ano	16	115
Consumo de energia elétrica (final) kWh/m²ano	Produção de energia kWh/m²ano				
16	115				
Ed. ZEB BCA Academy					
<p>Localização: Singapura Lat.: 1° 20' N Long.: 103° 51' L Clima: tropical Principal estratégia recomendada: resfriamento (100% do ano) Tipologia: educacional</p>					
<p>Estratégias utilizadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Isolamento térmico da cobertura - Dutos de luz - Ventilação natural - Fachadas e cobertura verdes -Automação dos sistemas de iluminação 	<p>Consumo energético e produção de energia</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Consumo de energia elétrica (final) kWh/m²ano</th> <th>Produção de energia kWh/m²ano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>40</td> <td>44</td> </tr> </tbody> </table>	Consumo de energia elétrica (final) kWh/m²ano	Produção de energia kWh/m²ano	40	44
Consumo de energia elétrica (final) kWh/m²ano	Produção de energia kWh/m²ano				
40	44				

Fonte: International Energy Agency (2014a).

As principais estratégias relacionadas à arquitetura nos edifícios NZEB em climas tropicais são: o isolamento térmico cobertura, o aproveitamento da luz natural, a presença de dispositivos de controle solar, a ventilação natural e o resfriamento evaporativo (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2014a). O quadro resumo dos estudos de caso estão presentes na Tabela 3.

Tabela 3: Quadro resumo de estudos de caso NZEB

Edifícios	Consumo de energia elétrica (kWh/m²ano)	Produção de energia elétrica (kWh/m²ano)	Tipologia
Ed. Green Office (Paris)	81	20 (FV)	Escritório
Ed. Meridian Building (Wellington)	98	98 (FV)	Escritório
Ed. Solar XXI (Lisboa)	24	25 (FV)	Educacional
Ed. Enerpos (Saint Pierre)	16	115 (FV)	Educacional
Ed. ZEB BCA Academy (Singapura)	40	44 (FV)	Educacional

Fonte: International Energy Agency (2014a).

O consumo de energia elétrica nos edifícios NZEB varia entre 16kWh/m²ano a 98kWh/m²ano. A fonte de energia utilizada foi a solar fotovoltaica. A meta de balanço energético nulo foi alcançada em três dos cinco estudos de caso apresentados.

2.2.1. Estudos de retrofit para edifícios NZEB

Em edifícios existentes, o estudo para projeto de retrofit é necessário. Em dois estudos de caso de retrofit na Dinamarca em edifícios de escritórios, a meta de redução do consumo energético foi uma combinação de medidas que envolviam tanto a modificação dos materiais da envoltória como a adição de equipamentos mais eficientes (sistemas de aquecimento e resfriamento do ar e iluminação). Houve a inclusão de sistemas automatizados (ROSE; ENGELUND, 2015).

Quatro edifícios sofreram processo de retrofit, sendo dois deles edifícios de escritórios. No edifício Parkvaenget, o consumo de energia final foi de 55,4 kWh/m²ano. No Rockwool Office, o consumo de energia final de 264kWh/m²ano foi reduzido em 84,4%, totalizando 41,2 kWh/m²ano. Essas estratégias foram essenciais para essa economia de energia elétrica (ROSE; ENGELUND, 2015):

- Adição de materiais isolantes na envoltória do edifício
- Troca das janelas para evitar perdas de calor no inverno e sombreamento para evitar a ocorrência de superaquecimento e ofuscamento
- Troca dos sistemas de refrigeração, ventilação e de aquecimento utilizando aquecimento solar passivo no inverno
- Melhoria do conforto térmico e lumínico;
- Instalação de lâmpadas LED auxiliou na redução do consumo (iluminação artificial).

A Tabela 4 mostra a fachada antes e após o retrofit do edifício Parkvaenget Office. Houve um trabalho de redimensionamento das aberturas. O isolamento térmico da fachada contribuiu para a diminuição do consumo de energia elétrica para aquecimento. Como a relação entre produção e consumo de energia elétrica no edifício Parkvaenget Office não passou de 6%, foi necessária a adição de módulos fotovoltaicos nas fachadas, aumentando cerca de 3% a produção de energia.



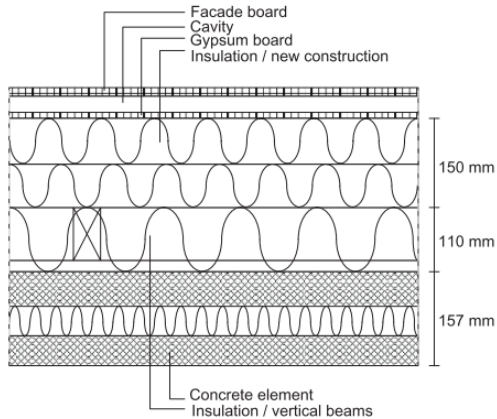
Tabela 4: retrofit do Parkvaenget Office e detalhe do isolamento térmico da fachada

Edifício Parkvaenget Office	
<p>Antes do retrofit</p> 	<p>Após retrofit</p> 
<p>Estratégias utilizadas na envoltória</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Adição de materiais isolantes térmicos nas fachadas - Redimensionamento das aberturas (aproveitamento da luz natural) - Redução das pontes térmicas (esquadrias) - Sombreamento externo das aberturas (redução da carga térmica)
<p>Detalhes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Proteções solares nas aberturas - Recobrimento da fachada com 130 m² de módulos fotovoltaicos 	<p>Após retrofit</p> 

Fonte: Rose e Engelund (2015).

As estratégias de adição de isolamento térmico nos materiais da envoltória e redimensionamento das aberturas foram semelhantes para o edifício Rockwool Office. (Tabela 5).

Tabela 5: fotos do retrofit da fachada do Rockwool Office, Dinamarca

Edifício Rockwool Office	
Antes do retrofit	Após retrofit
	
Estratégias utilizadas na envoltória	<ul style="list-style-type: none"> - Adição de materiais isolantes térmicos nas fachadas - Redimensionamento das aberturas (aproveitamento da luz natural) - Redução das pontes térmicas (esquadrias) - Absortância alta na fachada (aumento do calor recebido por radiação térmica solar)
Detalhe técnico do isolamento térmico (Fachada)	

Fonte: Rose, Engelund (2015).

Apesar de as estratégias para aquecimento solar passivo não serem recomendadas para o clima de Brasília em edifícios de escritórios, algumas características desses dois edifícios foram fundamentais para a redução do consumo energético. Elas incluem o dimensionamento correto das aberturas e a escolha dos materiais para a envoltória.

2.2.2. Estudos de edifícios NZEB em Brasília

Em Brasília há um estudo de edifício NZEB localizado no Campus Darcy Ribeiro. No Departamento de Engenharia Mecânica, junto à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, foi proposto um edifício experimental com laboratórios, salas multiuso, auditório e escritórios que visam atender à comunidade acadêmica e externa no âmbito da eficiência energética em edifícios⁹. A Figura 1 mostra a inserção do projeto no campus universitário.

Figura 1: projeto edifício experimental NZEB no Campus Darcy Ribeiro



Fonte: Birck (2014).

Quatro departamentos da Universidade deverão se dividir na coordenação do edifício, cada um tratando das suas especialidades aplicadas ao funcionamento da edificação na sua máxima condição de eficiência energética. Os departamentos deverão ser compostos por equipes da arquitetura, engenharia mecânica, engenharia civil e engenharia elétrica (PINTO et al., 2014a).

O edifício contém 3.115,99 m² de área condicionada e uma otimização térmica do projeto arquitetônico junto com soluções de baixo consumo adotadas para iluminação e equipamentos. Para a previsão do consumo energético, simulações térmicas foram realizadas no programa *Energy Plus*, por meio da modelagem no programa Sketch Up e Open Studio (Figura 2).

⁹ O projeto foi supervisionado pelo prof. João Manoel Dias Pimenta com colaboração da prof.^a Cláudia Amorim e os alunos integrantes deste estudo foram Geraldo Souza Pithon Pinto e Márcia Bocacio Birck.

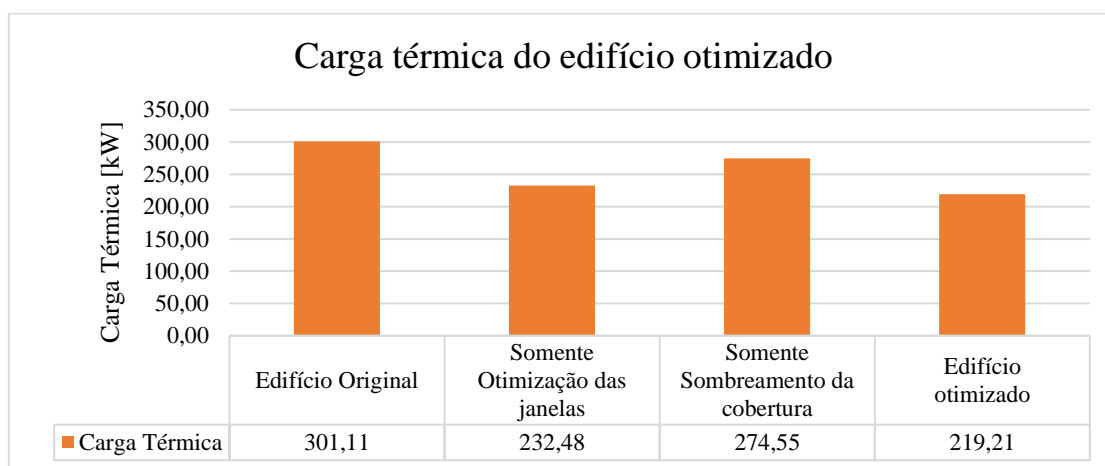
Figura 2: edifício experimental NZEB no Campus Darcy Ribeiro



Fonte: Birck (2014)

As soluções compreendem: utilização de ar-condicionado eficiente (Etiqueta “A” do Programa Brasileiro de Etiquetagem), vidro com fator solar de 0,33, sombreamento externo e utilização de cobertura ventilada. De acordo com os autores do projeto, o modelo otimizado com ventilação da cobertura, diminuição do fator solar do vidro e adição de sombreamento externo proporcionou uma redução de 27% da carga térmica em relação ao modelo original, quando não havia a utilização destas mesmas estratégias (Figura 3).

Figura 3: carga térmica do projeto do Edifício Experimental do Campus Darcy Ribeiro – UnB



Fonte: Pinto et al. (2014a).

Durante o processo de projeto do Edifício Experimental, foram feitas as previsões de consumo de energia elétrica por uso final (resfriamento do ar, iluminação externa e interna, equipamentos exteriores e interiores, incluindo bombas d’água, ventiladores mecânicos e sistemas de bombeamento). Os usos finais que mais consomem energia são os sistemas de refrigeração (28% do consumo total) e equipamentos (42% do total) (Figura 4).

Figura 4: consumo de energia por uso final do Edifício Experimental do Campus da Universidade de Brasília

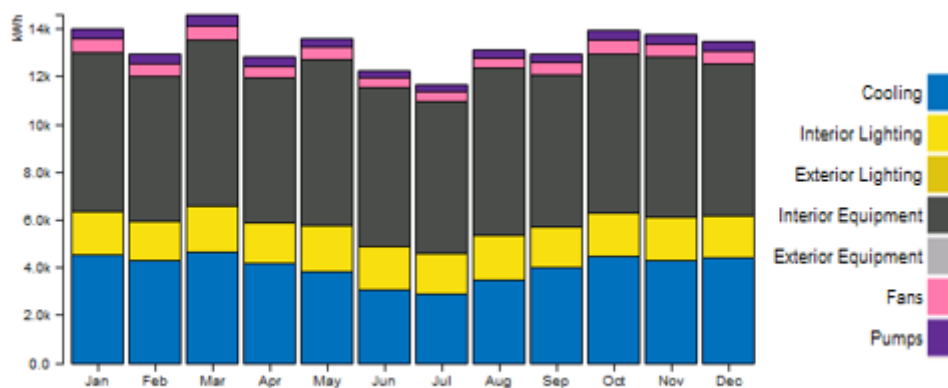


Figura 10: Consumo de energia por fonte

Fonte: Pinto et al. (2014a).

O edifício apresentou um consumo de energia de 159,18 MWh/ano (51,08kWh/m²ano). Já a produção estimada de energia foi de 196,55MWh/ano (63,15kWh/m²ano), superando em 23% o consumo energético do edifício projetado. A produção de energia especificada no projeto é feita por módulos solares fotovoltaicos localizados na cobertura e nos dispositivos de sombreamento das janelas. A eficiência do módulo fotovoltaicos é de 19,4%, com potência nominal de 187,4 kWh.¹⁰

Outro estudo de NZEB em Brasília foi desenvolvido na dissertação de Sudbrack (2017) em residências pré-fabricadas em Brasília (Figura 5). Na pesquisa, houve um estudo de soluções de cobertura e de parede testando camadas isolantes na cobertura, cobertura verde, áreas de abertura para ventilação natural etc. A autora concluiu que é possível atingir a meta de balanço energético nulo e indica diretrizes para a redução do consumo energético, que pode ser de até 50% em relação aos módulos de residência pré-fabricada comercializada no Brasil. A fonte de energia é obtida por meio de módulos fotovoltaicos localizados na cobertura (SUDBRACK, 2017).

¹⁰ Id., 2014a.

Figura 5: vista exterior do projeto de edificação NZEB pré-fabricada em Brasília

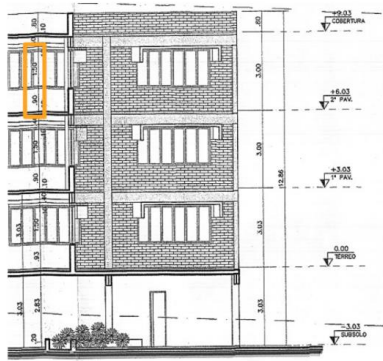

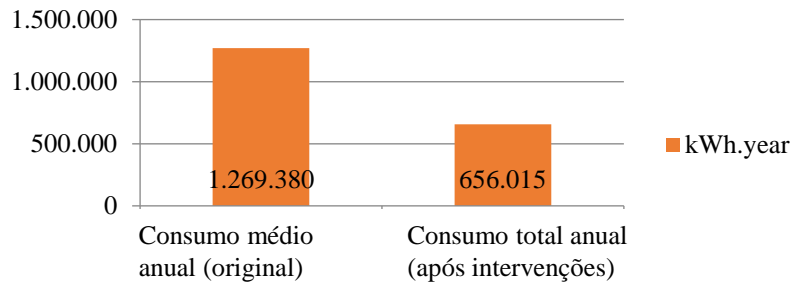


Fonte: Sudbrack (2017).

Após a discussão de estudos de caso de edifícios NZEB no contexto internacional e brasileiro, é importante ressaltar a legislação aplicada nacionalmente sobre a micro geração de energia e a eficiência energética. Esses dois elementos compõem o conceito de balanço energético nulo.

Amorim et al. (2017) demonstraram a possibilidade de um edifício convencional de quatro pavimentos, com consumo em torno de 115 kWh/m²ano em Brasília, com intervenções na morfologia e nos sistemas de iluminação e condicionamento de ar, reduzir este consumo para 59,79 kWh/m².ano (57%). Cobrindo a área de cobertura, o edifício pode produzir 60,63 kWh/m².ano. O estudo de caso envolveu o complexo de quatro edifícios ICM Bio em Brasília, Instituto Chico Mendes (Tabela 6).

Tabela 6: detalhes do projeto de retrofit para o edifício ICM Bio em Brasília

Complexo de edifícios ICM BIO Brasília							
<p>Projeto original</p> 	<p>Estudo de proteções solares</p> 						
<p>Estratégias utilizadas na envoltória</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Adição de materiais isolante térmico na cobertura - Troca das proteções solares - Divisão dos circuitos internos dos sistemas de iluminação natural - Utilização de ventilação natural nos ambientes de escritórios como estratégia de resfriamento passivo 						
<p>Previsão de redução de 57% no consumo de energia elétrica</p>	<p style="text-align: center;">Consumo total ICMBio</p>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Consumo</th> <th>Valor (kWh.year)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Consumo médio anual (original)</td> <td>1.269.380</td> </tr> <tr> <td>Consumo total anual (após intervenções)</td> <td>656.015</td> </tr> </tbody> </table>	Consumo	Valor (kWh.year)	Consumo médio anual (original)	1.269.380	Consumo total anual (após intervenções)	656.015
Consumo	Valor (kWh.year)						
Consumo médio anual (original)	1.269.380						
Consumo total anual (após intervenções)	656.015						

Fonte: Amorim et al (2017).

Assim, por meio de processo de retrofit, é possível implementar edifícios NZEB no contexto de edifícios de escritórios em Brasília. A seguir, discute-se o marco legal para a implantação de edifícios de balanço energético nulo no contexto nacional.

2.3. Marco legal

No contexto internacional, há a Diretiva Europeia EPDB/31 (2010) sobre a implementação de edifícios próximos ao balanço energético até dezembro de 2020 nas edificações novas, como visto no item 2.1. Nos Estados Unidos, o Departamento de Energia (2015) apresenta também planos de metas para a obtenção de edifícios de balanço energético nulo para as edificações.

No contexto brasileiro, não há a definição de balanço energético nulo na legislação, tampouco um plano de metas para atingir a meta NZEB. A Agência Nacional de Energia Elétrica (2015) apresenta resoluções normativas que permitem a microgeração de energia nas edificações.

Em 2015, a ANEEL publicou a resolução normativa nº. 687 em 2015, que substituiu a Resolução nº. 482 de 2012 sobre sistemas de micro geração de energia elétrica. Os principais pontos que podem ser relacionados a NZEB são:

- 1) Limite de produção de energia em até 75kw para micro geração distribuída e limite 5 MW para mini geração distribuída para sistemas de produção de energia elétrica de pequeno porte conectados à rede elétrica (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015, p.1);
- 2) Sistema de compensação de energia elétrica: a energia elétrica produzida no local injetada na rede elétrica é cedida à fornecedora local gratuitamente e pode ser compensada pelo produtor local de energia elétrica¹¹;
- 3) Para fins de compensação, a energia injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade conservadora a ter um crédito de energia ativa a ser consumida por um prazo de sessenta meses¹²;
- 4) Art. 6º [...]: para o caso de unidade consumidora com micro geração ou mini geração distribuída a que se refere o inciso II do art. 6º, o faturamento deve considerar a energia consumida, deduzidos o percentual de energia excedente alocado a essa unidade consumidora e eventual crédito de energia acumulado em ciclos de faturamentos

¹¹ Id., 2015, p.1.

¹² Id., 2015, p.2.

anteriores, por posto tarifário, quando for o caso, sobre os quais deverão incidir todas as componentes da tarifa em R\$/MWh¹³;

Sobre excedente de energia elétrica no artigo 6º:

- 5) O excedente de energia é a diferença positiva entre a energia injetada e a consumida, exceto para o caso de empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras, em que o excedente é igual à energia injetada¹⁴.

Ainda na resolução da ANEEL, o balanço energético entre energia injetada e consumida é feito mensalmente, sendo que o cálculo da energia injetada é feito a partir da fatura anterior. É permitida a compensação na tarifa de energia elétrica, caso haja excedente de produção de energia elétrica.

Em relação à micro e mini geração de energia, os sistemas elétricos podem ser mono, bi e trifásicos e as fontes de geração de energia elétrica de pequeno porte mencionadas são: biomassa, solar, hidráulica, eólica e cogeração qualificada. Além disso, esse processo de micro ou mini geração de energia elétrica deve passar por um processo de aprovação junto à administração e companhias de fornecimento de energia elétrica locais.

Estudos sobre a prospecção tecnológica realizados pelo Centro de Gestão de Estudos Estratégicos sobre o setor energético brasileiro foi realizado em 2017. Neste trabalho, apresentam-se estudos sobre a maturidade do Brasil nas seguintes macrotemáticas: planejamento de ciência e tecnologia, modelos institucionais, regulação e análise e impacto das tecnologias nacionais, demanda por energia elétrica, capacitação de recursos humanos etc. Em trechos do documento apresentado pela ANEEL, há a prioridade de melhor caracterização do ambiente construído, dos materiais e equipamentos elétricos utilizados e das necessidades dinâmicas de iluminação (CENTRO..., 2017).

Como visto na introdução, presente no Capítulo 1, a Instrução Normativa n.02 de 4 de junho de 2014 do Governo Federal institui a obrigatoriedade de submeter as edificações públicas ao Programa Brasileiro de Etiquetagem.

As recomendações relacionadas à eficiência energética e certificações em edifícios de uso comercial estão presentes no RTQ-C (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos). Os níveis de eficiência dos equipamentos variam de “A” para o mais eficiente para o “E”, menos eficiente. Os níveis de eficiência analisados incluem a envoltória da edificação, os

¹³ Id., 2015, p.3.

¹⁴ Id., 2015, p.4.

sistemas de iluminação artificial e de ar-condicionado. (INSTITUTO..., 2009). Logo, o PBE é essencial porque exige que as edificações públicas tenham um nível melhor de eficiência energética, o que é fundamental para a implantação de edifícios NZEB no contexto brasileiro.

2.4. Consumo de energia elétrica no Brasil

Do total de energia elétrica consumida no Brasil em edificações, 42,5% da energia elétrica é consumida pelas edificações, sendo que 21,4% é consumido nas residências, 14,4% em edifícios comerciais e 7,0% nos edifícios públicos, sendo 93 TWh (16,1%) de perdas nas transformações. Em 2016, as perdas eram de 15,1%. Houve pouca variação entre 2016 e 2017 do consumo de energia elétrica por setor (MME, 2017). A Tabela 7 mostra o consumo energético brasileiro nos setores residencial, comercial e público.

Tabela 7: consumo de energia elétrica no Brasil em 2016 e 2017

Setor	Consumo em 2017	Porcentagem em 2017
Residencial	132,9 TWh	21,4%
Comercial	89,2 TWh	14,4%
Público	43,3 TWh	7,0%
Oferta interna de energia elétrica	619,7 TWh	-

Fonte: Ministério de Minas e Energia (2017).

No Brasil, em relação aos usos finais de energia em edifícios comerciais, em média 47% se destina para condicionamento de ar, 22% para iluminação e 31% para demais cargas (Tabela 8). Essa porcentagem pode variar para cada edificação, região e uso da edificação (residencial e não residencial) como mostra a Tabela 8 (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Tabela 8: Usos finais de energia em uma edificação não-residencial no contexto brasileiro

Usos finais	Porcentagem
Iluminação artificial	22%
Ar-condicionado	47%
Equipamentos e demais cargas	31%

Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

O consumo energético de edifícios de escritórios varia de 80 a 340 kWh/m²ano no Brasil. No entanto, como quase cerca de dois terços da energia elétrica é consumida pelo ar-condicionado e pelos sistemas de iluminação artificial, há um grande potencial de redução de energia elétrica nos edifícios de escritórios.¹⁵

¹⁵ Id., 2014.

2.5. Matriz energética brasileira (2017) e potencial de geração a de energia solar no contexto nacional

No Brasil, a maior oferta de energia elétrica vem das usinas hidroelétricas com uma produção de 421,7 TWh (68,1%). Em seguida, a oferta de gás natural e biomassa corresponderam a 9,1% e 8,2% respectivamente. A energia eólica aumentou 33% a sua capacidade de geração entre 2015 e 2017 correspondendo a 33,5 TWh (5,4%) da produção nacional. A fonte de energia solar não alcançou quantidades significativas de produção (Tabela 9) (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2017).

Tabela 9: fontes de energia elétrica disponíveis no Brasil

Oferta interna de energia elétrica por fonte			
Fonte	2015	2017	Variação
Hidráulica	65,2%	68,1%	+2,9%
Gás Natural	13%	9,1%	-3,9%
Biomassa	7,3%	8,2%	0,9%
Eólica	2,0%	5,4%	+3,4%
Carvão e derivados	2,9%	4,2%	+1,3%
Nuclear	2,6%	2,6%	0,0%
Derivados de petróleo	6,9%	2,4%	-4,5%
Solar	0,01%	0,01%	0,0%
Total	100%	100%	

Fonte: Ministério de Minas e Energia (2017).

Como a ideia do edifício de balanço energético nulo, nesse trabalho, é a relação entre a produção de energia e o consumo de energia final, é importante a definição da fonte de energia renovável a ser trabalhada no contexto de Brasília. A principal fonte de produção de energia renovável em edifícios NZEB é a solar (VOSS; MUSALL, 2012).

Isso entra em contradição com a realidade brasileira, onde a fonte de energia solar é pouco explorada. Rüter (2004) afirma que o Brasil tem um alto potencial para a utilização dessa fonte de energia renovável, o que foi escolhido como recorte desta dissertação. A seguir, é apresentada a revisão teórica para a obtenção de edifícios de balanço energético nulo.

3. Revisão teórica

No capítulo 3 é abordada a revisão teórica sobre o tema de balanço energético nulo em edifícios de escritórios. A revisão teórica foi organizada com base nos elementos descritos por Voss e Musall (2012) acerca de edifícios NZEB: estratégias ativas e passivas para obtenção do conforto ambiental, eficiência energética e produção de energia elétrica (*on site*).

Na primeira parte, são abordadas estratégias passivas e ativas para redução do consumo energético e aumento da eficiência energética. Em seguida, discute-se a fonte de produção de energia principal utilizada nos edifícios NZEB, que é a energia solar. Ao final do capítulo, são apresentadas as variáveis arquitetônicas mais trabalhadas no contexto climático internacional e brasileiro e o levantamento de 240 edifícios de escritórios na zona central de Brasília.

3.1. Estratégias passivas

A Agência Internacional de Energia (2013) estabelece recomendações para uma envoltória mais eficiente, que buscam minimizar a necessidade de resfriamento e iluminação artificiais. Em relação às recomendações para o clima de Brasília, destacam-se: o sombreamento externo, a importância do isolamento térmico da cobertura vidros com baixo fator solar e o uso de materiais reflexivos na envoltória. Além disso, em estudos de caso considerando o contexto climático de localidades incluindo climas quentes e secos, é recomendado um percentual de abertura na fachada (PAF)¹⁶ entre 30% e 50% (GOIA, 2016) e (MA; WANG; GUO, 2015).

Mais recomendações para o clima de Brasília estão presentes na norma ABNT 15.220 sobre o desempenho térmico em edificações que inclui o uso da ventilação da massa térmica e da ventilação seletiva dos ambientes internos das edificações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005). Essas recomendações são essenciais para o aumento da eficiência energética na arquitetura.

Uma arquitetura eficiente é capaz de combinar as estratégias passivas e ativas para a obtenção de um melhor conforto ambiental. Estratégias passivas para obtenção de conforto não utilizam energia elétrica. Essas estratégias podem ser ventilação natural, iluminação natural, resfriamento evaporativo etc. Estratégias ativas, por outro lado,

¹⁶ O termo Percentual de Abertura na Fachada compreende a razão entre área envidraçada e área opaca (GOIA, 2016) e Climate Consultant v.6.0.

utilizam energia elétrica para a obtenção de conforto. Aqui compreendem, ar-condicionado, iluminação natural, boilers, aquecedores diversos etc (LAMBERTS, 2014) e (OCHOA; CAPELUTO, 2007).

Além disso, o consumo energético também está relacionado à forma do edifício. Didoné (2014, p.101) trabalhou o tema NZEB em edifícios de escritórios parametrizando as variáveis de altura, largura e comprimento considerando a produção de energia por meio de módulos fotovoltaicos semitransparentes localizados nas janelas e módulos solares fotovoltaicos opacos na cobertura. As simulações térmicas e de produção de energia foram realizadas no *Software Energy Plus* e as simulações de luz natural no programa *Daysim*. O balanço entre consumo e produção de energia elétrica foi considerada no estudo. Os resultados da pesquisa mostraram uma relação ideal de largura, comprimento e altura otimizada para os edifícios de escritórios nas cidades de Florianópolis e Fortaleza.

Em Florianópolis, a tipologia testada de até 3 pavimentos alcançou a meta do NZEB com a forma em planta próxima ao quadrado (razão entre o comprimento e largura próxima a 1 e com altura de 16,2m). Os edifícios de até 6 pavimentos alcançaram o padrão *Nearly NZEB* com a razão (largura x comprimento) de 1/3 (25m x 8m) com a altura de 29,7m. A meta de NZEB é dificilmente alcançada em edifícios maiores que quatro pavimentos com plantas mais largas (razão entre altura e comprimento próxima de 1).¹⁷

De acordo com a autora, são apresentados na Figura 6:

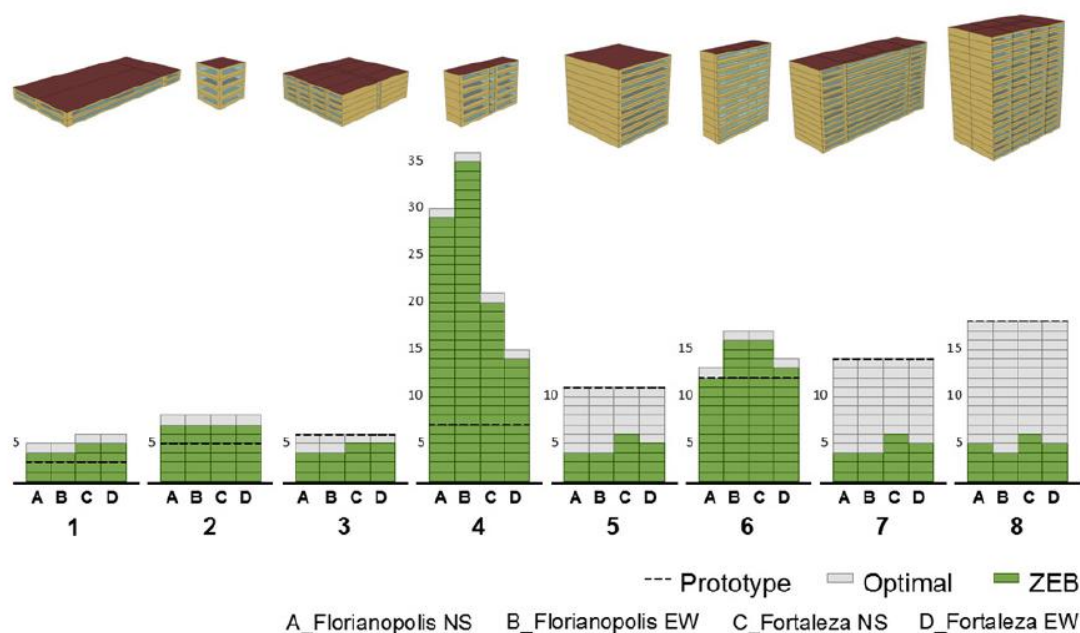
os tipos de edifícios, o máximo e o mínimo de pavimentos para cada tipologia estudada para a edificação se tornar NZEB. A linha tracejada mostra o tipo de referência para um edifício NZEB (número de pavimentos). A cor cinza representa os edifícios eficientes e o verde mostra os edifícios NZEB. As letras indicam a localização e a orientação dos modelos. A letra 'A' representa Florianópolis, nas orientações Norte e Sul, 'B', Florianópolis, Leste e Oeste, 'C', Fortaleza, Norte e Sul e 'D', Fortaleza, Leste e Oeste (DIDONÉ, 2014, p.101).

Ainda na Figura 6, abaixo das letras "A" a "D", o número "1" corresponde aos edifícios térreos, "2" aos edifícios de 4 pavimentos, "3" aos de 5 pavimentos, "4" aos de 10, "5" aos de 10, "6" aos de 11, "7" aos de 13 e "8" aos de 17 pavimentos.¹⁸

¹⁷ Id., 2014.

¹⁸ Id., 2014, p. 44-45

Figura 6: número de pavimentos utilizáveis para produção de energia para os tipos diferentes dos protótipos de Florianópolis e Fortaleza



Fonte: Didoné (2014).

Conclui-se que os edifícios de escritórios de até 6 pavimentos são mais passíveis de se tornarem NZEB nos contextos climáticos de Fortaleza e Florianópolis. Nas edificações com mais de seis pavimentos, a meta do balanço energético nulo é mais difícil de ser alcançada.

Os edifícios com maior área exposta de envoltória em relação ao volume total têm um potencial maior para a produção de energia solar fotovoltaica e são mais passíveis de alcançarem a meta do balanço energético nulo (VOSS; MUSALL, 2012).

Keeler e Burke (2010) apresentam uma discussão acerca dos padrões de consumo energético por parte das edificações compreendendo seus usos finais (iluminação, condicionamento de ar e equipamentos).

Com o desenvolvimento de materiais mais leves e de estruturas mais resistentes, os vidros foram utilizados como solução para vedação nas fachadas. Quando os sistemas de iluminação e condicionamento de ar se desenvolveram, as plantas dos edifícios começaram a ficar mais profundas, o que diminuiu o aproveitamento de luz e de ventilação naturais. Essa mudança ocorreu principalmente nas décadas de 1960 e 1970 e perduram nos edifícios de escritórios atuais. Portanto, isso cria vários problemas ambientais, porque as soluções de iluminação e de condicionamento de ar se voltam para sistemas artificiais, ocasionando o aumento do consumo energético (KEELER; BURKE, 2010).

Como mostrado por Didoné (2014), a proporção entre área de cobertura e de fachadas é favorável à implantação de edifício NZEB nos edifícios de 4 pavimentos no contexto de Florianópolis e Fortaleza.

Enquanto nos edifícios residenciais a razão entre área exposta e volume total é maior (média de 0,40 m²/m³), em edifícios de escritórios, a essa razão cai para 0,29 m²/m³. No entanto, essa maior compactidade nos edifícios de escritórios também oferece um potencial de redução de energia elétrica em função da menor área de superfície exposta em relação ao volume da edificação (VOSS; MUSALL, 2012).

Ochoa e Capeluto (2007) apresentam uma comparação das principais estratégias passivas utilizadas que buscam ganhar ou perder calor em edifícios de escritórios localizados em HAIFA, Israel com clima predominantemente quente e seco, com características de temperatura e umidade semelhantes a Brasília. A Tabela 10 lista as principais estratégias passivas para climas frios e/ou quentes trabalhadas, considerando os três tipos de transmissão de calor: condução, convecção e radiação.

Tabela 10: estratégias passivas para climas frios e/ou quentes.

Transferência de calor	Clima frio	Clima quente
Condução	- Isolamento térmico (cobertura, paredes e das janelas) - Armazenamento do calor	- Isolamento térmico (cobertura) - Rejeição do calor
Convecção	- Ventilação reduzida	- Ventilação para conforto e massa térmica para resfriamento
Radiação	- Luz natural aproveitada - Entrada da radiação	- Controle solar (evitando a entrada da radiação/ sombreamento das aberturas) - Luz natural aproveitada

Fonte: Ochoa; Capeluto (2007) e Keeler e Burke (2010).

Kwok e Grondznik (2007) discutem a importância da ventilação natural na arquitetura como forma de resfriamento passivo. Para a estratégia de ventilação ter efeito, deve-se considerar as áreas de abertura para a entrada e saída de ventilação e a amplitude térmica diária para estudos de viabilidade de resfriamento passivo no ambiente de escritório.

Para climas de grande amplitude térmica entre dia e noite em edifícios de escritórios, a ventilação noturna é recomendada, uma vez que a carga térmica acumulada durante o dia pode ser retirada sem o uso de energia elétrica à noite. No entanto, a amplitude térmica

diária deve ser maior que 11° (KWOK; GRONDZIK, 2007). Como resultado, se essa estratégia for corretamente trabalhada, não há a necessidade de os usuários ligarem o ar-condicionado nas horas matutinas. Para essa estratégia funcionar, é interessante identificar a massa térmica do edifício, as áreas de entrada e de saída do ar, o pé-direito dos edifícios (para cálculo do volume de ar) e se possível, utilizar o efeito chaminé para a saída do ar quente. Em uma amplitude maior ou igual a 11°C, se o calor acumulado nas lajes entre os pavimentos for removido, a redução da temperatura do ar no ambiente de escritório pode ser de até 4,4°C (GROSSO, 1997).

Chen, Augenbroe e Song (2018) realizaram estudos em um mesmo edifício de escritório para 4 zonas climáticas distintas, nas cidades de Atlanta, Seattle (clima frio) e São Francisco e Los Angeles (clima temperado). A redução no edifício de escritório simulado foi de até 50% em climas temperados nos meses de verão.

Em um estudo de caso de retrofit em Stuttgart, Schulze, Gürlick e Eicker (2018) realizaram simulações de ventilação natural em um edifício de três andares. A ventilação natural mostra um potencial de economia de 14 a 17 kWh/m²ano na energia total para resfriamento, na estação de verão, o que gera uma economia de cerca de 30% na demanda energética para resfriamento no verão. Ambos os métodos utilizam como base de cálculo, o método de *airflow network*. Em contraste com os resultados simulados, os valores obtidos de redução no consumo de ar-condicionado foram semelhantes aos estudos de caso discutidos.

Além disso, as estratégias passivas devem incluir o correto aproveitamento da luz natural (KEELER; BURKE, 2010). Dentre as estratégias para aproveitamento de luz natural, podem-se citar diferentes estratégias e tipos de aberturas. Os diversos tipos de aberturas para a luz natural podem ser as aberturas laterais (mais comumente utilizadas) e as aberturas zenitais (ótima estratégia para uniformizar a luz natural em ambientes profundos em edifícios mais baixos). É importante considerar também o controle do ofuscamento que pode ser por contraste ou por saturação. Para evitar esse problema é importante bloquear a incidência de radiação solar direta no plano de trabalho e em seus arredores (OSTERHAUS, 2015).

Os principais tipos de sombreamento externo podem ser brises, beirais, varandas, marquises, vidros com baixa transmissão luminosa e prateleiras de luz. Para aproveitar a luz natural, é importante trabalhar com refletâncias altas no teto e médias nas paredes e

no piso, trabalhar com refletâncias mais baixas. Para evitar perdas de reflexões da luz, a limpeza e manutenção do edifício deve ser constante (KWOK; GRONDZNIK, 2007).

Quando a luz natural não é suficiente para atender a todos os usuários, é importante a automação ou divisão de circuitos para utilizar a luz artificial somente onde for estritamente necessário incrementar os níveis de iluminação. Geralmente há a separação desses circuitos em áreas próximas às janelas e em zonas mais afastadas dessas aberturas. Assim, a demanda de energia para iluminação artificial é reduzida (KWOK, GRONDZNIK, 2007).

A combinação da modificação das variáveis de envoltória com a utilização da ventilação natural e noturna tem um potencial de redução em até 50% no consumo total de energia elétrica em edifícios de escritórios (Tabela 11).

Tabela 11: redução do consumo de energia elétrica total (final) de acordo com a utilização das estratégias passivas utilizadas na envoltória

Elementos trabalhados	Variáveis analisadas	Peso (redução no consumo energético anual total)	Referência
Envoltória	PAF, FS, TL, proteção solar	20% a 25%	Goia (2016) Alves et al. (2017) International Energy Agency (2013)
Ventilação natural Ventilação noturna	Posicionamento e dimensionamento das aberturas	30% (simulado)	Chen, Augenbroe, Song (2018) Schulze, Gürlich, Eicker (2018)

Fonte: autor.

Vale ressaltar que a obtenção da alta eficiência energética em edifícios de escritórios também deve ser coordenada com estratégias ativas para redução do consumo energético. Antes de comentar as estratégias ativas para a redução de consumo energético dos diversos sistemas dos edifícios, é importante apresentar as ferramentas de avaliação do balanço energético. Com base no cálculo do balanço energético e na identificação dos usos finais de energia (para iluminação, condicionamento de ar e equipamentos), são definidas as estratégias para a redução no consumo energético (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2014a).

3.2. Estratégias ativas

As estratégias ativas buscam complementar a eficiência energética do edifício, maximizando o conforto do usuário e minimizando o consumo energético. De acordo com o relatório publicado pela IEA para a obtenção de um edifício de escritório mais eficiente, foram comparados sistemas elétricos de edifícios convencionais e de edifícios otimizados energeticamente (Tabela 12) (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2013).

Tabela 12: comparação entre um edifício de escritório convencional (consumo “elevado”) e edifícios NZEB

Desenho e planejamento de sistemas e operação	Edifícios convencionais	Edifícios NZEB (projetos eficientes e otimizados)
Envoltória do edifício (envelope, “pele”)	Passivo, não é pensado como sistema energético	Otimizado para o desenho passivo e integrado com sistemas ativos, desenho de acordo com a radiação solar
Sistemas de aquecimento, resfriamento (condicionamento de ar) e ventilação	Sistemas superdimensionados	Controles otimizados, integração com sistemas passivos, considerando a eficiência energética dos sistemas de resfriamento e aquecimento
Sistemas solares/ geração de energia renovável	Sem integração – um pensamento posterior	Totalmente integrado: luz natural, energia térmica solar, sistemas fotovoltaicos, solar híbrido, sistemas geotérmicos, combustíveis BIO, ligados a grids pequenos
Automação dos sistemas	Automação dos sistemas não é utilizada de forma efetiva	Controles da edificação são previstos para otimizar conforto e aumentar a eficiência energética, redução para evitar picos nos sistemas
Desenho dos sistemas e operação dos usuários	Desenho dos sistemas e operação dos usuários são considerados de forma separada	Integração do usuário com os sistemas do edifício e otimizados de forma a criar maior conforto ambiental

Fonte: Agência Internacional de Energia (2013, tradução nossa).

Observa-se que em edifícios energeticamente eficientes, os sistemas elétricos são integrados com o projeto arquitetônico prevendo também a satisfação do usuário. São previstos ao longo de todo o projeto as cargas térmicas, o balanço de radiação solar e a disponibilidade (autonomia) de luz natural nos ambientes internos. Com a previsão correta da demanda por resfriamento e/ou aquecimento artificiais, evita-se o superdimensionamento dos sistemas elétricos, o que é essencial para a redução do consumo energético para os sistemas de condicionamento de ar (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2013).

A Agência Internacional de Energia (2014) também apresenta relatórios e protocolos que buscam uma integração dos sistemas de iluminação natural e artificial buscando a redução do consumo de energia e o aumento do conforto do usuário para realizar as tarefas visuais no ambiente de trabalho. Dentre as estratégias mencionadas, destacam-se os sistemas de automação, sensores e detectores de presença dos usuários. Nesses sistemas, os níveis de iluminação podem ser individualizados e controlados pelo usuário, o que aumenta a sua satisfação, a sua produtividade e o seu nível de conforto.

Nesta dissertação, a base para avaliar o nível de eficiência energética dos sistemas de ar-condicionado e de iluminação foi o RTQ-C (2010) por ser uma exigência estabelecida pelo Governo Federal (descrição no item 2.3).

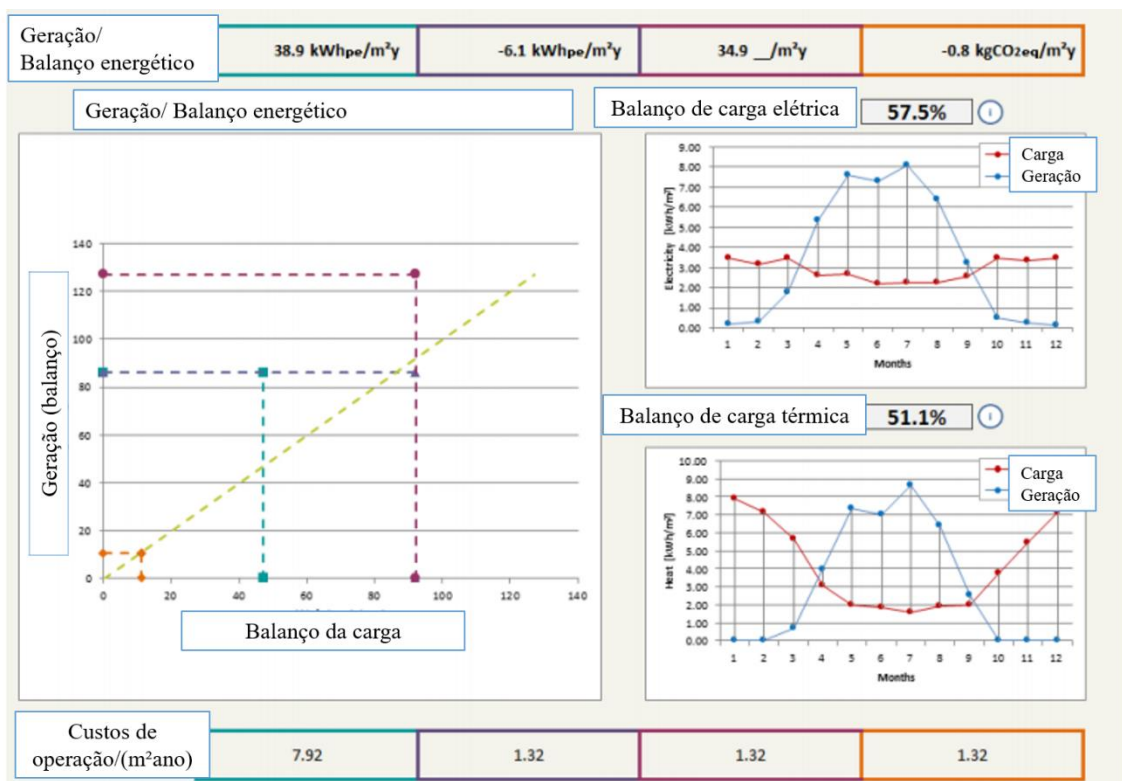
3.3. Métricas para cálculo do balanço energético nulo

Para fins de comparação dos padrões e regulamentos de eficiência energética, consumo de energia e produção energética, cada país membro da União Europeia adapta para a sua realidade. Na Áustria, Suíça e Alemanha, por exemplo, há um limite de consumo de energia elétrica primária e para uso final verificando o necessário para suprir a demanda de um determinado edifício. Quanto ao uso final, há limites de consumo para aquecimento e resfriamento do ar, para iluminação artificial etc. O cálculo do balanço energético também inclui emissão de CO₂, identificação das fontes de energia primária etc. Esse sistema é complexo e funciona como um estabelecimento de créditos entre produção e consumo de energia e varia de acordo com a região, com as decisões políticas e os regulamentos e normas de cada cidade e região (VOSS; MUSALL, 2012).

A Agência Internacional de Energia criou uma plataforma de avaliação das diversas fontes de energia de um edifício de balanço energético nulo (NZEB) que se chama Net ZEB Evaluation Tool.

A ferramenta funciona como uma planilha e o resultado avaliado é o balanço de energia elétrica final, que inclui a identificação das fontes de energia da edificação avaliada (energia elétrica final, energia primária, custos de operação/manutenção, quantificação de produção de energia elétrica etc) (Figura 7). Outras métricas são incluídas nessa ferramenta como o balanço de cargas térmicas, emissão e absorção de CO₂ (*Carbon Neutral Building*) etc. (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2012, 2014).

Figura 7: resultados fornecidos pelo NZEB Evaluation Tool: balanço entre energia elétrica consumida pelas cargas térmicas do edifício e geração de energia elétrica



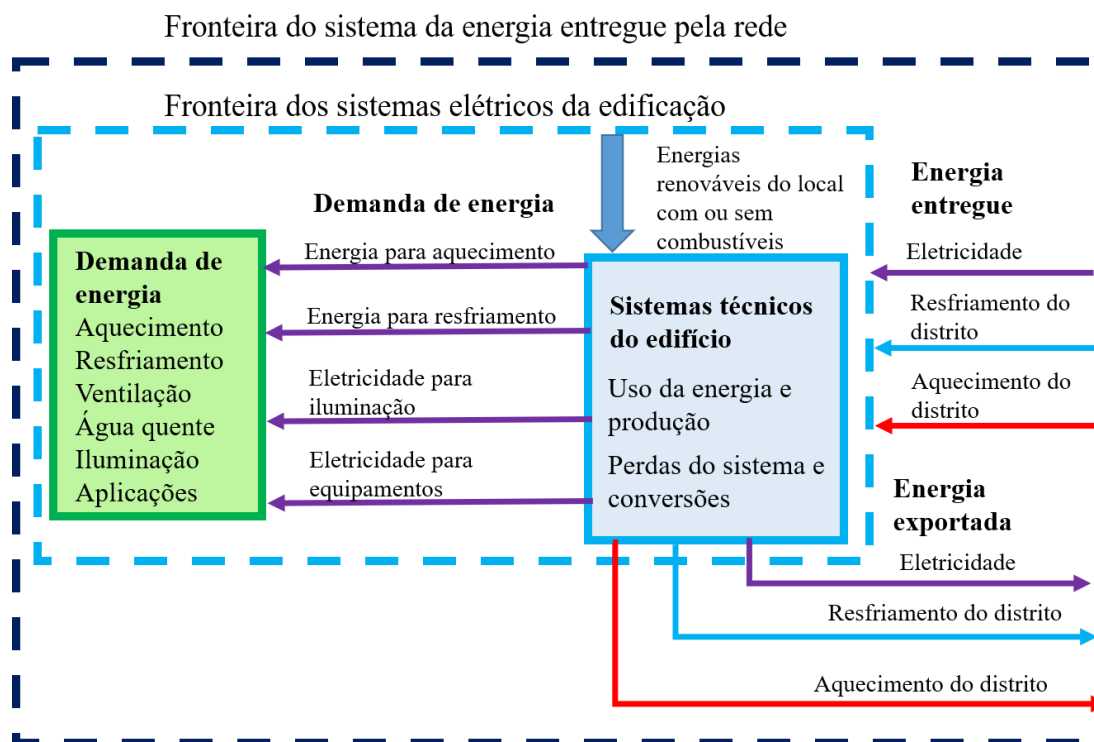
Fonte: Agência Internacional de Energia (2012, tradução nossa).

No entanto, esta ferramenta não se adequa nesta pesquisa, pois os dados referentes ao consumo de energia primária, créditos e emissões de carbono e balanços das cargas térmicas são referentes ao contexto europeu.

Para entender melhor o conceito de NZEB, Kurnitski et al. (2010) trabalham o conceito de limite ou fronteira dos sistemas elétricos de um edifício NZEB [*system boundary*]. Fora dos sistemas de energia elétrica dos edifícios está a energia entregue pela rede elétrica e a energia exportada (excedente, produzido pela unidade consumidora). Dentro da fronteira do edifício, são encontrados diversos sistemas, que compreendem os diversos usos finais (iluminação, condicionamento de ar, aquecimento de água e equipamentos elétricos). Os sistemas de produção de energia elétrica se encontram dentro

da fronteira dos sistemas elétricos do edifício. Todo esse sistema configura a fronteira do sistema da energia entregue pela rede de energia elétrica (Figura 8).

Figura 8: definição de fronteira ou limite de um sistema elétrico de um edifício



Fonte: Kurnitski et al (2011, tradução nossa).

De acordo com o Departamento de Energia dos Estados Unidos (2015), o balanço de energia elétrica é feito de forma que a produção interna de energia elétrica dos sistemas elétricos do edifício se iguale à energia entregue pela rede elétrica. Assim, um NZEB produz energia quando as condições são adequadas à produção de energia e utiliza a energia fornecida ou entregue durante o restante do ano.

Dentre os aspectos trabalhados em edifícios NZEB, é importante definir os diferentes conceitos de energia que são (KURNISKI et al., 2011):

- Energia primária (E): “é definida pela energia proveniente de fontes renováveis e não-renováveis que não passaram por processo de transformação ou conversão” (KURNITSKI et al., 2011, p.7, tradução nossa);
- Energia entregue (E del):
 É a energia proveniente da rede elétrica, que chega ao edifício. Tem como função manter os sistemas que garantem as condições de conforto térmico e luminoso requeridos pelos usuários do edifício e para manter os sistemas de produção de energia interna do edifício para

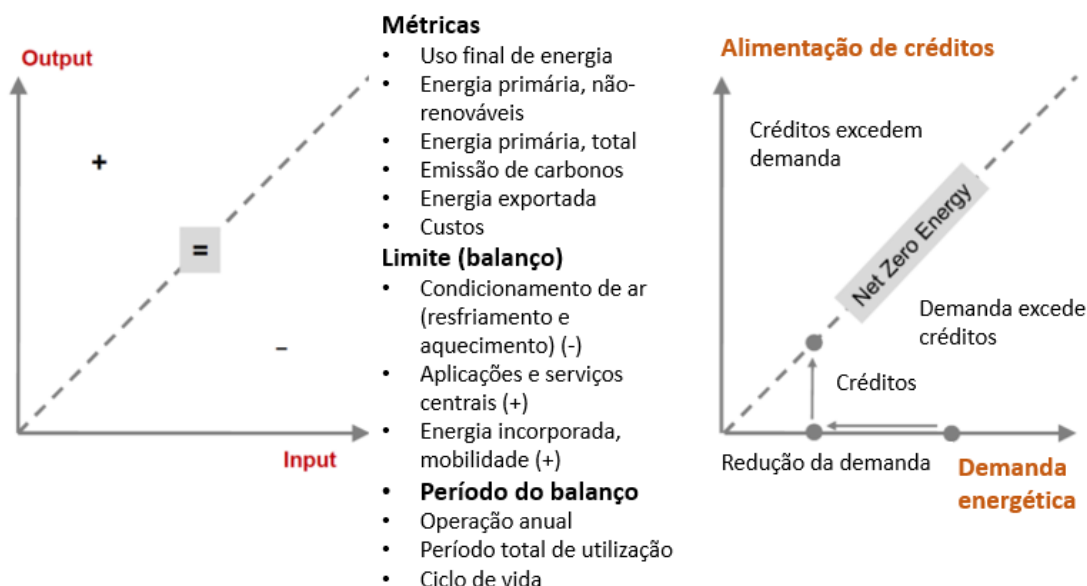
seus diversos usos finais (KURNITSKI, 2011, p.7, tradução nossa).

Por exemplo, os usos finais compreendem aquecimento, resfriamento, ventilação, água quente, iluminação artificial (relacionados ao consumo de energia) e a energia entregue pela rede inicia e mantém os sistemas de produção, que podem ser os painéis solares ou geradores de energia eólica (sistemas relacionados à produção de energia). A energia entregue é utilizada dentro do limite do edifício;

- Energia exportada (E_{exp}): “é fornecida pelos sistemas elétricos compreendidos dentro do limite do edifício” (KURNITSKI, 2011, p.7, tradução nossa). Quando há excedente de produção, a energia exportada se localiza fora do limite do edifício.²³

Há várias formas de mostrar o balanço energético de uma edificação NZEB. Como o conceito de balanço energético é divergente, cada autor aborda uma métrica diferente. Essas métricas podem ser emissão de gás carbônico, ou relação entre consumo e produção de energia elétrica, custos de construção relacionado a custos de manutenção etc. O balanço avaliando os custos relacionam o investimento no projeto e na construção com o custo relacionado à manutenção e operação do edifício NZEB (VOSS; MUSALL, 2012). A forma mais utilizada de representar essas diversas métricas é mostrada na Figura 9.

Figura 9: representação do balanço energético de um edifício NZEB



Fonte: International Energy Agency (2014b, tradução nossa).

²³ Id., 2011, p.7.

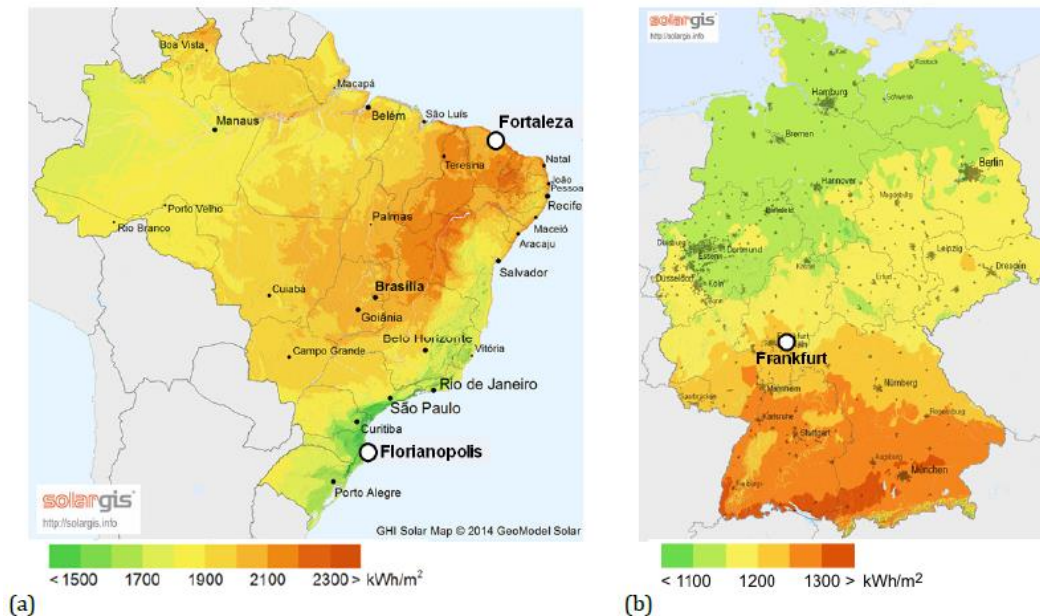
Sobre esta forma de representação gráfica, o balanço energético nulo é representado pela linha tracejada, quando a produção se iguala à demanda energética. A métrica utilizada no trabalho corresponde à energia para os usos finais, que são para o funcionamento dos sistemas de ar-condicionado, iluminação e equipamentos.

3.4. Produção de energia

Duas pesquisas importantes na área buscaram entender o potencial de energia solar no contexto brasileiro. Cronemberger, Caamaño-Martín e Sánchez (2012) estudaram o potencial da geração de energia fotovoltaica no Brasil em 78 cidades brasileiras. Os autores concluíram que pelos altos valores de irradiação solar e pelas pequenas perdas em diferentes orientações dos painéis fotovoltaicos, as cidades brasileiras têm um alto potencial para gerar energia fotovoltaica tanto nas coberturas, como nas fachadas dos edifícios.

No Brasil, o valor de irradiação solar anual mínimo é o valor máximo na Alemanha (DIDONÉ, 2014). Enquanto no Brasil facilmente se alcançam valores superiores a 2300 kWh/m² ao longo do dia, o valor máximo de radiação alcançado na Alemanha ultrapassa dificilmente 1300 kWh/m² ao longo do dia (Figura 10).

Figura 10: comparação de dados de soma anual de irradiação solar horizontal no Brasil e na Alemanha utilizando o SOLAR GIS 2014

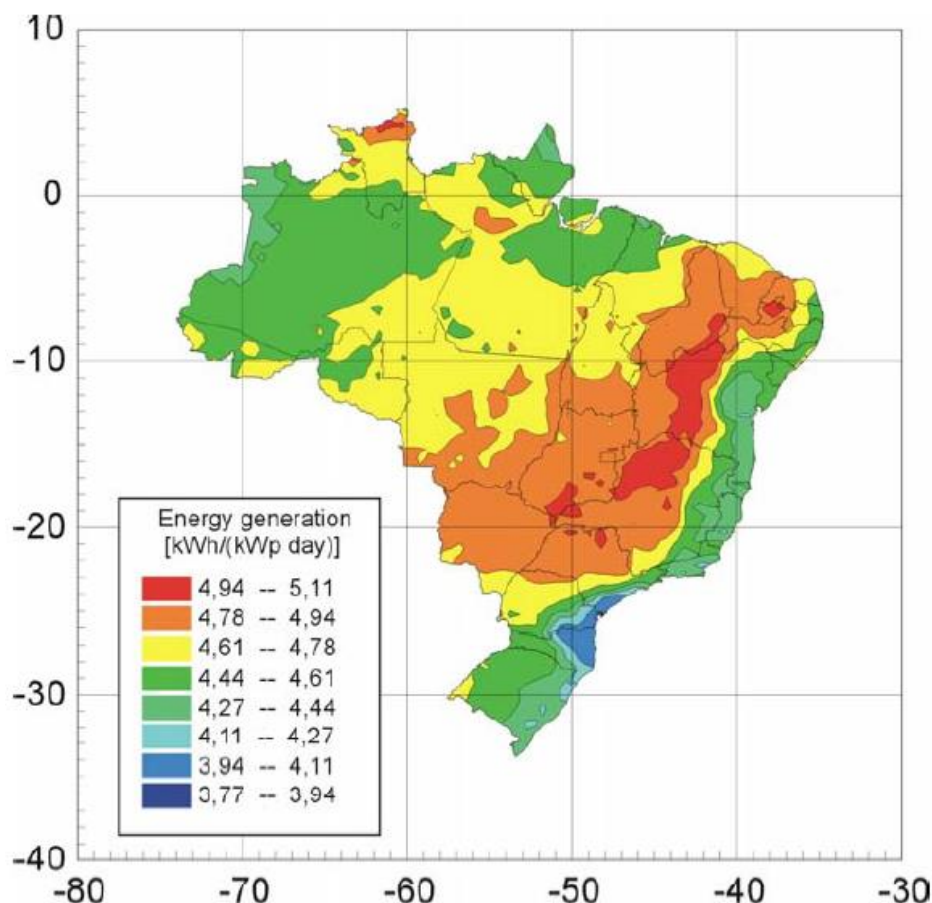


Fonte: Didoné (2014).

Um módulo do sistema de painel fotovoltaico Silício Amorfo pode gerar em Brasília 4,94kWhp/dia (RÜTHER, 2004).²⁴ Cronemberger, Caamaño-Martín e Sánchez (2012) definiram que o ângulo ótimo para posicionar um módulo fotovoltaico é de 24° (norte), não correspondendo mais ao determinado por Rütther, somente pelo ângulo de latitude (2004). Esse grande potencial de geração fotovoltaica é pouco aproveitado no Brasil e pode ser localizado na envoltória das edificações (na cobertura e nas fachadas, em Brasília).

A mostra o potencial de geração de energia fotovoltaica para cada painel fotovoltaico instalado na cobertura, orientado para o norte no ângulo da latitude local (Figura 11). O sistema utilizado é do módulo do sistema Silício-amorfo (Si-a) (RÜTHER, 2004).

Figura 11: Atlas fotovoltaico do Brasil que pode ser gerado para cada módulo de painel fotovoltaico (sistema a-Si) orientados para o norte no ângulo da latitude local



Fonte: Rütther (2004).

Os altos valores de incidência de irradiação solar são uma justificativa para geração de energia em edifícios NZEB no contexto brasileiro. Como apresentado, a energia solar

²⁴ Painel: módulo Si-A orientado para o norte a 15,7° (latitude aproximada de Brasília).

é pouco explorada na matriz energética brasileira e ela oferece um grande potencial para geração de energia em edifícios NZEB, porque pode ser gerada pela área disponível de cobertura e de fachada nos edifícios de escritórios por meio de módulos solares fotovoltaicos. A seguir, são apresentadas pesquisas de levantamento de edifícios de escritórios localizados na zona central de Brasília.

3.5. Clima de Brasília

Os parâmetros climáticos mais importantes para estudos sobre edifícios NZEB são: níveis de Temperatura do Ar Exterior, Umidade Relativa e Irradiância Solar Global. As características climáticas de cada região devem auxiliar na concepção e no desenvolvimento de conceitos energéticos de edifícios com o padrão “Net Zero Energy Building”, considerando, desta forma, o comportamento destes indicadores climáticos no desempenho térmico e na eficiência energética da edificação. (DOMINGOS et al, 2014).

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (2010), Brasília está localizada na região Centro-Oeste do país, entre os paralelos 15°30' e 16°03' e os meridianos 47°18' e 48°17' (oeste de Greenwich) e aproximadamente 1.000 metros acima do nível do mar. Seu clima, de acordo com a classificação climática de Köppen, pertence às categorias Cwa e Cwb, podendo ser classificado como Tropical de Altitude, marcado por dois períodos distintos:

- Período quente-úmido: verão chuvoso, de outubro a abril (com temperaturas variando entre 18°C e 27°C);
- Período quente-seco: inverno seco, de maio a setembro (com temperaturas variando entre 15°C e 25°C);

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2010), as temperaturas mínimas (abaixo de 14°C) foram registradas nos meses de junho e julho e a média das máximas em setembro ficam e torno de 27,7°C. As variações térmicas diárias existem em função dos fatores climáticos da altitude e da continentalidade (localização geográfica na área central do país) e se intensificam no período seco. Além disso, Brasília apresenta níveis altos de radiação solar que variam entre 5,25 kWh/m² e 6,3 kWh/m² ao longo do dia. Esses valores de radiação solar justificam a geração de energia a partir de módulos solares fotovoltaicos (CRONEMBERGER; CAAMAÑO-MARTÍN; SÁNCHEZ, 2012).

O período mais chuvoso corresponde aos meses de novembro a janeiro, chegando ao índice médio de precipitação mensal de 250 mm. No inverno ocorre o período mais seco, com índices abaixo de 15 mm de precipitação, especialmente nos meses de junho a agosto. A orientação e a maior frequência dos ventos em Brasília são predominantes na direção do quadrante leste (ângulos próximos a 90°). A velocidade média mensal é de 2,5 m/s (INMET, 2010).

As normais climatológicas estão descritas na Tabela 13.

Tabela 13: normais climatológicas para o clima de Brasília

Brasilia_INMET_EPW_2016								
Mês	Temp. bulbo seco	Temp. bulbo seco	Umidade e rel. ar	Radiação horiz. Global	Iluminância a horiz. Global	Vel. Vento	Direção do vento	Nebul.
	Mínima média	Máxima média	Média diária	Média diária	Média diária	Média diária	Média diária	Média diária
	°C	°C	%	kWh/m ² mês	Lux	m/s	°	%
Jan	17,9	26,7	69,4	165,8	51867,4	2,7	126,0	50,0
Fev	18,1	27,9	67,9	163,3	51195,9	2,0	162,9	50,0
Mar	17,6	26,0	78,2	170,4	41560,0	2,1	146,4	50,0
Abr	17,6	26,9	66,7	154,8	50102,4	2,3	124,2	50,0
Mai	16,3	26,0	66,7	150,0	43328,9	2,0	161,2	50,0
Jun	14,5	25,1	60,8	150,3	45811,7	2,5	113,6	50,0
Jul	14,6	25,7	52,9	164,2	45625,8	2,6	117,6	50,0
Ago	14,9	25,1	52,3	183,1	47652,8	3,3	111,0	50,0
Set	17,4	27,7	55,0	182,8	44623,6	2,6	136,4	50,0
Out	17,3	25,9	69,6	163,7	41685,8	2,4	164,6	50,0
Nov	18,1	25,5	79,2	143,5	36857,6	2,2	216,8	50,0
Dez	18,5	25,9	76,4	143,5	39214,9	2,7	165,4	50,0
Ano	16,9	26,2	66,3	153,8	44960,6	2,5	145,5	50,0

Fonte: arquivo climático INMET 2016²⁵ e Climate Consultant, v5.5.

De acordo com Domingos et al. (2014), as características climáticas e os níveis de radiação solar em Brasília são as mais favoráveis para a implantação de edifícios NZEB, porque as temperaturas estão em uma faixa confortável (entre 20° e 25°C) e há abundância de irradiação solar para a geração de energia solar.

Segundo a norma NBR 15.220, recomendam-se para Brasília as seguintes estratégias bioclimáticas: ventilação seletiva, inércia térmica para resfriamento e resfriamento evaporativo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005). No RTQ-C também são recomendados para uma maior eficiência da envoltória das edificações de escritórios o sombreamento externo das aberturas envidraçadas e a limitação de aberturas de vidro na fachada oeste (INSTITUTO..., 2009).

²⁵ Arquivo climático disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016>>. Acesso: 31 jul. 2018

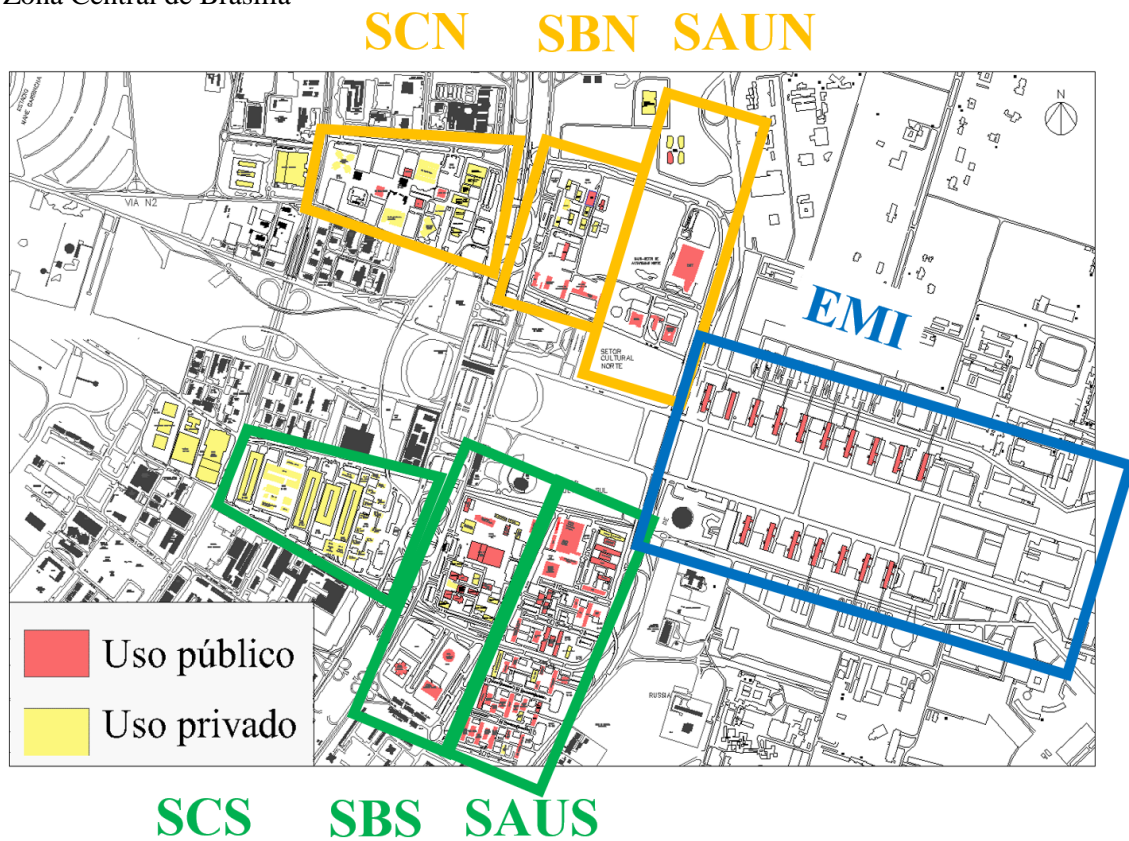
3.6. Brasília e seu contexto urbano e arquitetônico

É abordado neste tópico, o levantamento de pesquisas realizadas em edifícios de escritórios localizados na zona central de Brasília. Com base na discussão destas pesquisas, é possível identificar quais características arquitetônicas são predominantes relacionadas à envoltória e à forma da edificação.

Brasília apresenta 240 edifícios de escritórios em sua zona central (POLITANO, 2017). Lima (2010) realizou um grande levantamento dos edifícios de escritórios na zona central de Brasília. Esta pesquisa também serviu de base para o levantamento realizado por Politano (2017). Os setores estudados compreendem os edifícios de escritórios localizados na zona central de Brasília (norte e sul). A lista completa dos 240 edifícios está no apêndice da dissertação. O autor contribuiu para a compilação e a análise dos dados coletados por Politano (2017) deste levantamento.

Os setores estudados foram: Setor de Autarquias Norte, Setor Bancário Norte, Setor Comercial Norte, Setor de Autarquias Sul, Setor Comercial Sul, Setor Bancário Sul e Esplanada dos Ministérios. Em relação ao uso, caracteriza-se na Figura 12 um mapeamento dos edifícios em relação ao uso: exclusivamente de escritórios ou misto (escritórios com comércio) e a localização dos setores estudados.

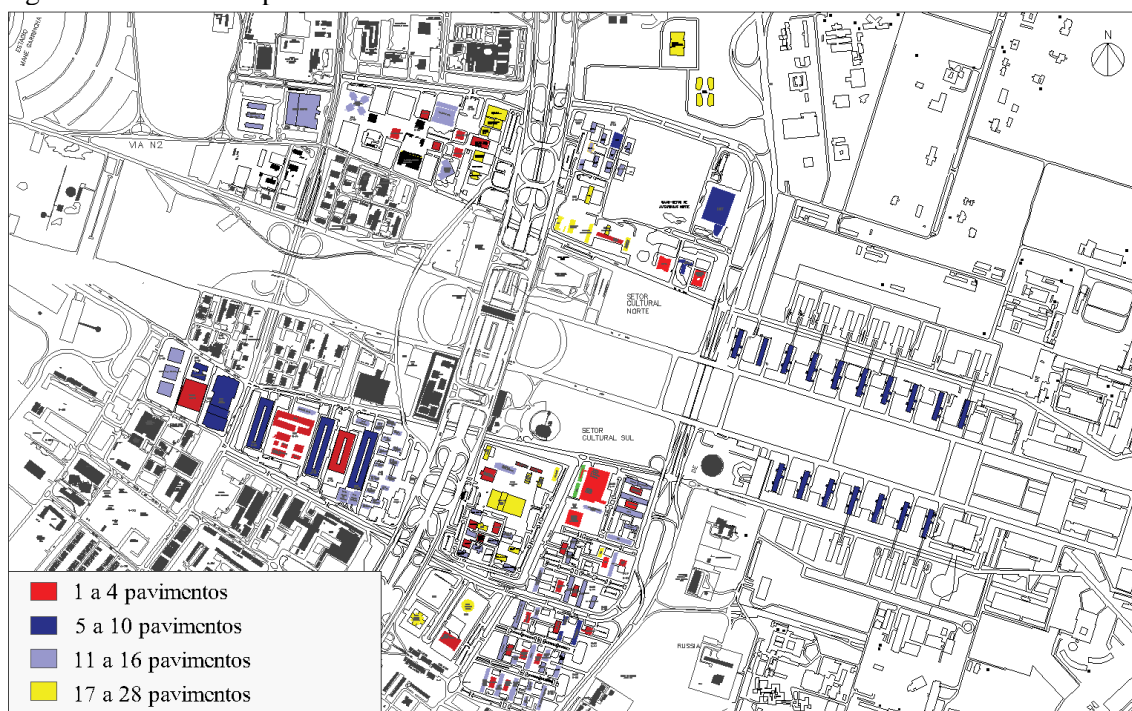
Figura 12: localização dos setores estudados e divisão entre edifícios públicos e privados na Zona Central de Brasília



Fonte: Costa, Politano e Amorim (2017).

A predominância de edifícios públicos se encontra nos setores Bancários Sul e Norte e de Autarquias Sul e Norte. Os edifícios públicos se concentram mais nas Esplanada dos Ministérios e nos Setores Bancários e de Autarquias Sul e Norte. Predominam nos demais setores, edifícios privados. A Figura 13 mostra a relação do número de pavimentos nos setores estudados.

Figura 13: número de pavimentos nos setores estudados



Fonte: Costa, Politano e Amorim (2017).

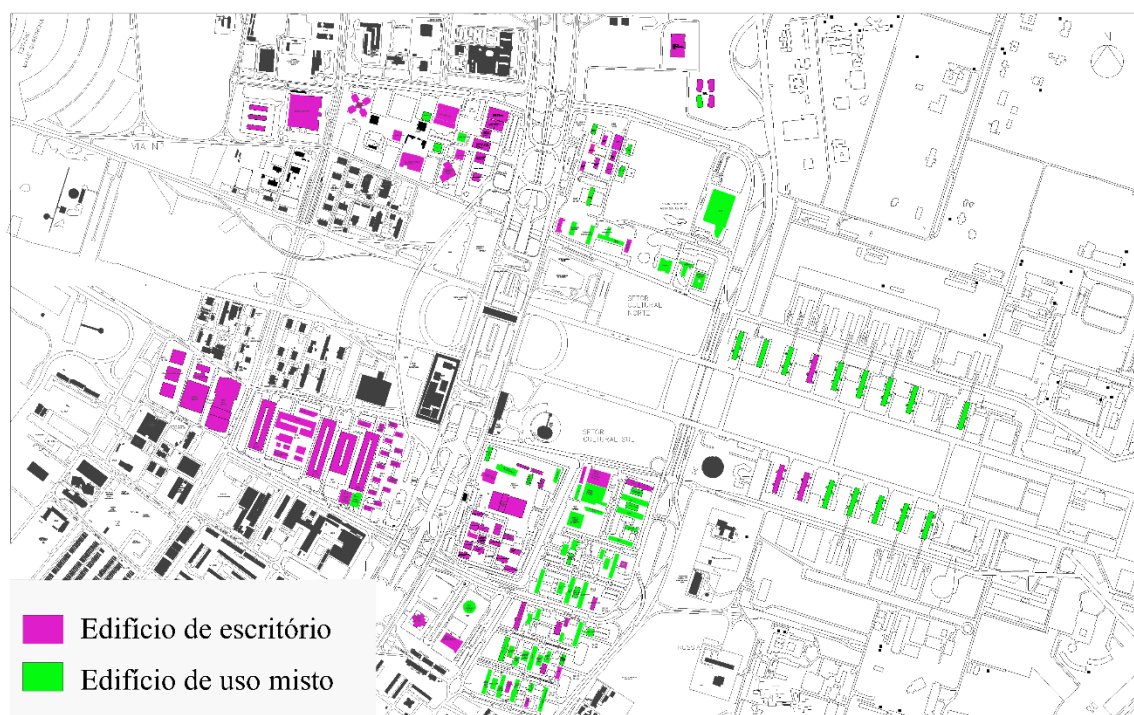
Entre 2010 e 2017, apenas 9 edifícios comerciais novos foram construídos. Os edifícios foram classificados como públicos ou privados, devido ao fato de que apenas os públicos com mais de 500 m² estão submetidos ao Programa Brasileiro de Etiquetagem.

Os edifícios foram classificados também em relação ao ano de construção, e este dado foi coletado para 42% dos edifícios. Dos 240, 34 edifícios correspondem à década de 1960, 30 à década de 1970, 5 à década de 1980, 13 à década de 1990, 9 à década de 2000 e 9 a partir de 2010 até atualmente. Em relação à amostra coletada, o boom da construção dos edifícios foi entre as décadas de 1970 e 1980.²⁶

O uso misto se destina às edificações com uso comercial (varejos, restaurantes, lojas etc.) com o uso de escritórios (Figura 14).

²⁶ Dados coletados por Politano (2017) no seu trabalho de iniciação científica junto ao projeto da FAP – DF.

Figura 14: uso dos edifícios: escritórios e mistos (comercial e de escritórios)



Fonte: Costa, Politano e Amorim (2017).

Lima (2010) buscou levantar as características da envoltória dos edifícios de escritórios na zona central de Brasília, que incluem: orientação das fachadas principais, tipos de vidro, percentual de abertura envidraçada por orientação, presença e tipos de dispositivos de controle solar e a forma em planta (quadrada, retangular, circular etc.). Esses dados foram registrados em um banco de dados no programa *Access* e serviram como estudo dos setores na Zona Central de Brasília.

No levantamento, a pesquisadora apontou que 40% das fachadas eram inteiramente envidraçadas, com percentual de abertura superior a 75% e 60% das fachadas não tinham proteções solares (sombreamento das aberturas envidraçadas externas). De acordo com a autora, isso acarreta problemas de ganhos excessivos de radiação solar, o que causa o aumento do consumo de energia elétrica para ar-condicionado. Além disso, foi observado que os dispositivos de controle solar não foram desenhados de acordo com a orientação solar (LIMA, 2010).

Para comparar a situação levantada por Lima (2010) com os dados de 2017, foi realizada na primeira etapa, o levantamento *in loco* e através da ferramenta Google Earth (*Street View*) das características morfológicas da envoltória. Os edifícios são registrados utilizando como base o banco de dados comparando-se a mudança do que ocorreu nos dados coletados entre 2010 e 2017 (POLITANO, 2017).

Os elementos registrados são: endereço, formato da edificação (retangular, circular, quadrado, etc), orientação das aberturas e das fachadas principais²⁷, tipos e presença de proteções solares, tipo e cor do vidro da edificação. Além disso, é registrado também o percentual de abertura envidraçada (PAF) em cada fachada e em cada orientação predominante. Após esse registro, realizou-se uma análise comparativa da situação levantada por Lima (2010) e dos dados encontrados em 2017 (Figura 15).

Figura 15: relatório preenchido no programa *Access* do banco de dados desenvolvido por Lima (2010)

The image shows a screenshot of a data entry form for building characteristics. The form is divided into several sections:

- EDIFÍCIO:**
 - Ministério do Desenvolvimento Agrário/Espportes/Cidades
 - SETOR: EMI, CódigoEdifício: 1
 - ENDEREÇO: Esplanada dos Ministérios, bloco A
 - ARQUITETO: Oscar Niemeyer
 - CONSTRUTORA:
 - ANO DE CONSTRUÇÃO: 1960
 - TIPO: Público, FORMA: Retangular
 - NÚMERO DE PAVIMENTOS: 10
 - OBSERVAÇÃO: Fachada Principal envidraçada, fachada oposta com brises
- FACHADA PRINCIPAL:**
 - Orientação: 10S
 - Percentual de Área de Vidro na Fachada: 0%
 - Componente: Não
 - Brise Horizontal: Não
 - Brise Vertical: Não
 - Cor do Vidro: Refletivo Prata
- FACHADA LATERAL DIREITA:**
 - Orientação: 1S
 - Percentual de Área de Vidro na Fachada: 0%
 - Componente: Não
 - Brise Horizontal: Não
 - Brise Vertical: Não
 - Cor do Vidro: ---
- FACHADA LATERAL ESQUERDA:**
 - Orientação: 19S
 - Percentual de Área de Vidro na Fachada: 0%
 - Componente: Não
 - Brise Horizontal: Não
 - Brise Vertical: Não
 - Cor do Vidro: ---
- FACHADA POSTERIOR:**
 - Orientação: 28S
 - Percentual de Área de Vidro na Fachada: 0%
 - Componente: Brise Vertical Móvel
 - Brise Horizontal: Não
 - Brise Vertical: Móvel
 - Cor do Vidro: Incolor
- Processo:**
 - Número Processo:
 - Alvará: 0000000/00
 - Habite-se: 0000000/00
 - CódigoEdifício: 1, CódigoProcesso: 1

At the bottom left, there is a footer: "Desenvolvido por Thais Borges Sanches Lima".

Fonte: Lima (2010).

Para melhor caracterizar os edifícios, os dados preenchidos no relatório do *Access* foram exportados para planilhas no software *Excel*. A Tabela 14 mostra os dados coletados relativos a endereço, número de pavimentos, caracterização do edifício (público ou privado) e nome do edifício.

²⁷ O trabalho de Lima (2010) tinha como foto aspectos estéticos da fachada. Assim, a autora utilizou a nomenclatura “fachada principal” para a fachada voltada para a rua/ acesso principal.

Tabela 14: identificação dos edifícios de escritórios analisados²⁸

ENDEREÇO ATUAL	Nome do Edifício (2010)	Nome Atual Edifício (2018)	Número de Pavimentos	TIPO
SAUN Quadra 3 Bloco A	DNIT - Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transporte	DNIT - Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transporte	6	PÚBLICO
SAUN Quadra 1 Bloco B	DPNM/MME- Departamento Nacional de Produção Mineral/Ministério Minas e Energia	DPNM/MME- Departamento Nacional de Produção Mineral/Ministério Minas e Energia	4	PÚBLICO
SAUN Quadra 1 Bloco D	Edifício Petrobrás	Edifício Petrobrás	10	PÚBLICO
SAUN Quadra 1 Bloco E	Fundação Athos Bulcão/Secretaria da Cultura do GDF	Centro de Dança de Brasília/Secretaria da Cultura do GDF	2	PÚBLICO
SAUN Quadra 05, Lote C	Não havia identificação	OK Centro Empresarial CNC (4 Torres) (Novo Edifício)	17	PRIVADO
SAUN Quadra 5, Lote B	Não havia identificação	Green Towers (3 Torres)	16	PRIVADO

Fonte: Costa, Politano e Amorim (2017).

A compilação dos dados²⁹ consistiu em duas seções: dados gerais (nome do edifício, endereço, setor, habite-se, arquiteto, construtora, ano da construção e/ou da reforma, forma, número de pavimentos) e caracterização da fachada (orientação solar, percentual de área de vidro fachada, tipo de vidro e presença e descrição de dispositivos de proteção solar).³⁰

De posse de todas as informações cruzaram-se os dados para identificar as características predominantes de forma e envoltória dos edifícios de escritórios. Analisaram-se as transformações ocorridas na envoltória e morfologia das edificações entre 2010 e 2017 e os respectivos consumos de energia, em continuidade com a pesquisa anterior (LIMA 2010). Em 2010, havia 135 edifícios privados e 96 edifícios públicos, já em 2017, os edifícios públicos são 141 e os privados 99.

Quanto à morfologia, foram avaliadas a orientação, altura, forma, presença de proteções solares e percentual e características de vidros nas fachadas. Quanto à altura, notou-se que o número de pavimentos não apresentou aumento significativo em relação ao período anterior. Na análise feita, os edifícios de 1 a 4 pavimentos são apenas 32% do total. Identificou-se que a forma predominante dos edifícios é retangular, representando

²⁸ A lista completa dos edifícios se encontra no apêndice desse trabalho.

²⁹ Compilação realizada pelo autor.

³⁰ Esses dados foram coletados e processados pelo autor junto com Politano (2017), em seu trabalho de iniciação científica.

89% dos edifícios estudados. Houve um discreto o aumento de edifícios de forma quadrada de 4% em 2010 para 7% em 2017 (Tabela 15).

Tabela 15: número de pavimentos, forma do edifício e orientação solar da fachada principal

Informação	Tipo	2010	2017
Número de Pavimentos	1 a 4	33%	32%
	5 a 10	31%	30%
	11 a 16	27%	28%
	Maior que 17 (máx. 28)	9%	10%
Forma dos edifícios	Circular	0%	0%
	Irregular	5%	4%
	Retangular	91%	89%
	Quadrada	4%	7%
Orientação Solar da Fachada Principal	18° (Norte)	12%	13%
	108° (Leste)	39%	35%
	198° (Sul)	15%	18%
	288° (Oeste)	23%	22%
	Outros	11%	12%

Fonte: Costa (autor), Politano e Amorim (2017)

Ao analisar a orientação das maiores fachadas (principal e posterior) perceberam-se poucas modificações. Atualmente, 35% das fachadas principais dos edifícios estão orientadas a leste, 18% ao sul, 22% ao oeste e 13% ao norte. A importância do conhecimento das orientações tem relação direta com o ganho solar e o tipo de dispositivos de proteção solar, sendo a fachada mais problemática a oeste (correspondente a 22% das fachadas principais em 2017). Como em quase 90% dos edifícios a orientação é fixa, é possível estabelecer ângulos ideais para sombreamento externo das aberturas envidraçadas.

As projeções dos edifícios de escritórios nas áreas levantadas estão presentes nas Normas de Gabarito de Brasília (NGB) e são fornecidas pela Administração Regional de Brasília. Nestas normas, define-se alturas, projeções (dimensões de largura, altura e comprimento do edifício), afastamentos e projeções dos lotes.³¹

Vale ressaltar que as projeções, orientação e forma das edificações de escritórios na zona central de Brasília estão sujeitos à Lei nº 6.138/2018 de 26 de abril de 2018, que

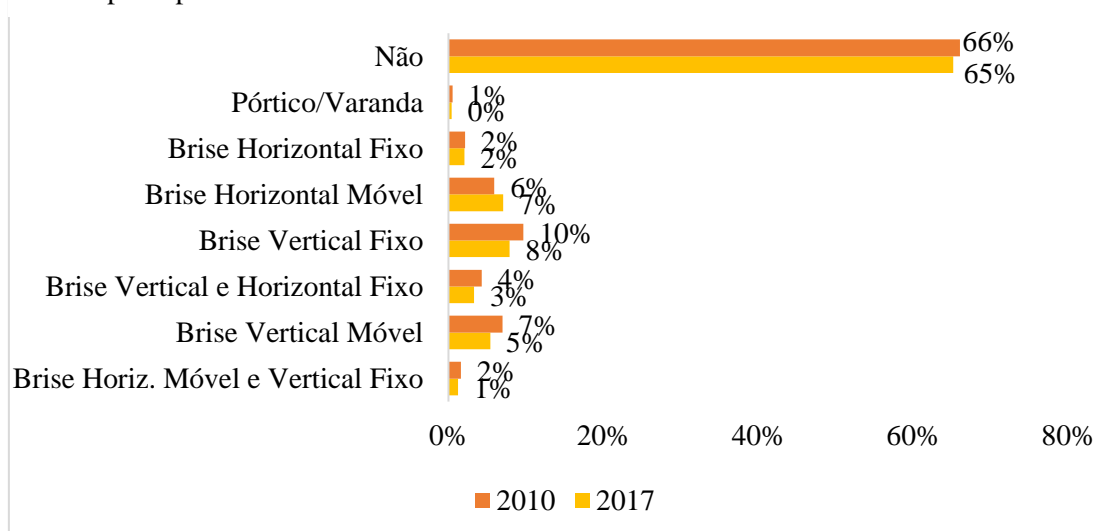
³¹As Normas de Gabarito estão disponíveis em: <<http://www.planopiloto.df.gov.br/2016/07/08/normas-de-gabarito/>>. Acesso: 2 ago. 2018.

instituiu o Código de Edificações do Distrito Federal. Portanto, a forma, as projeções (dimensões dos edifícios) e a orientação não podem ser alteradas, sob pena de multa e sanções. No entanto, essa mesma lei permite a alteração da envoltória, o que inclui a adição de *brises*, beirais e outras saliências fora dos limites das projeções e dos lotes especificados para cada edifício (DISTRITO FEDERAL, 2018).

Analisou-se a presença ou não de dispositivos de proteções solares, classificados conforme mostra a Figura 16. Verificou-se que aproximadamente 2/3 dos edifícios do levantamento não apresentam proteção solar externa. Cerca de um terço dos edifícios contêm *brises* ou pórticos nas quatro orientações (norte, sul, leste e oeste). No entanto, verificou-se que as proteções solares eram adicionadas por questões estéticas e não houve a consideração da orientação solar e o desenho otimizado do sombreamento externo.

Fonte: Costa (autor), Politano e Amorim (2017)

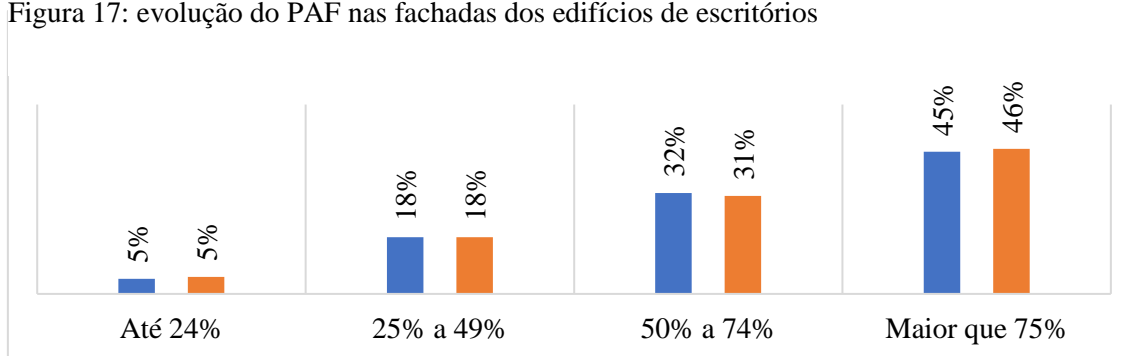
Figura 16: comparação entre 2010 e 2017 dos dispositivos de proteção solar *externa* na fachada principal



Fonte: Costa, Politano e Amorim (2017).

Quanto ao percentual de aberturas (vidros) nas fachadas (PAF) dos 240 edifícios, observaram-se poucas mudanças significativas entre 2010 e 2017. Nota-se que 46% dos edifícios analisados possuem PAF de valor maior que 75% e apenas 18% apresentam o valor considerado ótimo (GOIA, 2016) e Lima (2010) entre 25 e 49%, como mostra a Figura 17.

Figura 17: evolução do PAF nas fachadas dos edifícios de escritórios



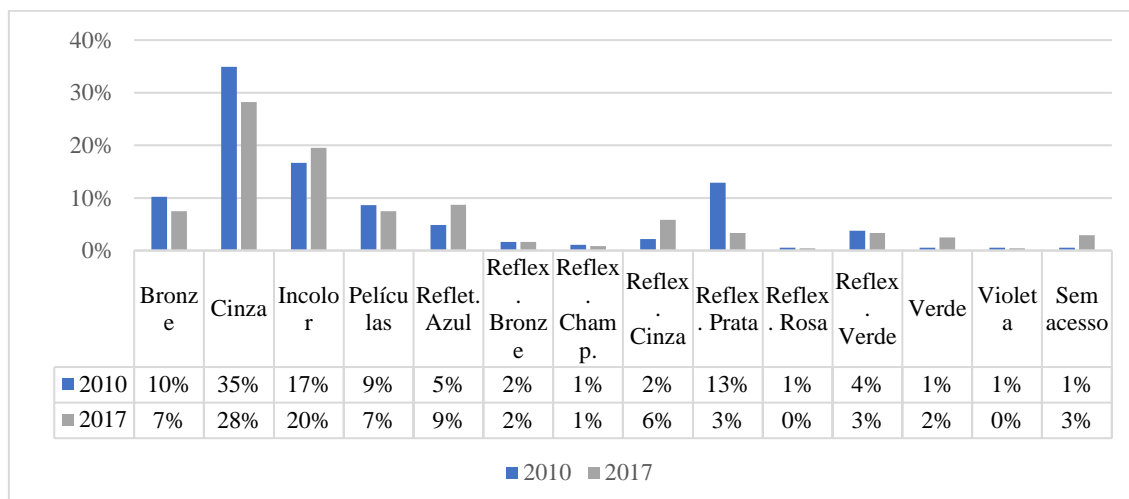
Fonte: Costa (autor), Politano e Amorim (2017)

Em relação ao tipo de vidro, identificaram-se os seguintes tipos: bronze, cinza, incolor, azul reflexivo, bronze reflexivo, Champagne reflexivo, cinza reflexivo, prata reflexivo, verde reflexivo, violeta, verde e sem acesso. Segundo a literatura, os reflexivos têm fator solar de 29.5%, o azul, 60.2%, o incolor, 81.5%, o verde, 60.6%, o bronze, 60.2%, cinza, 58.3%. Os vidros com maior presença nestes edifícios são o cinza, o incolor, bronze e refletivo azul, evidenciando um aspecto problemático ligado ao alto fator solar dos vidros incolor, verde e o bronze, contrário ao recomendado pela Agência Internacional de Energia (2013).³²

Houve poucas modificações entre os tipos de vidro observados por Lima (2010) e nas observações no contexto de 2017. Os vidros mais representativos são o cinza e o incolor, representando 50% das fachadas levantadas. (Figura 18).

³² Por causa da dificuldade de encontrar os dados de fator solar e da transmissão luminosa, os dados coletados foram obtidos por meio de catálogos da Guardian e da CEBRACE a partir de observações em fotos e em visitas in loco e em informações coletadas na tese de Lima (2010). Em trabalhos futuros, espera-se a obtenção de dados mais precisos a serem utilizados nas simulações computacionais.

Figura 18: tipos de vidros levantados nos 240 edifícios de escritórios



Fonte: Costa, Politano e Amorim (2017)

Neste contexto, observou-se pouca mudança em comparação ao que foi observado por Lima (2010) no período anterior a 2017. A preferência por fachadas envidraçadas é frequente e foi iniciada antes de 2010. Além disso, a utilização de dispositivos de proteção solar é escassa, podendo se tratar de uma estratégia a ser utilizada para que os edifícios existentes possam alcançar melhor qualidade ambiental e desempenho energético. O consumo energético médio anual dos edifícios é superior ao de outros edifícios existentes no mesmo clima, segundo outros estudos (AMORIM, 2004), o que indica que não houve grandes avanços em relação à eficiência energética neste caso.

Discute-se a seguir estudos relativos ao consumo energético de escritórios em Brasília e a possibilidade de um edifício de escritório convencional de 4 pavimentos se tornar uma edificação NZEB.

3.7. Consumo energético em edifícios de escritórios em Brasília

Amorim et al. (2004) realizaram oito estudos de caso envolvendo o consumo energético em oito edifícios na zona central de Brasília. Os dados foram coletados por alunos de pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Os estudos de caso de pós-ocupação foram relacionados ao conforto térmico, luminoso e de consumo de energia, incluindo uso final (para iluminação e resfriamento do ar). Os dados compreendem os anos de 2000 a 2002 (Tabela 16).

Tabela 16: consumo de energia em edifícios comerciais em Brasília.

		Consumo de energia (de 2000 a 2002)		
		Média anual kWh/m ² ano	% Resfriamento	% Iluminação artificial
Edifícios públicos	Palácio do Itamaraty	153	30	50
	DNER	150	60	30
	FUNASA	121	45	26
Edifícios privados	Corporate Center	145	65	30
	Ed. Varig	82	48	30
Shopping Centers	Park Shopping	378	35	50
	Brasília Shopping	364	33	52
	Terraço Shopping	427	56	30

Fonte: Amorim et al. (2004)

Observando o consumo energético desses oito edifícios, pode-se concluir que o consumo médio está acima dos edifícios estudados NZEB (faixa entre 25 kWh/m²ano e 100 kWh/m²ano). No entanto, é possível a proposição de melhorias de projeto que busquem a redução do consumo energético nos oito edifícios estudados.

3.8. Simulações termo energéticas no contexto brasileiro

É importante a justificativa das variáveis arquitetônicas avaliadas em um edifício de escritórios NZEB. No Brasil, estudos com foco em edifícios de escritórios de balanço energético nulo são raros. Portanto, os estudos mencionados aqui têm como foco a caracterização e a parametrização de variáveis arquitetônicas que mais influenciam no consumo energético.

Lopes, Cóstola e Abaki (2017) buscaram entender quais variáveis podem influenciar no desempenho energético de um modelo único de ambiente de escritórios em São Paulo utilizando um método de otimização multiobjetiva. Essa análise permitiu uma análise paramétrica dos seguintes elementos: transmitância térmica dos materiais da envoltória, absorvância solar dos materiais da envoltória, fator solar do vidro e elementos de sombreamento. Foi possível verificar uma economia de 9% de energia elétrica com a melhor combinação avaliada desses elementos da envoltória. Os elementos que mostraram maior variação no consumo energético foram a massa térmica e a espessura de blocos de concreto utilizados na pesquisa. No entanto, esse trabalho ficou limitado ao método de avaliação e os autores não apresentaram uma conclusão acerca das proteções solares externas.

Nicoletti (2009) listou variáveis utilizadas pelo RTQ-C que são consideradas durante o processo de etiquetagem e de simulação computacionais focados no âmbito energético

e quais são as suas influências no desempenho energético da edificação. Sua dissertação focou em retrofit energético em um edifício de Ministério em Brasília. Os parâmetros analisados na envoltória foram: PAF, transmitância e absorvância dos materiais.

Lima (2010) considerou como variáveis três tipos de resfriamento do ar (sem ventilação, com ventilação e ar-condicionado), a variação da orientação solar, o fator solar do vidro e o percentual de área envidraçada na fachada (PAF).

Alves et al. (2017) buscaram entender a relação entre o uso do solo, morfologia arquitetônica e o consumo energético em edifícios de escritórios na zona central de Belo Horizonte. Para poder avaliar o consumo energético por uso final (iluminação, resfriamento de ar e uso para equipamentos elétricos de escritórios), os pesquisadores utilizaram variáveis arquitetônicas de extrema relevância por influenciarem diretamente o conforto térmico e luminoso do usuário. As variáveis envolvem tanto características arquitetônicas da envoltória como a disposição dos espaços internos, configuração e uso dos sistemas elétricos dos edifícios. O trabalho funcionou como um grande estudo paramétrico para a cidade de Belo Horizonte. A variação das características arquitetônicas chegou a reduzir em até 50% o consumo energético de energia elétrica final entre a tipologia encontrada nas décadas de 1970 e 1980 com as novas tipologias mais consumidoras, que surgiram a partir da década de 2000.

Para os quatro trabalhos descritos que envolveram o uso de simulação computacional no programa Energy Plus em edificações de escritórios, foram considerados para efeito de simulação, os seguintes parâmetros (do padrão de uso e ocupação):

- densidade de pessoas;
- tipo de ar-condicionado;
- densidade de potência instalada das lâmpadas
- níveis de iluminância requeridas para escritório (500 Lux) de acordo com a norma ISO-CIE 8995-1);
- temperaturas de set-point do ar-condicionado e horários e cronograma de funcionamento;
- horário de funcionamento do escritório;
- densidade de potência instalada dos demais equipamentos (lap-top, impressora etc).

Para avaliação da influência da arquitetura sob o consumo energético, a Tabela 17 faz um resumo das variáveis arquitetônicas discutidas na revisão teórica focada nas

estratégias para obtenção de NZEB e nos trabalhos envolvendo simulações computacionais no contexto brasileiro. Dependendo da combinação dessas variáveis em uma combinação otimizada, a redução no consumo energético foi de até 50% nos trabalhos citados em relação ao pior cenário simulado (consumo mais elevado).

Tabela 17: variáveis arquitetônicas trabalhadas

Variável analisada	Descrição	Autores
Fator Forma	Razão entre a área da envoltória e o volume total da edificação (A_{env}/V_{tot})	Instituto... (2009) Didoné (2014) Voss e Musall (2012)
Forma do edifício	Retangular, quadrada, circular, com pátio interno ou poço de luz etc.	Alves et al. (2017) e Lima (2010)
Fator altura	Razão entre a área de projeção da cobertura e a área total construída (A_{pcob}/A_{tot}), com exceção dos subsolos	Instituto... (2009) Didoné (2014)
Altura	Número de pavimentos	Lima (2010)
PAF	Percentual de área envidraçada na fachada (PAF)	Alves et al. (2017), Lima (2010) e Goia (2016)
FS	Fator Solar do Vidro	Alves et al. (2017) e Lima (2010)
TL	Transmissão Luminosa do Vidro	Alves et al. (2017)
Sombreamento externo	Ângulos de sombreamento externo das aberturas envidraçadas por orientação	Instituto... (2009)
U (W/m^2K)	Transmitância Térmica	Alves et al. (2017) e Lima (2010)
Absortância (α)	Absortância dos materiais da envoltória (paredes externas e telhado)	Alves et al. (2017)
Ventilação natural e noturna	Áreas de abertura (entrada e saída) Amplitude térmica diária Velocidade e direção dos ventos	Chen, Augenbroe, Song (2018) Schulze, Gürlich, Eicker (2018)

Assim, conclui-se que para o contexto brasileiro, as variáveis arquitetônicas mais relevantes no âmbito da eficiência energética em edifícios de escritórios são: fator forma, fator altura, sombreamento das aberturas envidraçadas, fator solar e transmissão luminosa dos vidros e a utilização da ventilação natural.

4. Método

No capítulo 4, é apresentado o método da pesquisa. Com base em pesquisas anteriores nos edifícios de escritórios na zona central de Brasília, descritos no item 3.6, foi criado um modelo representativo do grupo de edifícios de escritórios de 4 pavimentos.

Após o levantamento das características das variáveis arquitetônicas (forma, orientação, envoltória, etc) e do padrão de uso e ocupação do grupo de edifícios de 4 pavimentos, foram feitas simulações e modificações projetuais e/ou técnico-construtivas de forma a definir diretrizes para retrofit de edifícios com características NZEB. Após esse procedimento, foi possível identificar se essas modificações foram suficientes para aproximar o modelo de 4 pavimentos simulado do desempenho energético dos edifícios de balanço energético nulo.

4.1. Levantamento dos edifícios de escritórios em Brasília

O Brasil dispõe de estudos relativos à eficiência energética e ao consumo de energia que vêm sendo desenvolvidos em diversas Universidades como a Universidade Federal de São Paulo, de Santa Catarina, de Minas Gerais, do Rio Grande do Norte e de Alagoas.

Na Universidade de Brasília, quem atua especificamente nessa área é o Laboratório de Controle Ambiental (LACAM). O LACAM, da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo tem subsidiado pesquisas que procuram compreender fatores que aumentam ou diminuem o consumo energético de edificações nos ambientes internos, bem como parametrizar algumas das variáveis para a sua aplicação.

A presente dissertação insere-se na pesquisa em desenvolvimento no LACAM, com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF) é: Iluminação natural e eficiência energética: critérios para intervenção em edifícios não residenciais modernos do plano. Como foco principal:

Os principais questionamentos da pesquisa são: quais os parâmetros de qualidade da iluminação natural (desempenho visual, conforto e vista exterior) e eficiência energética mais significativos? Quais as melhores possibilidades para intervenções de retrofit de edifícios não residenciais modernos em Brasília, considerando o parque

edificado do Plano Piloto³³, equilibrando luz natural e eficiência energética? De que maneira é possível otimizar o projeto de fachadas (aberturas laterais) nestes edifícios, de forma a obter melhor qualidade da iluminação natural, satisfação dos usuários e eficiência energética, preservando as características da arquitetura moderna? (AMORIM, 2016, p. 2).

A metodologia proposta combina métodos e técnicas diversas, envolvendo a avaliação de aspectos qualitativos e quantitativos. Como recorte do trabalho, abordam-se neste capítulo os seguintes itens retirados do projeto de pesquisa:

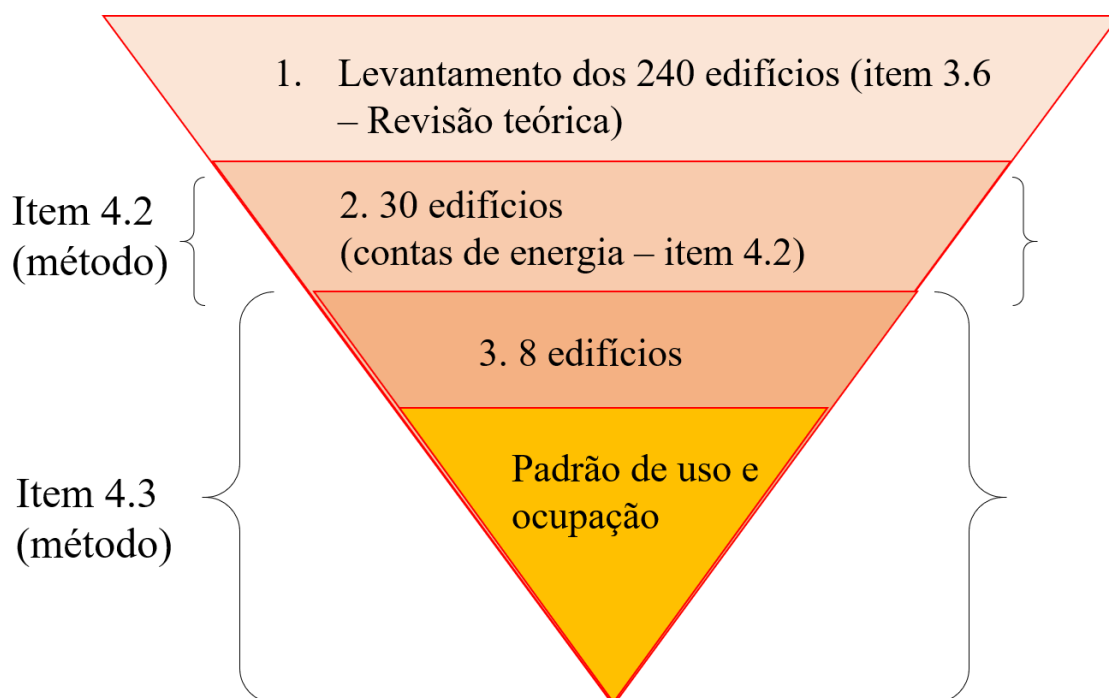
- Caracterização de tipologias de edifícios não residenciais modernos da área central de Brasília;
- Estudo das condições dos edifícios in loco.

Durante a caracterização das edificações na zona central de Brasília, houve o levantamento de 240 edifícios de escritórios realizados por Lima (2010) e Politano (2017) (descritos no capítulo de revisão teórica). Para definir-se o modelo representativo de 4 pavimentos, foi necessário delimitar o universo de 240 edifícios de escritórios (etapa 1).

O primeiro recorte foi o foco nos edifícios públicos. Assim, foram selecionados 30 edifícios públicos para estudos sobre o consumo energético típico (etapa 2). Após esse estudo, foram obtidos dados arquitetônicos de 14 edifícios. Dos 14, oito edifícios foram selecionados pelo autor para estudos de padrão de uso e ocupação dos edifícios (etapa 3). A Figura 19 mostra o processo de recorte da pesquisa.

³³ O Plano Piloto corresponde à área projetada por Lucio Costa. O projeto foi apresentado no concurso de 1957 para a construção de Brasília. Neste trabalho, os edifícios de escritórios levantados estão situados nessa área, correspondente à Zona Central de Brasília.

Figura 19: recorte dos edifícios de escritórios para a realização de estudos de padrão de uso e ocupação

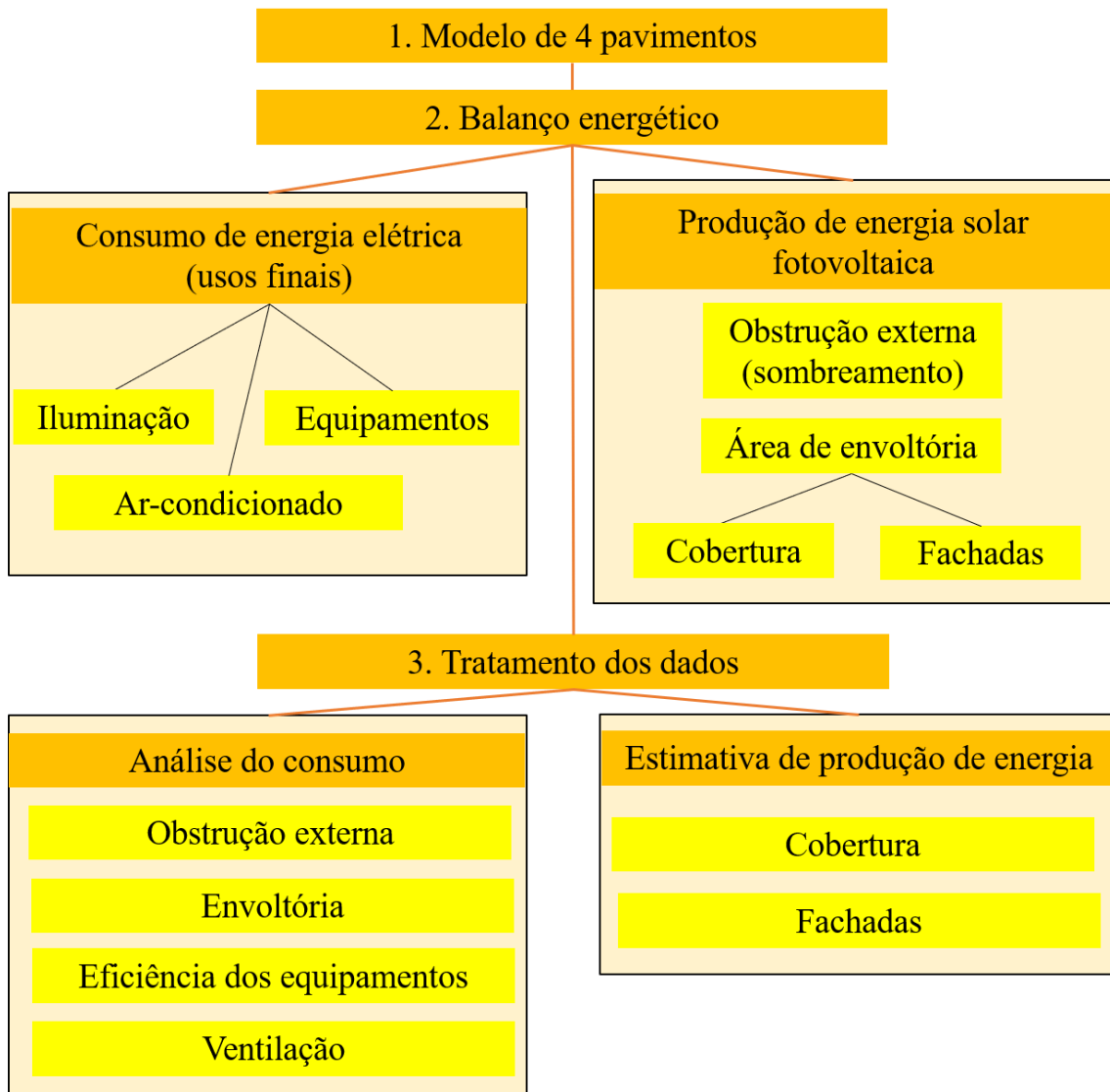


O levantamento serviu como base para a definição do modelo representativo de 4 pavimentos. Após essa definição, foram executadas simulações do consumo energético para os usos finais de iluminação, equipamentos e condicionamento. Neste modelo, também foram realizadas simulações de produção de energia solar fotovoltaica na envoltória (cobertura e fachadas). As simulações foram realizadas para cumprir os objetivos específicos da pesquisa:

- de caracterizar os usos finais de energia elétrica (iluminação, ar-condicionado e equipamentos de escritórios);
- identificar as características arquitetônicas mais influentes no consumo de energia elétrica;
- estimar a produção de energia solar fotovoltaica.

Após a execução das simulações, o balanço entre consumo e produção de energia elétrica é comparado para verificar se a meta NZEB foi atingida. No consumo energético, analisam-se as obstruções externas, a eficiência dos equipamentos, as características de envoltória e a ventilação para verificar a influência no consumo energético. Na produção de energia, é analisada a estimativa de produção de energia com base na área de envoltória disponível no modelo de 4 pavimentos (Figura 20).

Figura 20: fluxograma do método da pesquisa



Busca-se no método proposto alcançar os objetivos propostos de parametrizar as características da envoltória, estimar a produção de energia e identificar os usos finais dos ambientes de escritórios simulados no método proposto. Após o cálculo do balanço energético, definem-se diretrizes para retrofit para a obtenção de edifícios com características NZEB.

Em relação à revisão metodológica, foram encontrados os seguintes temas acerca do tema NZEB e eficiência energética (Tabela 18):

- Bancos pesquisados: Periódicos da CAPES; Science Direct (Elsevier); Scielo, Scribd
- Palavras-chave buscadas: nzeb, eficiência energética, edifícios de escritórios [NZEB, energy efficiency, office buildings]

Com essas palavras-chave, foram encontrados 265 artigos sobre os temas pesquisados no Science Direct, no Google Scholar, 1.500 e cerca de 20 publicações no Scribd. Para filtrar mais a pesquisa, foram adicionados mais termos:

- Bancos pesquisados: Science Direct (Elsevier); Scielo, Scribd;
- Palavras-chave buscadas: nzeb, eficiência energética, edifícios de escritórios, retrofit [NZEB, energy efficiency, office buildings, retrofit]; Building Integrated Photovoltaics (BIPV), orientations, building envelope;
- Como recorte temporal, foram priorizados os artigos entre 2014 e 2018 especificamente sobre o tema NZEB e edifícios de escritórios.

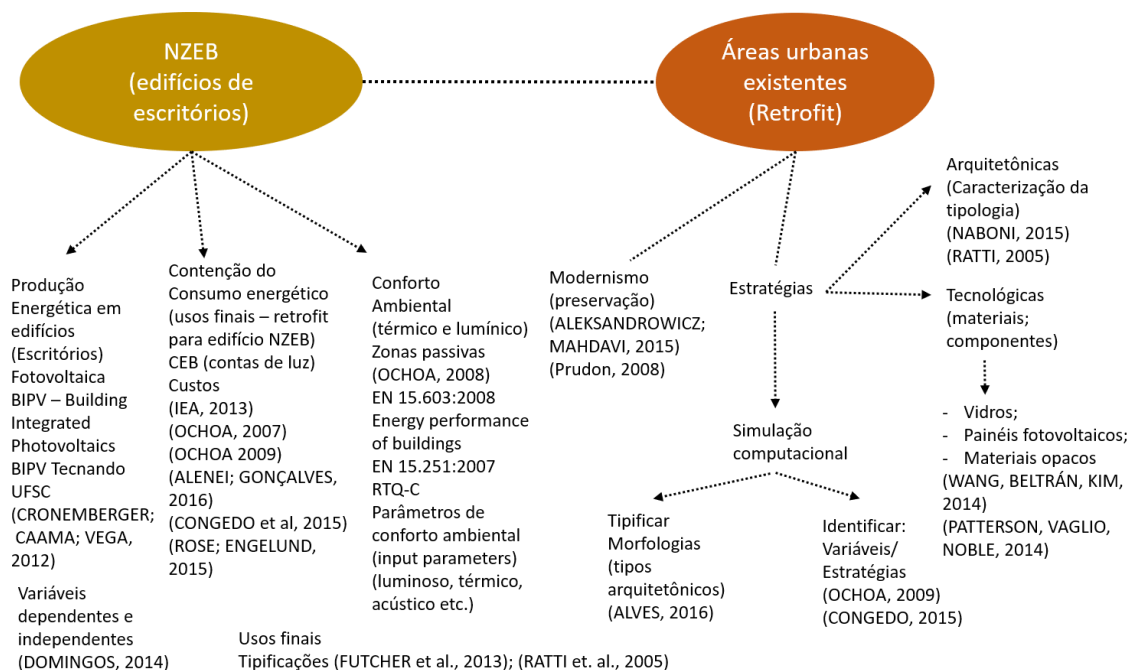
Tabela 18: quantidade de artigos filtrados por tema

Tema	Quantidade de publicações	Publicado em	Ano
NZEB (definição, retrofit, estudos de caso)	14	Energy Procedia RHEVA Journal Energy	2007 - 2016
Contexto urbano (microclima); Morfologia urbana	6	Energy and Buildings IBPSA Energy Policy Teses (UnB; UFSC)	2003 - 2015
Parametrização (simulações termo energéticas)	12	Building and Environment Ambiente Construído ENCAC/ IBPSA Energy and Buildings	2007 - 2016
Recomendações, guias, normas, regulamentos	5	MME/ IEA/ Procel Edifica	2013 - 2015
Caracterização climática; geração de energia (fotovoltaica)	5	ENTAC/ ENCAC	2007 - 2014
Livros (estratégias passivas, ativas – conforto e consumo; nzeb; simulações)	4	Detail Green Books American Solar Heating Society	2010 - 2016
Diagrama morfológico; Iluminação natural	5	Revista Paranoá/ PLEA/ Teses e dissertações (UnB/ UFMG)	2007 - 2016
Total	51		

Os principais periódicos e congressos encontrados relacionados aos termos buscados foram: Energy Procedia, RHEVA Journal, Energy and Buildings, anais dos congressos do PLEA 2017 (Passive Low Energy Architecture) e IBPSA (International Building Performance Simulation Association).

Os tópicos e subtemas de edifício de balanço energético nulo envolvem a contenção do consumo energético, a produção de energia e as estratégias para a manutenção do conforto térmico e lumínico dos usuários. Os três elementos foram trabalhados ao longo do processo de simulação computacional (Figura 21).

Figura 21: mapa mental do tema NZEB em edifícios de escritórios



A partir do mapa mental retirado da revisão teórica, foi possível estabelecer um plano para a execução das simulações computacionais. Como recorte, foram estudados os edifícios de 1 a 4 pavimentos, pela maior possibilidade de atingir o balanço energético nulo.

4.2. Coleta das contas de energia

Com base no recorte de 30 edifícios públicos, os dados de consumo de energia foram coletados. Como recorte, o período coletado foi relativo aos anos entre 2013 a 2017 de 30 edifícios públicos³⁴.

As plantas, seções, elevações, disposições dos ambientes e seus materiais de vedação foram examinados em 8 edifícios, buscando categorizar os tipos diferentes de edifícios públicos. Após a coleta de dados arquitetônicos de 14 edifícios, oito foram escolhidos para estudos de padrões de uso e ocupação dos ambientes internos (escritórios).

³⁴ O recorte foi feito para os edifícios públicos e os dados obtidos de contas e plantas foram solicitados pelo portal da transparência do Distrito Federal. Disponível em: <<http://www.portaltransparencia.gov.br/localidades/DF-DISTRITO-FEDERAL>>. Acesso: 3 jul. 2018

4.3. Estudos de padrão de uso e ocupação e da arquitetura de edifícios públicos na Zona Central de Brasília

Para um melhor entendimento do funcionamento dos edifícios públicos, estudos mais aprofundados foram realizados em oito edifícios públicos de Brasília. Os dados coletados foram plantas baixas, detalhes técnicos das esquadrias, potências dos equipamentos (impressoras, computadores etc.) e dos sistemas de iluminação e de ar-condicionado. Os ambientes internos e as fachadas foram registrados por meio de levantamento fotográfico no local. Os dados coletados foram:

- Contas de energia entre 2013 e 2017 (item 4.2);
- Horários de funcionamento (ano de 2017), dos equipamentos, sistemas de ar-condicionado e de iluminação;
- Dados de área construída total e área útil (condicionada);
- Dados arquitetônicos e de sistemas detalhados em 8 edifícios que incluem: plantas baixas, cortes, fachadas, detalhes técnicos etc
- Informações sobre os sistemas de ar-condicionado e de iluminação (potência, horário de funcionamento).

Em seguida, esses dados foram armazenados em questionários do levantamento realizado nos seguintes edifícios:

- 1) Ministério do Meio Ambiente (Esplanada dos Ministérios);
- 2) Ministério de Minas e Energia (Esplanada dos Ministérios)³⁵;
- 3) Edifício Sede I do Tribunal Regional Federal – Região 1 (TRF – 1) (SAUS);
- 4) Ed. Elcy Meirelles (FNDE – SBS);
- 5) Ed. Centro Oeste (SCS);
- 6) Ed. Infraero (SCS);
- 7) Ed. Embratur (SCN);
- 8) Ed. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM – MME).

A próxima etapa da pesquisa corresponde à realização de simulações computacionais em um modelo representativo do grupo dos edifícios públicos de 4 pavimentos. No próximo capítulo, é descrita a definição desse modelo representativo e a realização das simulações computacionais.

³⁵ Os dados relativos aos edifícios dos Ministérios de Minas e Energia e do Meio Ambiente foram coletados em pesquisas anteriores do LACAM, sob coordenação da Prof^a. Cláudia Amorim.

4.4. Padrões de conforto térmico

Avaliar o nível de conforto térmico é fundamental para o estabelecimento de padrões de conforto ambiental dos edifícios. A ASHRAE 90.1 levou em conta as cartas psicrométricas propostas para cada clima e o voto médio predito (PMV) variando de +3 (para calor) e -3 (para frio), sendo 0 a sensação dos usuários mais próxima ao conforto (MONTEIRO; BITTENCOURT; YANNAS, 2015).

Novos conceitos consideram variações das condições ambientais no ambiente interno. Por meio do conforto adaptativo, os padrões de temperatura considerados confortáveis aumentam a margem do considerado tolerável pelo usuário. Esses novos padrões (ASHRAE 55) fazem com que a ventilação natural seja utilizada ao projetar escritórios, não utilizando somente o ar-condicionado para resfriamento (GONÇALVES; PEREIRA; CAVALERI, 2015).

Um dos principais padrões para se avaliar o conforto adaptativo é a temperatura neutra (T_n). Segundo Griffiths (1991 apud RICCIARDI; BURATTI, 2015, p. 122), esse valor é dado pela :

Equação 1: definição de temperatura neutra

$$T_n = A + B.T_{amb}$$

Sendo $A = 17,6^{\circ}\text{C}$ e $B = 0,314$ e T_{amb} a temperatura de bulbo seco para um ambiente ventilado naturalmente. Essa fórmula transmite parte da ideia da arquitetura da adaptação, na qual o usuário se torna mais tolerante com variações no ambiente (temperatura do ar em um ambiente condicionado naturalmente) em comparação com os padrões determinados pela ASHRAE 90.1. Pela maior tolerância a temperaturas maiores em função da temperatura externa, a ventilação natural foi considerada como uma estratégia de resfriamento passivo.

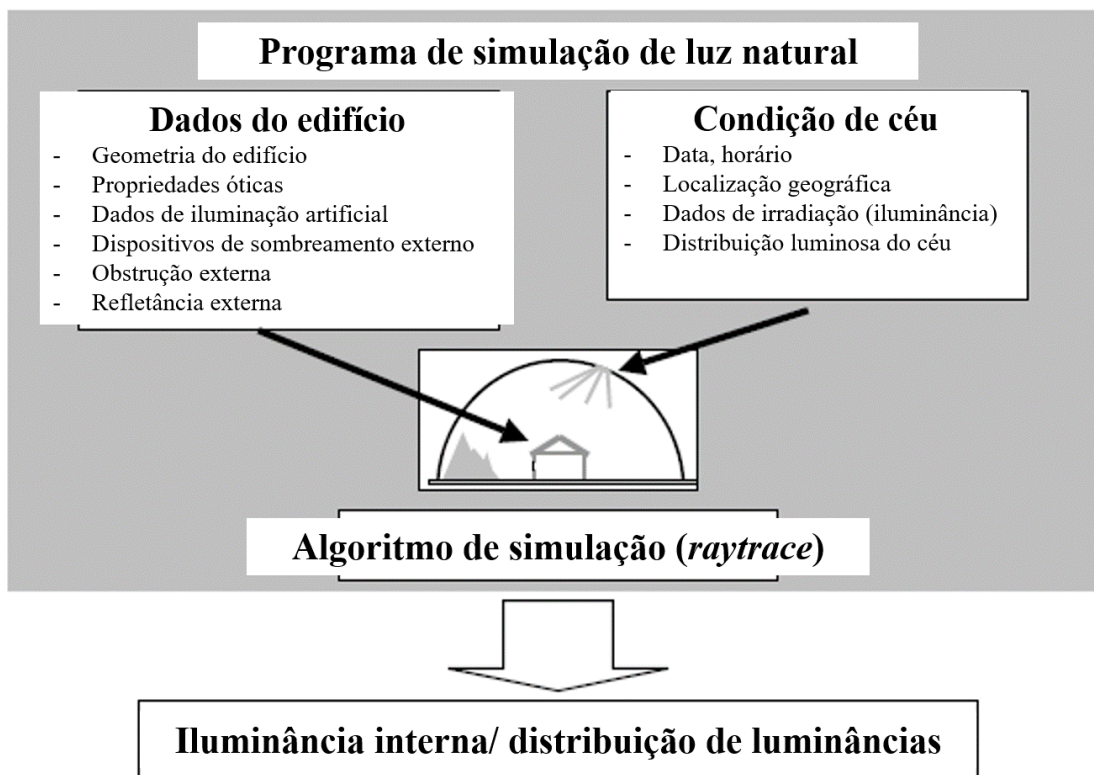
Considerando os valores de temperatura neutra com base nos de temperatura mínima e máxima para o clima de Brasília, descritos no item 3.5, os valores de temperatura neutra se encontram na faixa de 20°C a 25°C . Esse é o valor adotado como padrão de conforto térmico utilizado nas simulações.

4.5. Padrões de conforto para iluminação natural

No âmbito da iluminação natural, Kwok e Grondznik (2007) apresentam o conceito de fator de luz diurna (FLD) que considera a porcentagem entre a razão de iluminâncias em um plano horizontal externa e interna sob o céu encoberto do CIE. Dentre as diversas exigências de luz natural, o LEED estabelece que o FLD se encontre geralmente na faixa de 1,5 a 5% dependendo do tipo de tarefa visual.

No entanto, de acordo com Reinhart (2010), esse conceito já se encontra ultrapassado e outros mais recentes devem ser levados em conta como a autonomia de luz natural e iluminância natural útil levando em conta as ferramentas robustas de simulação. Há ferramentas de cálculo de simulação de luz natural que consideram a variação das condições de céu ao longo do ano, que são: céu limpo, parcialmente encoberto e encoberto (Figura 22).

Figura 22: método de cálculo do programa Daysim



Fonte: Reinhart, 2010.

No *software Daysim*, são trabalhados dois conceitos: a iluminância natural útil e a autonomia de luz natural. A iluminância natural útil se encontra na faixa de 100 e 2000 lux, considerado ideal para a realização de atividades visuais. Já a autonomia de luz natural é o mínimo de horas em um ano, onde o nível de iluminância requerido está acima

do estabelecido em um dado ponto. O consumo energético é dado a partir do mínimo estabelecido pela autonomia de luz natural (REINHART, 2010).

Sendo descritos os padrões estabelecidos de conforto térmico e lumínico, segue a descrição e regulamentação da eficiência dos equipamentos. Tendo em vista que o edifício NZEB deve ter o consumo energético reduzido, porém com os padrões de conforto bem estabelecidos, é importante também a avaliação da eficiência dos equipamentos.

No contexto brasileiro, o RTQ-C estabelece padrões de eficiência para os diversos equipamentos elétricos utilizados nos edifícios comerciais. Os níveis de eficiência abordados no trabalho são para os sistemas de iluminação e ar-condicionado.

4.6. Níveis de eficiência para os sistemas de ar-condicionado

A eficiência do ar-condicionado é medida pelo Coeficiente de Performance (CoP). O CoP pode ser definido tanto para as condições de resfriamento, como para aquecimento (INSTITUTO..., 2009). No entanto, a estratégia de aquecimento artificial não é recomendada para o clima de Brasília.

Segundo a norma ASHRAE 90.1, o CoP é a razão entre o calor removido do ambiente e a energia consumida, para um sistema completo de refrigeração ou uma porção específica deste sistema sob condições operacionais projetadas. Para aquecimento: segundo a norma ASHRAE 90.1, é a razão entre o calor fornecido ao ambiente e a energia consumida, para um sistema completo de aquecimento por bomba de calor, incluindo o compressor e, se aplicável, o sistema auxiliar de aquecimento, sob condições operacionais projetadas. O CoP para os sistemas de ar-condicionado *split* e *fan-coil* são resumidos na Tabela 19.

Tabela 19: níveis de eficiência de ar-condicionado considerando o Coeficiente de Performance

Nível	CoP
A	3,23
B	3,02
C	2,81
D	2,60

Fonte: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (2009)

Nas simulações foram arbitrados os Coeficientes de Performance relativos ao nível “C” para os piores níveis de eficiência e o nível “A” como solução para troca dos equipamentos de ar-condicionado.

4.7. Níveis de eficiência dos sistemas de iluminação

Para medir a eficiência do sistema de iluminação, o RTQ-C apresenta o conceito de densidade de potência iluminação (DPI), que é a razão entre o somatório da potência de lâmpadas e reatores e a área de um ambiente. Os níveis de eficiência são avaliados de acordo com os limites aceitáveis para um determinado uso do ambiente (escritório, sala de aula, refeitório etc) (Tabela 20).

Tabela 20: limites aceitáveis de DPI para ambiente de escritório

Nível	Limite da DPI (W/m ²)
A	9,7
B	11,2
C	12,6
D	14,1

Fonte: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (2009).

Vale ressaltar que há diversas bonificações presentes no Programa Brasileiro de Etiquetagem. Por exemplo, sistemas que detectam a presença do usuário, divisão adequada dos circuitos elétricos e programação dos horários de uso dos diversos equipamentos que compõem o sistema elétrico do edifício são maneiras de diminuir o consumo energético e evitar o desperdício de energia. A seguir, é explicado o processo de definição do modelo representativo dos edifícios de 4 pavimentos.

4.8. Definição dos modelos para simulação

Após a coleta de dados da envoltória e das contas de energia, houve a necessidade de criação de um modelo representativo dos edifícios de escritórios de 4 e de 10 pavimentos. No entanto, as simulações computacionais consideraram como recorte o modelo de 4 pavimentos. O modelo simulado seguiu os trabalhos de Lima (2010) e Alves et. Al (2017) com base nas análises de envoltória, planta baixa, cortes e detalhes técnicos. Os trabalhos citados tiveram a preocupação com o estudo da forma (dimensões dos edifícios), sombreamento externo, análise das características da envoltória (descritos no capítulo de revisão teórica) e do layout dos ambientes internos.

A forma foi determinada com base nos critérios de etiquetagem prescritiva do RTQ-C. Os parâmetros utilizados foram o fator altura, fator forma, altura do edifício, PAF em cada orientação e projeção do edifício (largura x altura). Foi considerada uma altura média de 3,10 m por pavimento para o cálculo da altura das edificações e das áreas das fachadas. A dimensão do modelo representativo de 4 pavimentos foi definida com base na média encontrada do fator forma e do fator altura dos seis edifícios existentes (Tabela 21).

Tabela 21: cálculo para obtenção da forma do modelo de 4 pavimentos

CodigoEdificio	Setor	Número de Pavimentos	Percentual de Área de Vidro na Fachada	FachPrinOrient	Largura (m)	Comprimento (m)	Fator forma (Aenv/Vtotal)	Fator altura (Apcob/Atotal)	
86	SBS	2	60,00%	288	12,8	20,8	0,78	0,5	
144	SAS	4	75,00%	108	50	75	0,21	0,25	
147	SAN	4	80,00%	18	48,5	57	0,24	0,25	
207	SCS	4	70,00%	108	15	20	0,31	0,25	
221	SCS	4	45,00%	288	15	20	0,31	0,25	
256	SCN	4	70,00%	104	30	80	0,28	0,25	
305	SBS	4	50,00%	288	22	35	0,46	0,25	
Média do grupo de 4 pavimentos									
							Fator forma (Aenv/Vtotal)	Fator altura (Apcob/Atotal)	
							0,3698362	0,28571429	

O mesmo procedimento foi realizado para os edifícios de 10 pavimentos, predominantemente composto pelos Ministérios localizados na Esplanada dos Ministérios - EMI (Tabela 22).

Tabela 22: cálculo para obtenção da forma do modelo de 10 pavimentos

CodigoEdificio	Setor	NPAV	FachPrinOrient	PAF	Largura (m)	Comprimento (m)	Fator forma (Aenv/Vtotal)	Fator altura (Apcob/Atotal)
1	EMI	10	108	80%	17	102	0,037	0,1
2	EMI	10	108	80%	17	102	0,037	0,1
3	EMI	10	108	80%	17	102	0,037	0,1
4	EMI	10	108	80%	17	102	0,037	0,1
6	EMI	10	108	80%	17	102	0,037	0,1
7	EMI	10	108	80%	17	102	0,037	0,1
9	EMI	10	108	80%	17	102	0,037	0,1
18	EMI	10	18	80%	17	204	0,037	0,1
21	EMI	10	108	80%	17	102	0,037	0,1
22	EMI	10	108	80%	17	102	0,037	0,1
23	EMI	10	108	80%	17	102	0,037	0,1
25	EMI	10	108	80%	17	102	0,037	0,1
27	EMI	10	108	80%	17	102	0,037	0,1
29	EMI	10	108	80%	17	102	0,037	0,1
31	EMI	10	108	80%	17	102	0,037	0,1
33	EMI	10	108	80%	17	102	0,037	0,1
34	EMI	10	108	80%	17	102	0,037	0,1
35	EMI	10	108	80%	17	102	0,037	0,1
127	SAS	10	108	80%	13	32	0,039	0,1
133	SAS	10	108	80%	15	90	0,037	0,1
148	SAN	10	18	80%	10	50	0,040	0,1
Média do grupo de 10 pavimentos								
					Largura média (m)	Comprimento médio	Fator forma (Aenv/Vtotal)	Fator altura (Apcob/Atotal)
					16,33	100,47	0,036	0,1

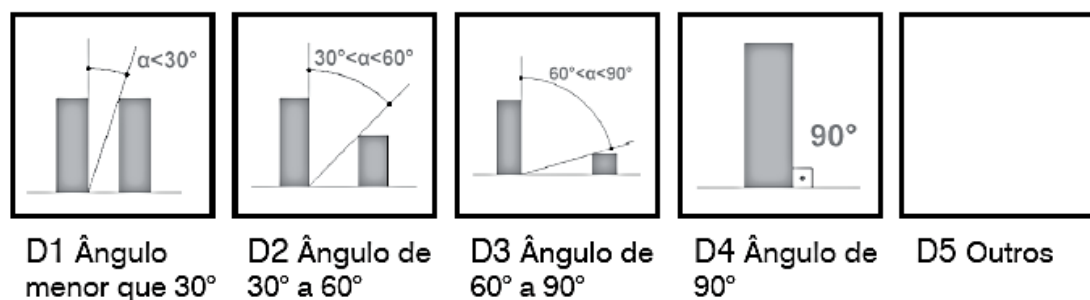
Com base no cálculo do fator forma e do fator altura, foi possível obter a projeção (largura e altura) do modelo representativo do grupo de edifícios de 4 e de 10 pavimentos, com base nas proporções de área exposta e de volume total e na proporção entre área de projeção da cobertura e área total da edificação (Tabela 23). O método prescritivo do RTQ-C não considera as áreas dos subsolos. A projeção escolhida corresponde à projeção real que mais se aproxima da média obtida do Fator Forma e do Fator Altura encontrados dos edifícios de 4 e de 10 pavimentos (Tabela 23).

Tabela 23: projeções adotadas nos modelos simulados

Modelo	Largura média (m)	Comprimento médio	Fator forma (A_{env}/V_{total})	Fator altura ($A_{p cob}/A_{total}$)
4PAV	30	30	0,3600	0,413333
10PAV	17	102	0,037276	0,1

Além, disso os edifícios do entorno foram considerados na modelagem dos cenários de acordo com cada orientação de fachada. Os ângulos de obstrução externa dos modelos de 4 e de 10 pavimentos foram obtidos por meio do Ângulo Máximo de Incidência do Sol nas Fachadas dos dois grupos de edifícios de 4 e de 10 pavimentos com base no Diagrama Morfológico (Figura 23). A ferramenta do Diagrama Morfológico é uma ferramenta para avaliação de luz natural nos três níveis do edifício (urbano, envoltória do edifício e ambiente interno) (AMORIM, 2007).

Figura 23: Ângulo Máximo de Incidência do Sol na Fachada do edifício com base no Diagrama Morfológico



Fonte: Amorim (2007).

Nos edifícios de 4 pavimentos, as fachadas com maior obstrução são a Norte e a Sul, seguida da Oeste. A fachada leste é a que recebe maior insolação, de acordo com o instrumento do Diagrama Morfológico (Tabela 24).

Tabela 24: Ângulo Máximo de Incidência do Sol nas Fachadas dos edifícios de 4 pavimentos

Frequência por fachada	Norte	Sul	Leste	Oeste
$a < 30^\circ$	5	5	2	4
$30^\circ < a < 60^\circ$	0	2	2	3
$60^\circ < a < 90^\circ$	3	1	4	1
Total de edifícios com 4 pavimentos				8

Nos edifícios de 10 pavimentos, há pouca influência de sombreamento por parte dos edifícios do entorno (Tabela 25).

Tabela 25: Ângulo Máximo de Incidência do Sol nas Fachadas dos edifícios de 4 pavimentos

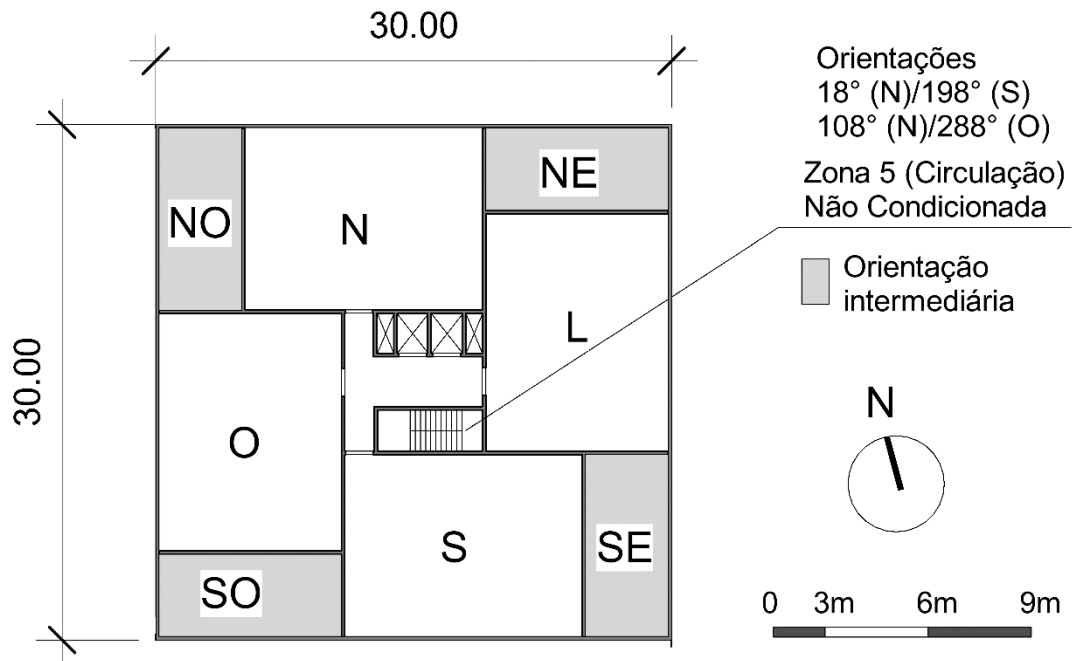
Frequência por fachada	Norte	Sul	Leste	Oeste
$a < 30^\circ$	0	0	2	4
$30^\circ < a < 60^\circ$	1	1	1	1
$60^\circ < a < 90^\circ$	19	19	19 (65°)	19 (65°)
Total de edifícios com 10 pavimentos				20

Após a obtenção das projeções e da análise dos Ângulos Máximos de Incidência do Sol nas Fachadas, foram analisadas plantas baixas de 8 edifícios representado o grupo de 4 e de 10 pavimentos. A profundidade, largura e a posição das aberturas laterais (janelas) foram analisadas.

4.9. Descrição dos modelos representativos de 4 e de 10 pavimentos

No modelo de 4 pavimentos, os ambientes foram divididos por zonas térmicas têm a foram divididas de acordo com a orientação solar. Os ambientes possuem mesma profundidade (mesma relação entre altura da janela e largura do ambiente). A circulação de escadas e de elevadores se localizam no centro do edifício. As zonas com orientação intermediária não foram consideradas na análise por terem duas orientações solares (Figura 24).

Figura 24: zoneamento térmico do modelo de 4 pavimentos



No grupo de 10 pavimentos, há apenas duas orientações (108°L/288°O). As orientações intermediárias compreendem copa, cozinha, banheiros e elevadores privativos. Os elevadores se encontram dentro do edifício e as caixas de escada são externas (Figura 25). O quadro de áreas está descrito na Tabela 26.

Figura 25: zoneamento térmico do modelo de 10 pavimentos

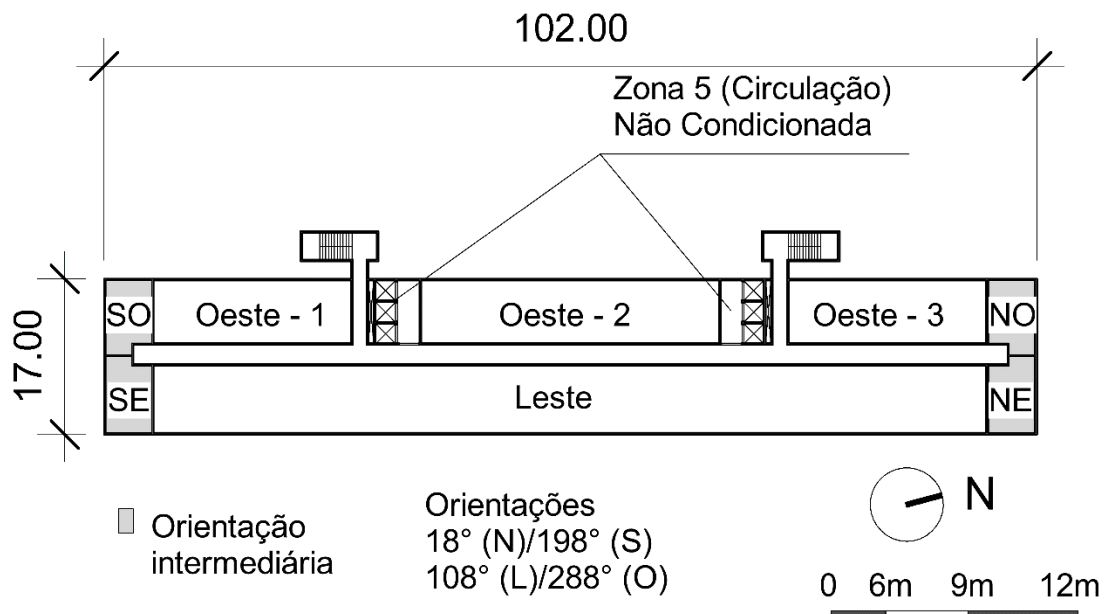


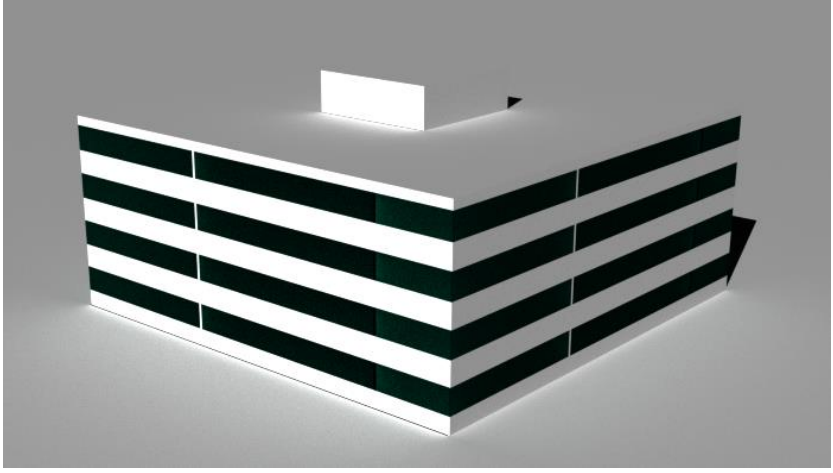
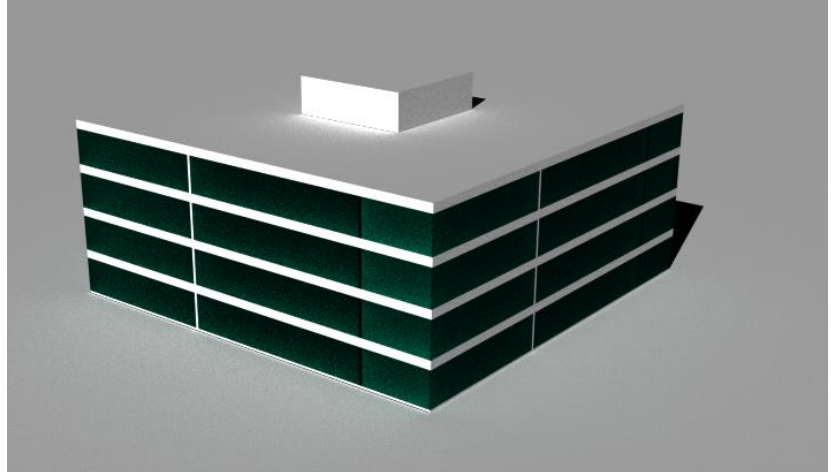
Tabela 26: Quadro de áreas por zonas térmicas

Área por zona térmica	4 Pavimentos	10 pavimentos
Zona	Área (m ²)	
Circulação vertical	70	85,97
Corredor/ elevadores	-	235,54
L	146	693
S	146	-
O	146	153 (Oeste 1)/ 229 (Oeste 2)/ 152 (Oeste3)
N	146	-
Orientação intermediária NO	54	42
Orientação intermediária SO	54	41
Orientação intermediária SE	54	44
Orientação intermediária NE	54	45
Área condicionada	800	1399
Área total por pavimento	900	1720,51

Fonte: autor a partir dos modelos criados.

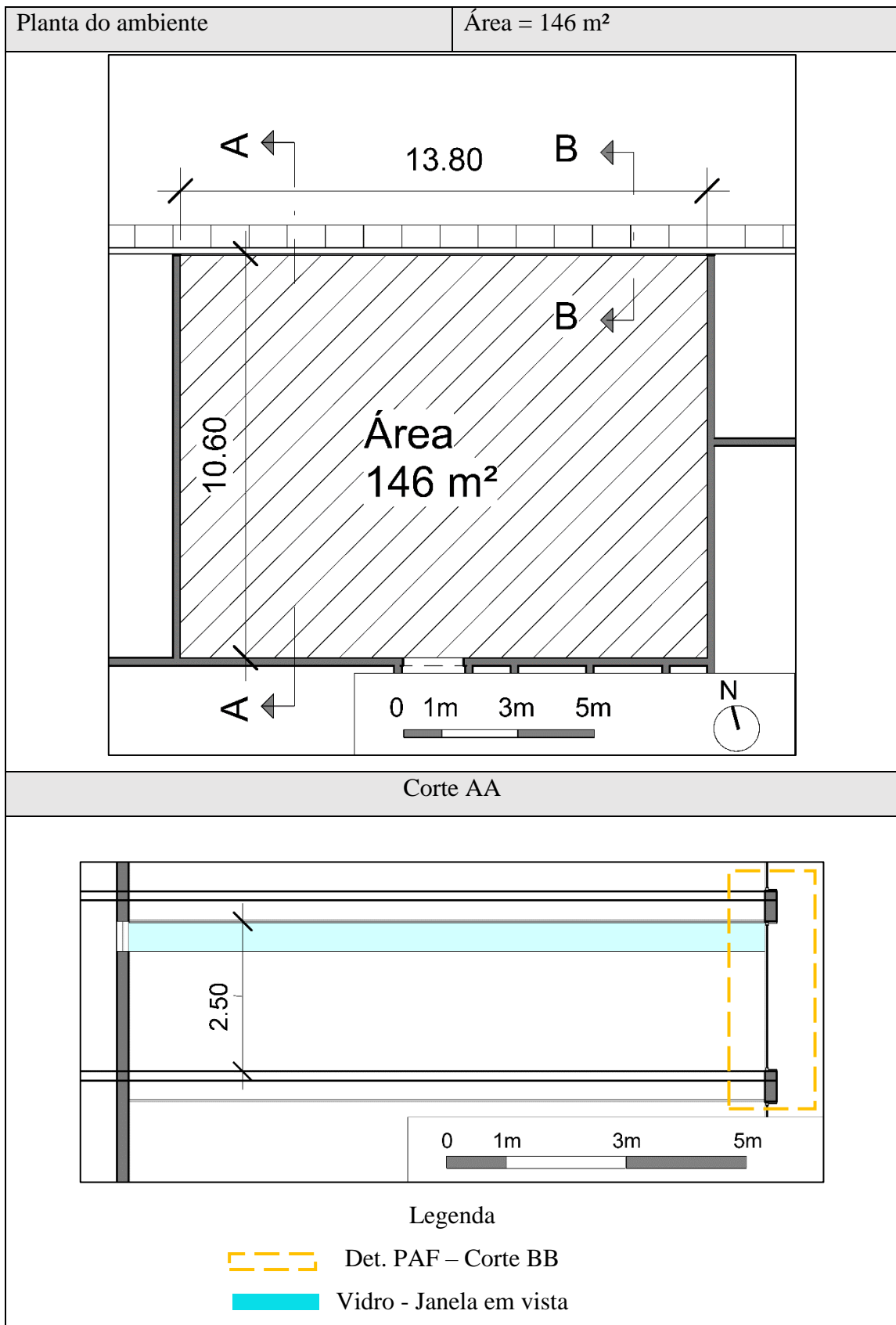
No modelo de 4 pavimentos, foram arbitrados dois Percentuais de Abertura nas Fachadas (PAF): 50% e 80%. O objetivo é de testar as duas configurações encontradas no levantamento in loco. Nos edifícios de 10 pavimentos, o PAF foi configurado para 80% com base nos projetos colhidos (Tabela 27).

Tabela 27: modelagem das aberturas para o modelo de 4 pavimentos

PAF	
50%	
80%	

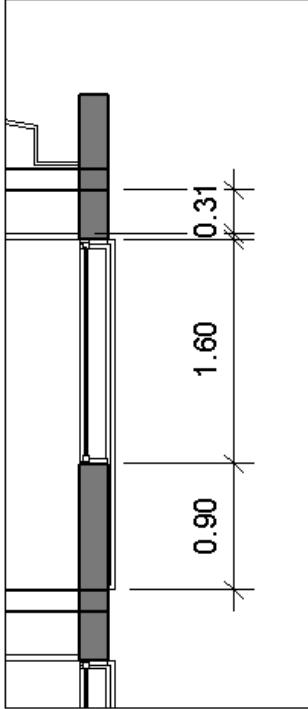
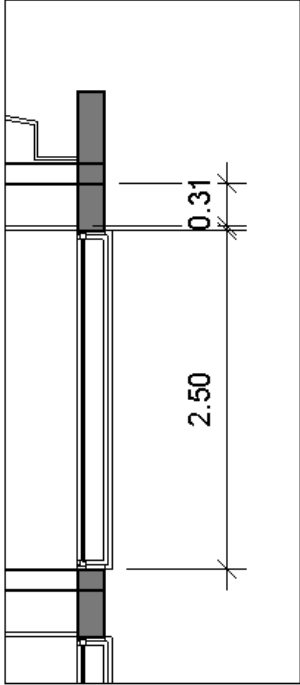
No modelo de 4 pavimentos, os ambientes simulados têm dimensões de 10,60 m de largura por 13,80 m de comprimento. O ambiente possui altura de 2,50 m com abertura lateral (janela) ao longo do comprimento do ambiente interno de escritório (Tabela 28).

Tabela 28: detalhes dos ambientes de escritório simulados



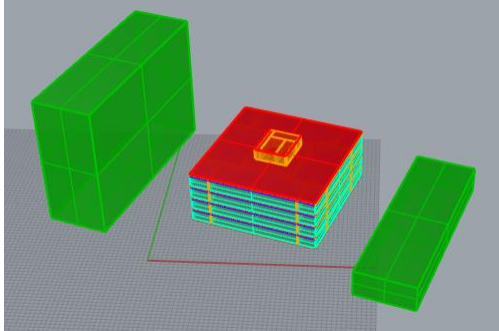
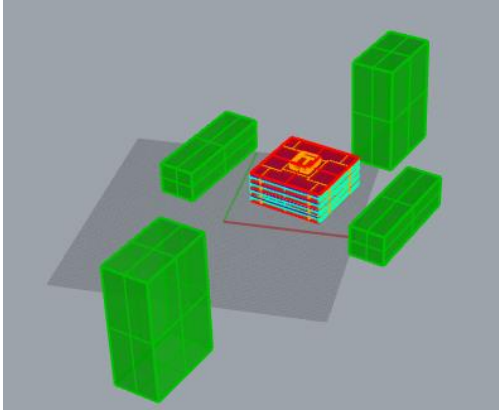
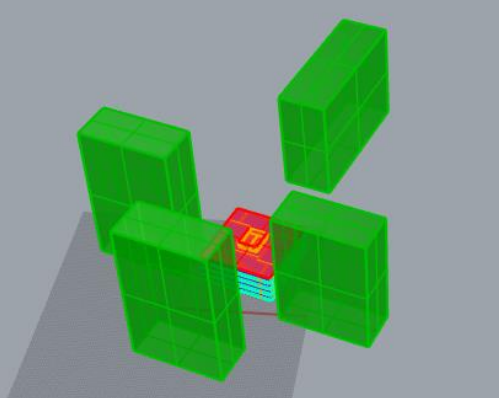
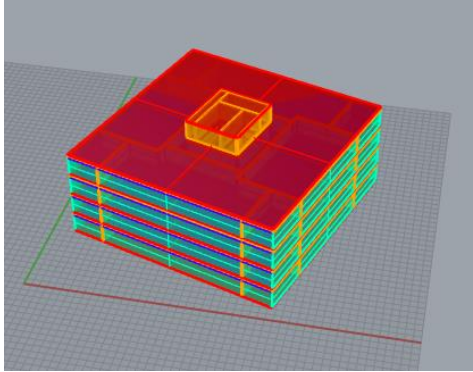
Na Tabela 29 são dispostos os detalhes das esquadrias externas para os cenários com PAF 50% e PAF 80%.

Tabela 29: Detalhe das esquadrias externas com PAF 50% e PAF 80%

Detalhe das esquadrias externas (PAF)	
PAF 50% (Corte BB)	PAF 80% (Corte BB)
	

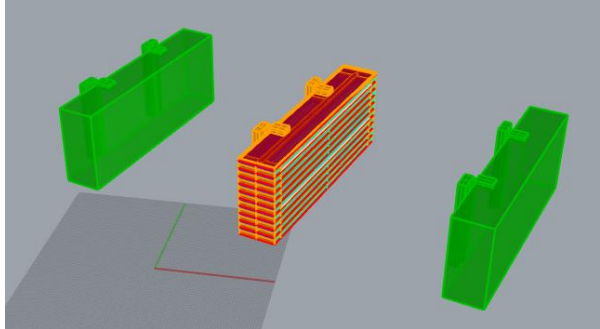
Em seguida, foram determinados os cenários com as obstruções externas dos modelos simulados. Os edifícios em torno do modelo de 4 pavimentos foram modelados de forma a contemplar as combinações diferentes de obstrução por fachada e por orientação (Tabela 30).

Tabela 30: configuração do modelo de 4 pavimentos com as obstruções externas

Cenários- Ângulo Máximo de Incidência do Sol na Fachada do edifício	Modelo de 4 pavimentos
1) N(90°)/S(90°)/ L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	
2)N(19°)/S(60°)/ L(57°)/O(57°) (SCS)	
3) N(25°)/S(29°) L(18°)/O(8°) (SBS)	
4) Sem obstrução (modelo teórico)	

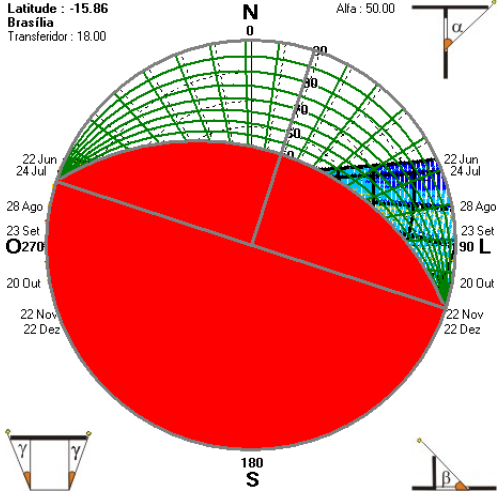
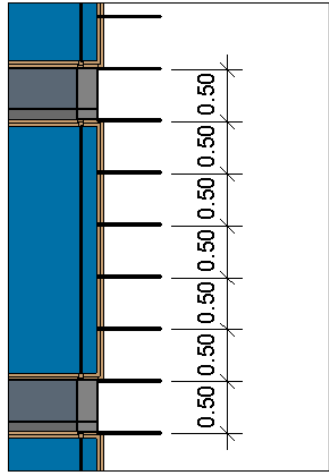
Na Esplanada dos Ministérios, a configuração predominante se aplica a 80% dos casos do modelo criado de obstrução externa (Tabela 31).

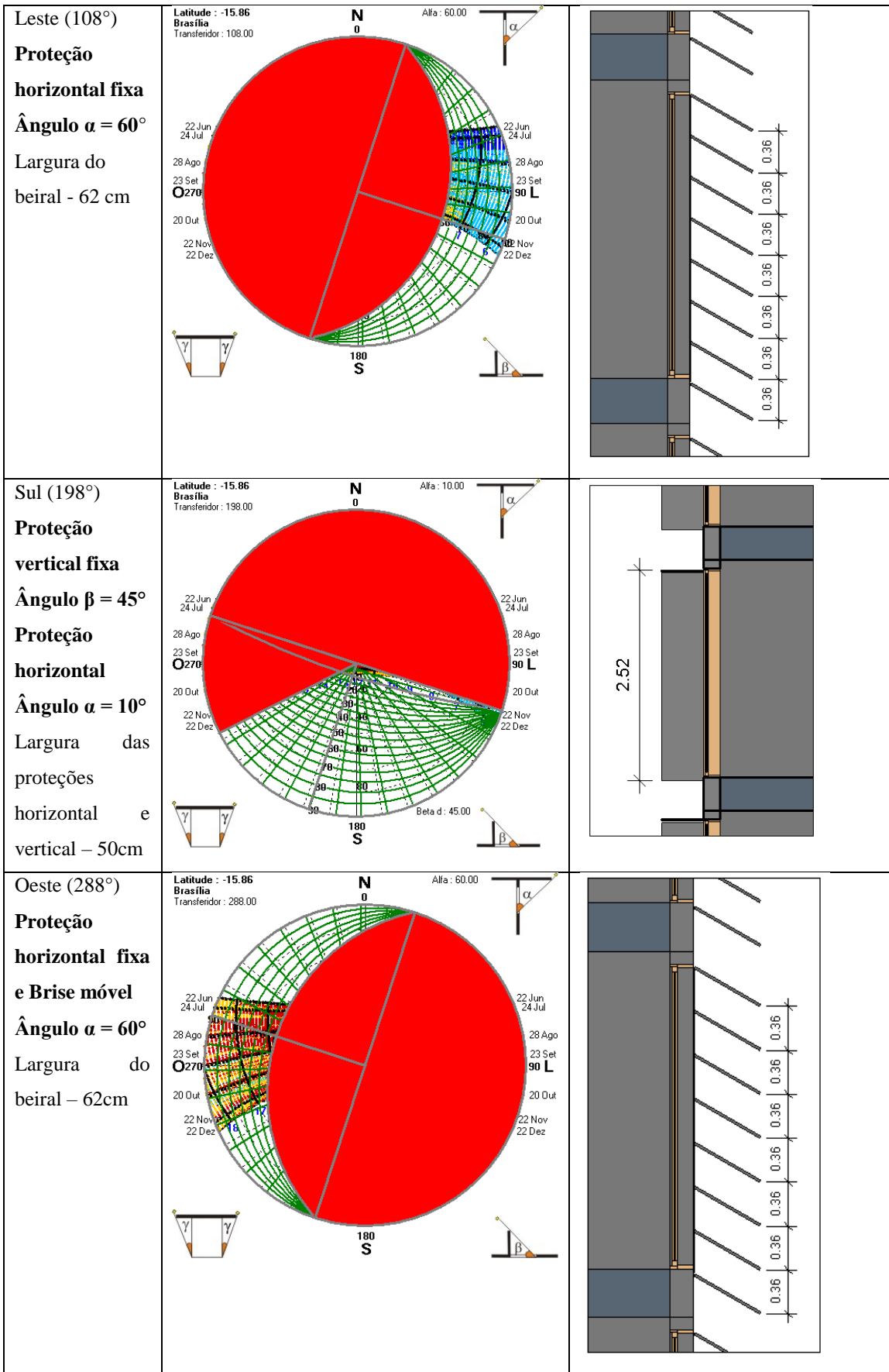
Tabela 31: configuração do modelo de 10 pavimentos com as obstruções externas

Cenários- Ângulo Máximo de Incidência do Sol na Fachada do edifício	Modelo de 10 pavimentos (Ministérios)
1)N(90°)/S(90°)/ L(65°)/O(65°) (SAUS/SAUN/EMI)	

Em seguida, foram desenhadas proteções solares para as aberturas do modelo de 4 pavimentos (Tabela 32). O objetivo é bloquear a radiação solar direta para as horas mais quentes do dia. O sombreamento ocorre pelo período da manhã a partir de 9h 30 e no início da tarde entre 13 h e 16 h. As proteções solares são fixas em todos os casos simulados. Não foram desenhadas proteções solares para o modelo de 10 pavimentos.

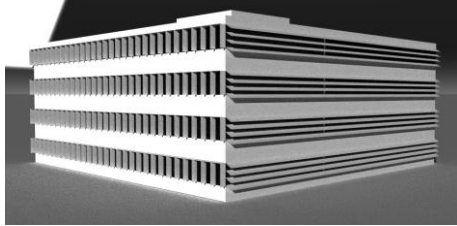
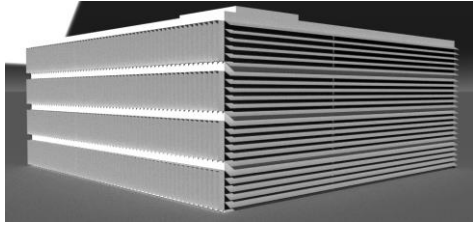
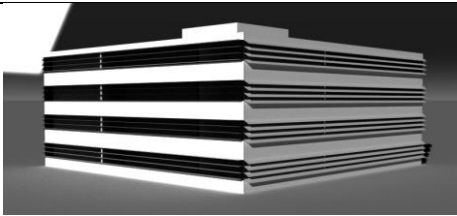
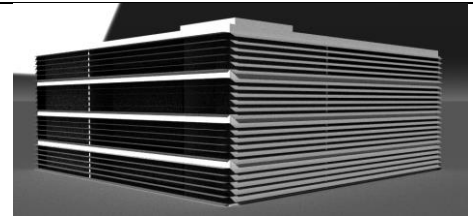
Tabela 32: proteções solares para o modelo de 4 pavimentos

Proteções solares	Máscara de sombreamento	Desenho da proteção solar
Norte (18°) Proteção horizontal fixa Ângulo $\alpha = 50^\circ$ Largura do beiral – 60cm	Latitude : -15.86 Brasília Transfêndor : 18.00 Alfa : 50.00 	



Como recomendação para o clima de Brasília, descrita no item 3.5, houve a adição das proteções solares das áreas envidraçadas. É importante mencionar que as proteções solares foram consideradas como área produtora de energia solar. A Tabela 33 mostra as vistas das fachadas do modelo de 4 pavimentos com proteção solar para os valores de PAF 32% e 50%.

Tabela 33: vistas das fachadas com a proteção solar com PAF 32% e PAF 50%

Vistas	PAF 32%	PAF 50%
Fachadas Leste e Sul		
Fachadas Norte e Leste		

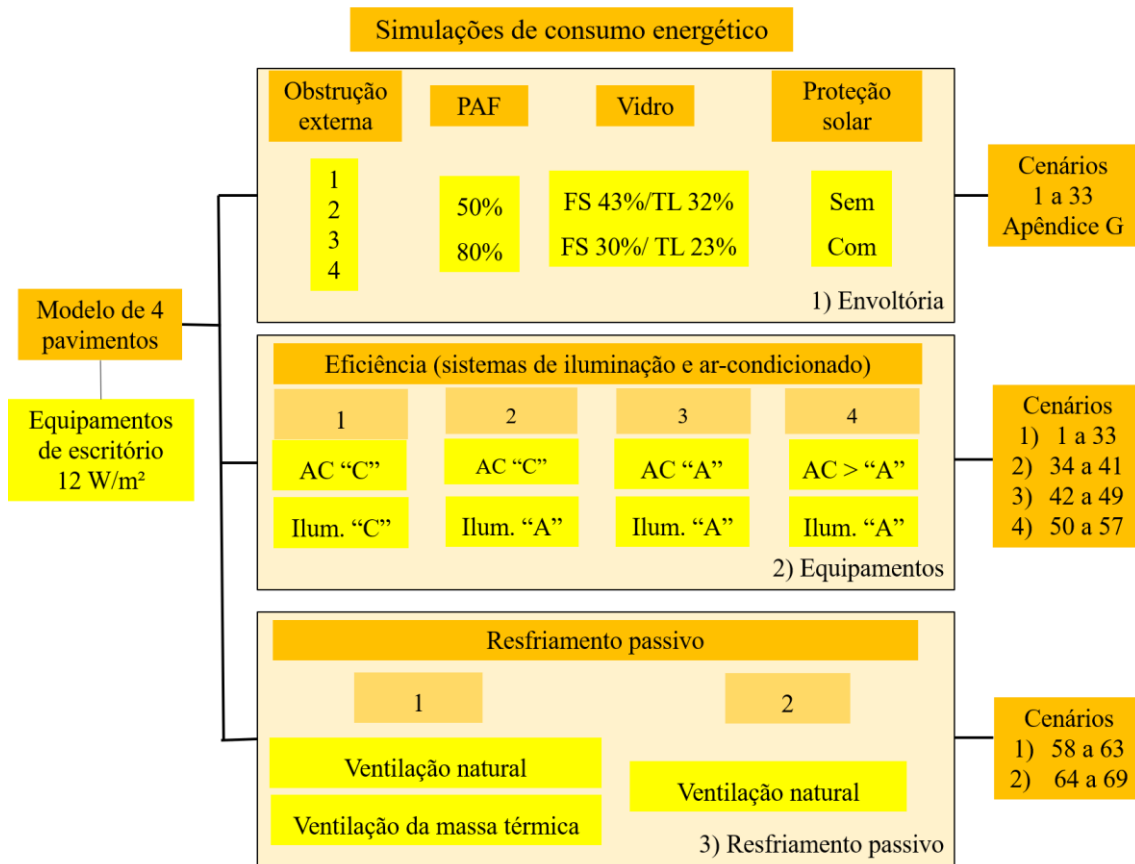
Cerca de 30% dos edifícios examinados são de baixa altura (até 4 pavimentos) em Brasília (LIMA, 2010), o que facilita a transformação para edifícios de balanço energético nulo (DIDONÉ, 2014). Portanto, as simulações realizadas deram recorte aos edifícios de 4 pavimentos pela maior área da cobertura disponível em relação à altura. O modelo obtido de 10 pavimentos será objeto de pesquisas futuras.

4.10. Variáveis arquitetônicas simuladas e quantidade de simulações

As variáveis arquitetônicas foram escolhidas e arbitradas com base nos dados obtidos no levantamento *in loco* e nas recomendações retiradas da revisão teórica. No total foram modelados 69 cenários. Nos cenários 1 a 33, as variáveis de envoltória incluíram: obstrução externa, PAF, orientação da fachada, fator solar e transmissão luminosa do vidro e presença ou não de proteção solar.

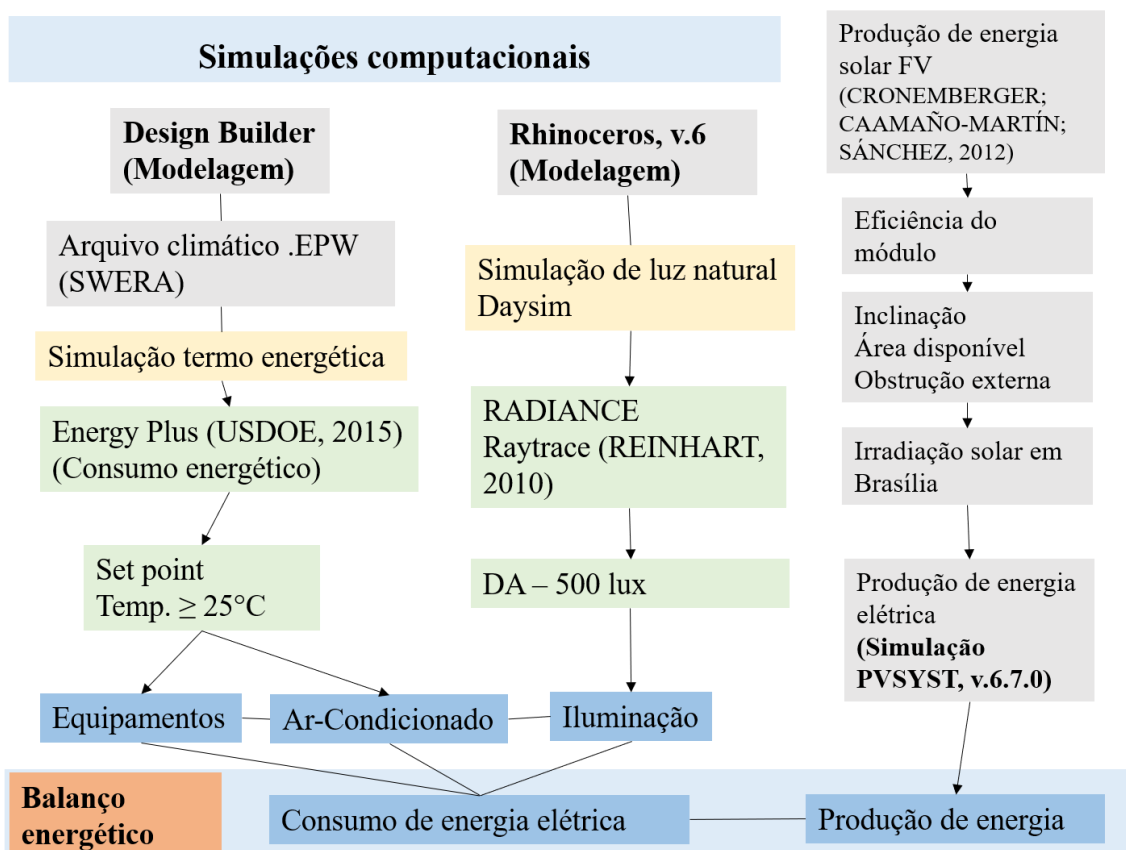
Nos cenários 34 a 57, foi melhorada a eficiência dos sistemas de ar-condicionado e iluminação com redução da densidade de potência instalada de 12 W/m² para 9 W/m². No sistema de ar-condicionado, o CoP simulado foi 2,80 (nível “C”) nos cenários de 1 a 41. Nos cenários 42 a 49, o CoP escolhido foi 3,50 e nos cenários 50 a 69, o CoP simulado foi 4,50. Nos cenários 58 a 69, foram utilizadas a ventilação natural e da massa térmica como estratégias de resfriamento passivo (Figura 26).

Figura 26: variáveis analisadas nas simulações de consumo energético



As simulações de consumo energético estão divididas em duas etapas: as simulações termo energéticas (usos finais de equipamentos e ar-condicionado) e as simulações de luz natural para o cálculo de consumo de iluminação artificial. A modelagem foi realizada no software *Design Builder*, v.5.4 e o cálculo termo energético foi realizado no *Energy Plus*, v.8.4. Já as simulações de luz natural foram realizadas no Daysim. O resultado obtido foi o consumo de energia elétrica para os usos finais de ar-condicionado, iluminação e equipamentos. O programa PVSYST, v.6.7 foi realizada para o cálculo de produção de energia solar fotovoltaica (Figura 27).

Figura 27: esquema das simulações de consumo de energia elétrica final e de produção de energia



Os programas utilizados para a execução de simulações computacionais de consumo energético e produção de energia são consolidados e utilizados pelos autores citados nos capítulos 0 e 0. A seguir são descritas as simulações computacionais no programa *Design Builder*.

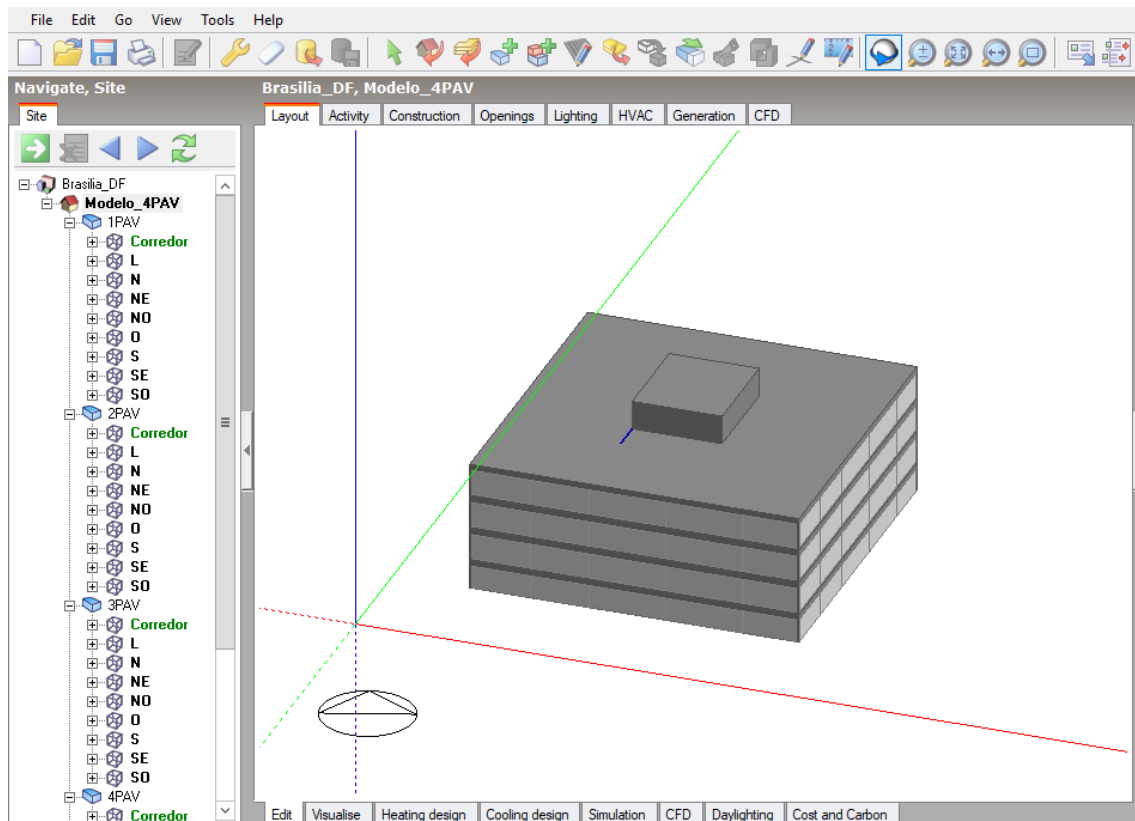
4.11. Simulações de consumo energético (uso final para ar-condicionado e equipamentos)

No programa *Design Builder*, foram definidas as zonas térmicas, padrões de ocupação interna, como horário de funcionamento, densidade de cargas instaladas (pessoas, equipamentos e sistemas de iluminação) e as propriedades térmicas dos materiais. O *Design Builder* realiza a interface entre a modelagem e o cálculo no programa *Energy Plus*, v.8.4 (Figura 28).

O *Energy Plus* é um software para dimensionamento de sistemas de climatização e que permite analisar o desempenho energético de edifícios. Por meio da inserção de dados característicos da edificação, o *software* é capaz de avaliar a capacidade requerida tanto

para aquecimento como para resfriamento, realizar balanços de energia e efetuar simulações ao longo do ano. A vantagem desse programa é que os cálculos termo energéticos são realizados a partir de dados climáticos do local disponíveis em formato de arquivos no formato EPW.

Figura 28: modelagem no programa Design Builder

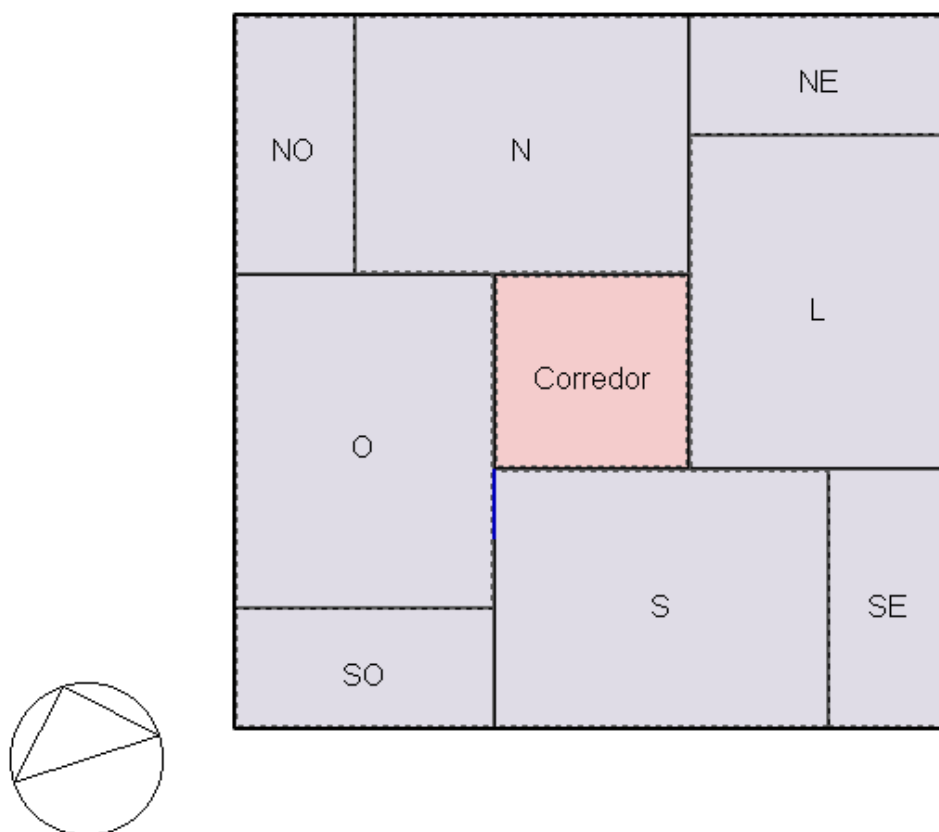


Após a modelagem da volumetria, foram definidas quatro zonas térmicas divididas de acordo com as orientações solares norte, sul, leste e oeste. As zonas NO, NE, SE e SO não foram analisadas em virtude da grande quantidade de dados e variáveis analisadas.

Na Figura 29, a zona em vermelho corresponde à área de circulação: corredor e elevadores. As outras zonas foram configuradas como ambientes de escritórios, correspondendo às zonas em cinza claro.

Os resultados obtidos foram do 2º pavimentos (intermediário) e do 4º pavimento (cobertura). O objetivo foi analisar a diferença de consumo para ar-condicionado nos dois pavimentos simulados. Como as edificações de quatro pavimentos têm uso misto, o primeiro pavimento não foi analisado. Além disso, o primeiro e o terceiro pavimentos foram modelados como os demais.

Figura 29: zonas térmicas do modelo de 4 pavimentos



Assim, com a verificação de critérios, regulamentações e dados climáticos, é possível estimar as necessidades energéticas do edifício no seu estado atual (DUARTE, 2014).³⁷ Na Tabela 34 estão dispostos os dados simulados de ocupação interna e os padrões de uso para o modelo de 4 pavimentos. O arquivo climático utilizado foi o Brasília_2016.SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*) presente no formato .EPW. Para efeitos de comparação, o horário adotado é de 8 h às 19 h (horário comercial) de segunda à sexta-feira nos ambientes simulados, mesmo que haja divergências nos horários de funcionamento entre os oito edifícios públicos analisados.

³⁷O programa *Energy Plus* e os arquivos climáticos são utilizados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e está disponível em <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/> (acessado em 9/9/2015). Os arquivos climáticos brasileiros mais atuais estão na página do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina em: <http://www.labee.ufsc.br/> (acessado em 5/10/2017).

Tabela 34: padrões de uso e de ocupação interna do modelo de 4 pavimentos

Padrões de uso		Referências	Observações
Horário de funcionamento	8h às 19h (Segunda à Sexta)	Levantamento in loco	Edifícios ligados aos tribunais e Ministérios (13h às 19h)
Ocupação média	10,00m ² /pessoa	Levantamento in loco e dos projetos	
Iluminação	12W/m ² (Fluorescente T8 e T10) – Etiqueta “C” – RTQ-C - IEA 9 W/m ² (Etiqueta “A”) - LED 8:00 – 19:00	Levantamento in loco (projeto) RTQ – C (2010)	Sistemas utilizados: Lâmpadas fluorescentes Sistemas LED
Equipamentos	12 W/m ² 8:00 – 19:00	Levantamento in loco e no projeto	Consumo energético anual (28,6 kWh/m ² ano)
Ar-condicionado (pot. Média) 24.000Btu/h a 40.000 Btu/h Split e Fan-coil	42W/m ² a 178W/m ² Setpoint de 25°C Adotado: 128W/m ² (sistema Split) CoP: 2,80 “C” CoP: 3,50 “A” 8:00 – 19:00	Levantamento in loco e no projeto RTQ – C (2010)	Na maior parte, utilizam-se splits Ar-condicionado central

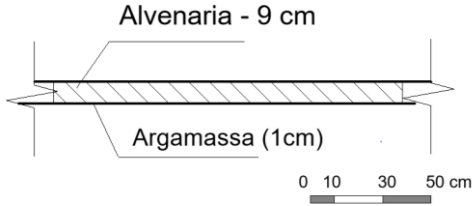
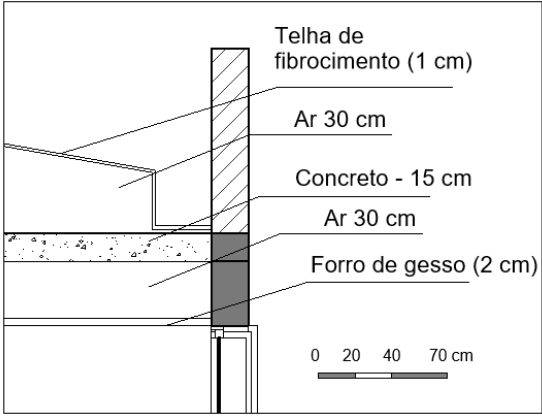
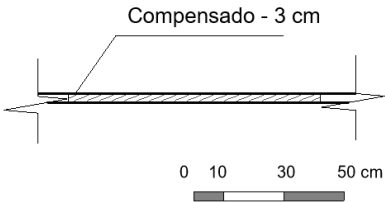
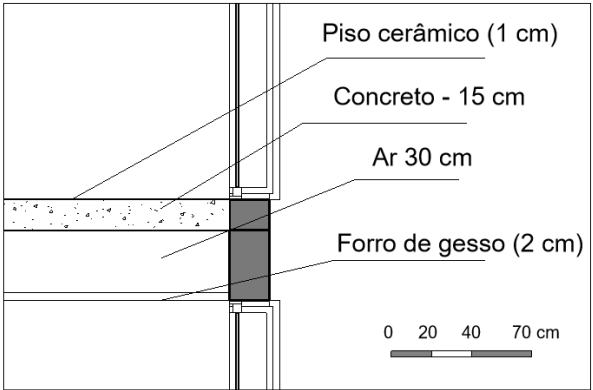
Como requerimento de conforto térmico, foi adotado como set point a temperatura de 25°C para a utilização do ar-condicionado (Tabela 35). Não foram utilizados sistemas de aquecimento artificial nos ambientes de escritórios. O sistema de ventilação mecânica foi configurado para manter o mínimo recomendado de 0,4l/s por metro quadrado para respiração nos cenários simulados, de acordo com a norma NBR 16.401 (ASSOCIAÇÃO..., 2008).

Tabela 35: requerimentos de conforto térmico para ambientes de escritórios

Sistema	Requerimento de conforto	Referência
Set point – Ar-Condicionado	Temp. ar > 24°C Temp. ar > 25°C	GHISI, 2017 AMERICAN... (2016) ALVES et, Al, 2017

Os materiais foram configurados de acordo com o projeto dos 8 edifícios públicos e os dois tipos de vidros simulados foram retirados de catálogos da CEBRACE com base no levantamento in loco descrito neste capítulo (Tabela 36).

Tabela 36: propriedades térmicas do modelo simulado

Material	Transmitância térmica (U) Absortância solar (α)	Seção esquemática
Parede externa de alvenaria (bloco de 9 cm) com argamassa e tinta	2,78 W/m ² K $\alpha= 0,50$	
Cobertura	1,23 W/m ² K $\alpha= 0,50$	
Divisórias internas (compensado de 3 cm)	2,71 W/m ² K $\alpha= 0,50$	
Forro e laje entre pavimentos	1,74 W/m ² K $\alpha= 0,50$	

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005).

De acordo com o levantamento feito por Lima (2010) e Costa, Politano e Amorim (2017), os vidros incolores laminados e cinzas laminados são aplicados em 2/3 das fachadas. As propriedades térmicas são o fator solar (FS) e a transmitância térmica (U). As propriedades óticas incluem a transmissão luminosa (TL). Esses valores estão descritos na Tabela 37.

Tabela 37: propriedades térmicas dos vidros selecionados

Materiais	Propriedades térmicas e óticas³⁸
Vidro incolor laminado (1)	FS = 0,43 TL = 0,32 U = 5,60 W/m ² K
Vidro cinza laminado (2)	TL = 0,21 FS = 0,30 U = 5,60 W/m ² K

Fonte: Catálogo CEBRACE da linha Comercial – Proteção solar

Nos cenários de 1 a 32, os sistemas e equipamentos elétricos foram simulados com a eficiência de nível “C” para os sistemas de iluminação (DPI 12 W/m²) e ar-condicionado com CoP de 2,80 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Dos trinta e dois cenários, foram selecionados oito cenários que apresentarem menor consumo energético. O cenário 33 foi criado para comparar o valor simulado com os dados reais obtidos no levantamento in loco e sem produção de energia elétrica interna.

Após a execução dos 32 cenários simulados, foram alterados os sistemas de ar-condicionado para o nível “A”, com CoP de 3,5 e 4,5 e o sistema de iluminação com a diminuição do DPI de 12W/m² para 9 W/m² (cenários de 34 a 57). Após o teste com os níveis de equipamentos “A” e “C”, foram simulados mais 12 cenários testando o potencial da ventilação natural e da massa térmica nos ambientes simulados (58 a 69).

Após a modelagem, o cálculo termo energético foi realizado no software Energy Plus, v.8.4. O algoritmo de cálculo utilizado foi o de condução (*Conduction Transfer Function*). Além disso, o *timestep* adotado foi configurado como 4, o que corresponde a 4 cálculos de balanço de transferência de calor por hora (BAVARESCO; GHISI, 2018). Como resultados, foram selecionados os resultados de consumo energético (ar-condicionado e equipamentos) e a carga térmica dos ambientes simulados. Os dados

³⁸ Disponível em: <<http://www.cebrace.com.br/#!/downloads/catalogos-de-produtos>>. Acesso em: 26 fev. 2018.

simulados de temperatura foram utilizados apenas para configurar o set-point do ar-condicionado e da ventilação.

A seguir, são descritos os métodos de cálculo da ventilação natural e da ventilação da massa térmica (estrutura entre o forro e a laje). Esses cálculos foram efetuados nos cenários 58 a 69.³⁹

4.11.1. Ventilação natural

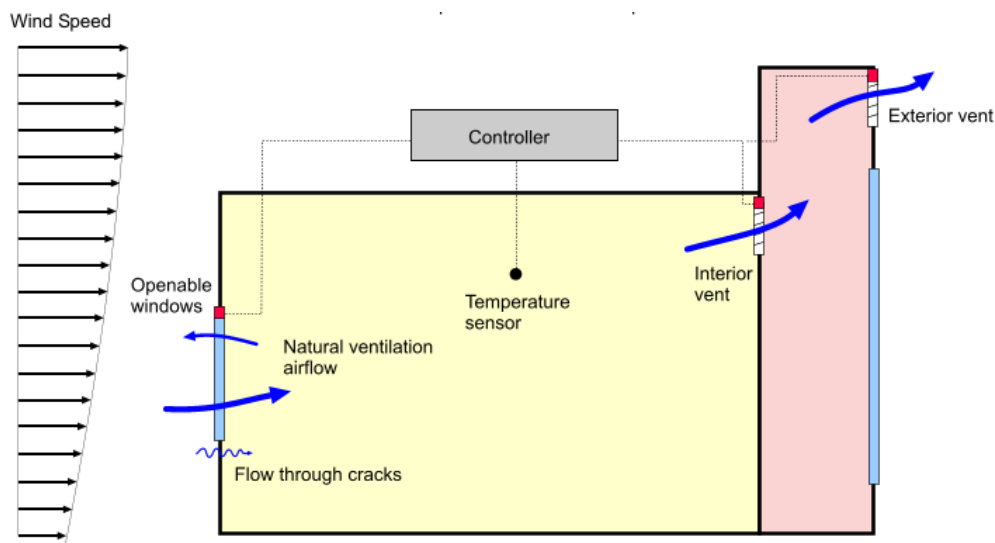
Nos cenários de 58 a 69, foram incluídos para a redução da carga térmica a ventilação natural e a ventilação da massa térmica (estrutura entre o forro de gesso e a laje). O método utilizado pelo *Design Builder* de ventilação natural foi o *Airflow Network*. O cálculo é realizado simultaneamente com o cálculo de consumo de ar-condicionado e a ventilação natural tem efeito de remoção da carga térmica resfriada pelo ar-condicionado.

A ventilação natural é acionada quando a temperatura do ar interna está maior que 25°C. Nos cenários 58 a 69, com a utilização da ventilação natural, o set-point de ar-condicionado foi ajustado para 29°C, quando a ventilação natural não consegue resfriar o ambiente para 25°C (variação de temperatura limite para ventilação, ΔT_{lim} de 4°C pré-configurados no *Design Builder*⁴⁰). O método *Airflow Network* considera a velocidade do ar, direção dos ventos, a diferença de pressão e a altura das áreas de abertura de saída e entrada e a densidade do ar (Figura 30).

³⁹ O resumo dos cenários simulados está presente no Apêndice G do trabalho.

⁴⁰ Com base nos trabalhos de Grosso (1997), Shaviv, Yezioro e Capeluto (2001), Yang, Li (2008) e Corgnati, Kindnis (2007) sobre ventilação natural e da massa térmica em estudos de caso em climas quentes ou como estratégia de resfriamento passivo nos meses de verão.

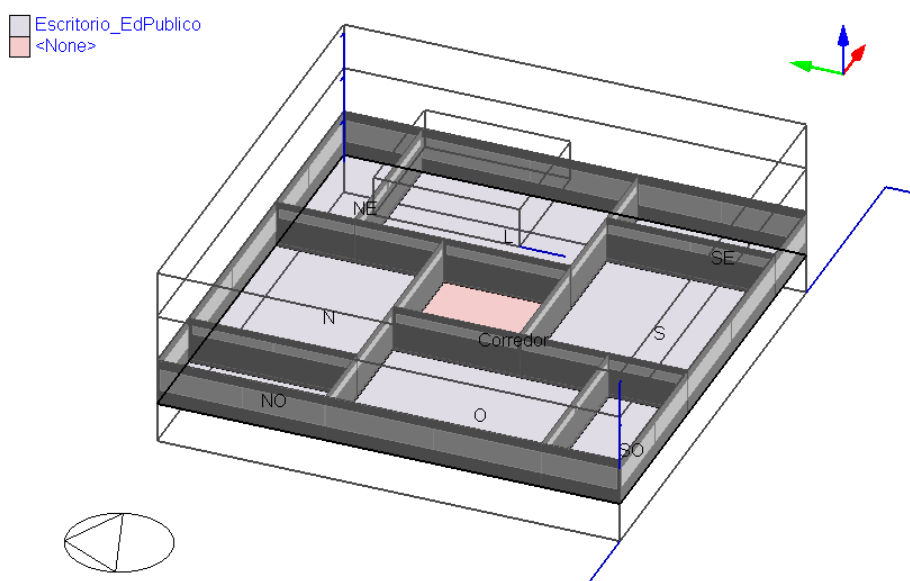
Figura 30: método utilizado de ventilação natural nos cenários 58 a 69



Fonte: manual do programa Design Builder⁴¹.

Para criar uma situação de ventilação cruzada no ambiente urbano, foram adicionadas aberturas internas com altura de 30 cm entre os ambientes posicionadas a uma altura de 1,80m em relação ao piso. As aberturas de entrada do ar (externas) e de saída (internas) abrem 40% da área total (Figura 31). Os controles de abertura foram configurados por meio do set-point de 25°C e com o horário de funcionamento do edifício (8h a 19h). O coeficiente de descarga (*discharge coefficient*) adotado foi de 0,65 (ambiente urbano com densidade pequena).

Figura 31: configuração das aberturas para ventilação natural



⁴¹ Disponível em: <http://www.designbuilder.co.uk/helpv1/Content/_Natural_ventilation_modelling.htm>. Acesso em: 9 jul. 2018

4.11.2. Ventilação da massa térmica

Como descrito no item 3.1, a ventilação noturna é recomendada em climas com variação térmica diária superiores a 11°C (KWOK; GRONDZIK, 2007). O método simplificado utilizado no trabalho foi descrito por Grosso (1997) e tem como o objetivo retirar o calor acumulado na laje, ou a superfície voltada para o ambiente interno, desde que exposta. Para esse método funcionar, a camada superficial da laje deve ter características de inércia térmica tais que permitam o acúmulo de calor produzido durante o dia no ambiente considerado e sua dissipação noturna.

A ventilação noturna é realizada normalmente com sistemas de ventilação mecânica, pois devem ser garantidas trocas de ar não atingidas somente com o vento, que não é em nenhum lugar forte, nas horas noturnas (GROSSO, 1997).

No ambiente simulado, a massa térmica considerada é média: laje de concreto (densidade média), de 15 cm de espessura com 2m² de superfície exposta para cada m² de área de piso.

Para aplicar o método, é necessário conhecer os seguintes dados, referentes à localidade do edifício e à estação de verão ou mês mais quente do ano. Esses dados foram retirados do arquivo climático Brasília.SWERA.EPW por meio do programa *Climate Consultant*, v.5:

- Média das temperaturas externas máximas ($\Delta T_{\text{máx}}$);
- Amplitude térmica diária máxima (ΔT_{dia});
- Média das temperaturas mínimas;
- Determinar a temperatura mínima, na qual a massa térmica pode ser levada ($T_{\text{smín.}}$):

$$T_{\text{smín}} = T_{\text{min}} + \Delta T_{\text{dia}}/4, \text{ se } \Delta T_{\text{dia}} > 17^{\circ}\text{C } [^{\circ}\text{C}]$$

$$T_{\text{smín}} = T_{\text{min}} + \Delta T_{\text{dia}}/4, \text{ se } \Delta T_{\text{dia}} < 17^{\circ}\text{C } [^{\circ}\text{C}]$$

Após a obtenção desses dados, Grosso (1997) propões a seguinte sequência de cálculo:

- Determinar as horas nos quais o edifício deve permanecer “fechado” para a ventilação natural (apenas com o mínimo de renovações de ar necessárias, com ventilação mecânica). A condição adotada de fechamento foi quando a temperatura externa se encontra maior ou igual a 27°C;

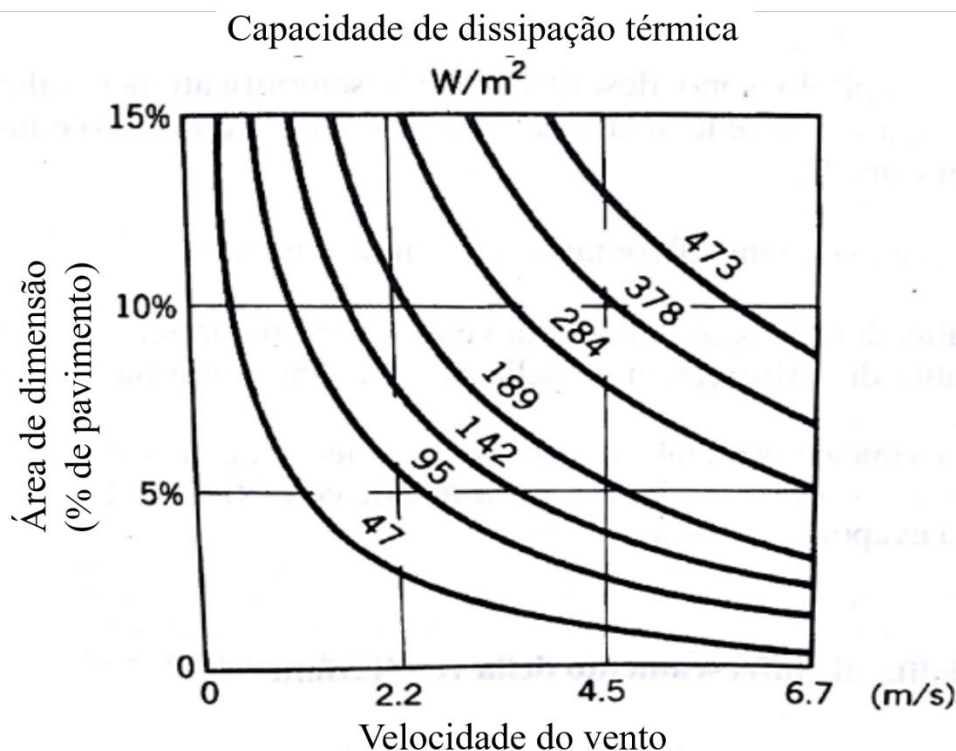
- Calcular o calor gerado internamente no ambiente durante as horas em que o edifício está fechado. Esse cálculo foi feito no programa *Design Builder*;
- Verificar, em relação à massa térmica exposta, qual a parte da energia térmica produzida durante o dia pode ser acumulada na estrutura;
- Calcular o calor acumulado na estrutura $Q_{m\acute{a}x}$, que pode ser removido na hora em que a diferença de temperatura entre o ar externo e a superfície da massa térmica é máxima;
- Determinar o fluxo de ar necessário (m_{vm}) para remover o calor acumulado na estrutura com base no fluxo horário ($\Delta T_{m\acute{a}x}$), com base na fórmula:

$$m_{vm} = Q_{m\acute{a}x} / C_a \rho_0 \Delta T_{m\acute{a}x}$$

Onde: $C_a = 0,28 \text{ Wh/kgK}$ é o calor específico do ar e $\rho_0 = 353,18 / T_{ar} \text{ (K)}$ é a densidade do ar externo, em kg/m^3 . T_{ar} é a temperatura do ar;

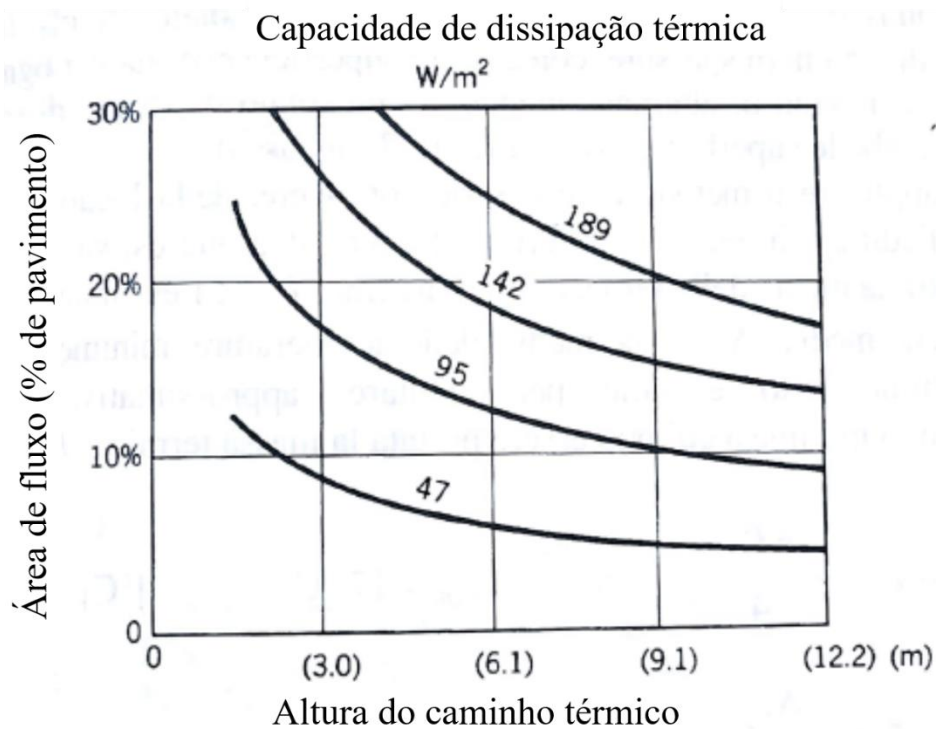
- Dimensionar as aberturas (Figura 32 e Figura 33) em relação à velocidade do vento, dimensões das aberturas para ventilação da massa térmica e altura entre as áreas de entrada e de saída do ar. Foi assumido que as aberturas são suficientes para a remoção do calor acumulado na massa térmica.

Figura 32: capacidade de dissipação térmica em função da velocidade do vento



Fonte: Grosso (1997, tradução nossa).

Figura 33: capacidade de dissipação térmica em função da área de fluxo (porcentagem em relação à área de pavimento)



Fonte: Grosso (1997, tradução nossa).

Com base no método descrito por Grosso (1997), foram resumidos os cálculos de ventilação da massa térmica utilizados nos cenários 58 a 63. O edifício se encontra no modo fechamento entre 8h às 11h diariamente. Durante o ano em Brasília, a temperatura externa se encontra maior que 27°C a partir de 11h durante todos os meses do ano (Tabela 38).

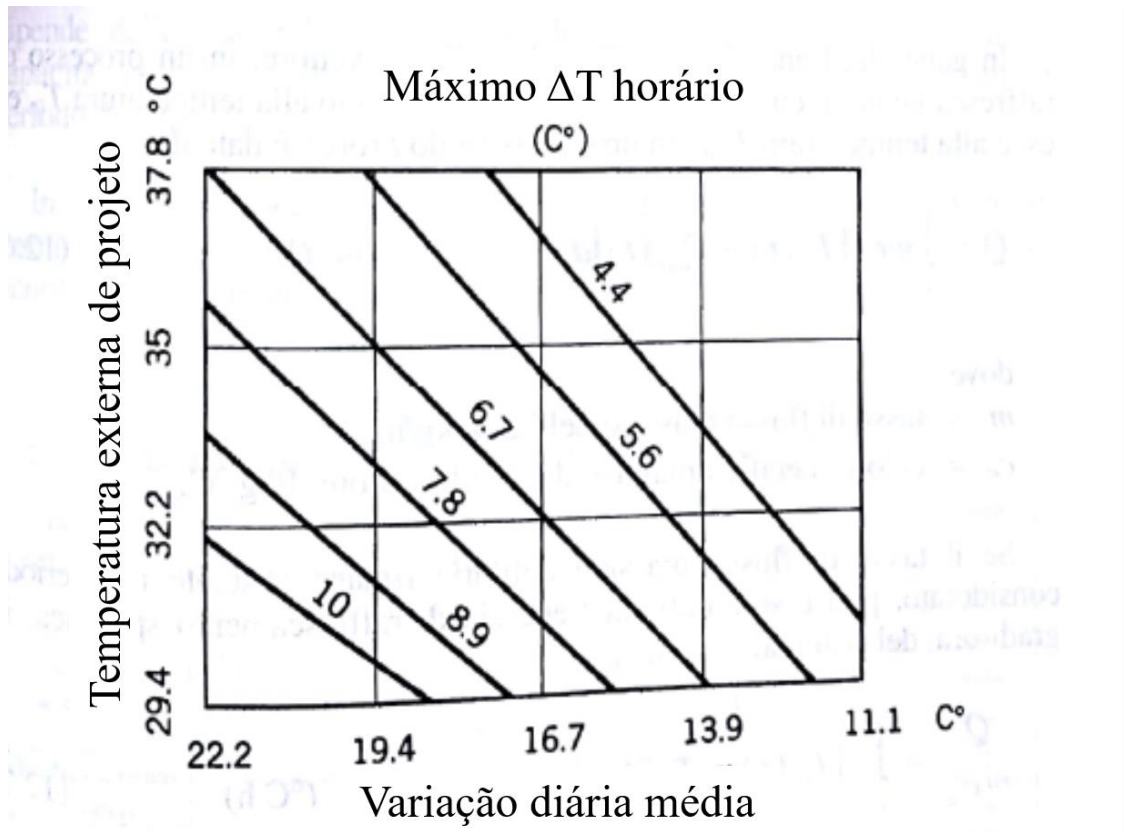
Tabela 38: cálculo de resfriamento da massa térmica para o clima de Brasília (cenários 58 a 63)

Brasília_EPW (Climate Consultant, v.5.5) e Grosso,1997	
Horário de fechamento diário	8h às 11h
Temperatura mínima média (Setembro - °C)	17,41
Amplitude térmica diária média (°C)	10,30666667
Amplitude térmica diária máxima (°C)	14,2
Temperatura externa máxima (°C)	32,7
Temperatura mínima (Massa Térmica) a ser levada - T _{smin}	19,47133333
Acúmulo térmico (massa térmica) W/m ² dia	315
Velocidade do vento (m/s)	1,5
Altura (forro à laje do ambiente) em metros	0,45
Comprimento da abertura (m)	30
Área de abertura (m ²)	54
Área do pavimento	900
Área de dimensão (% de pavimento)	6,00%
Capacidade dissipação térmica pelo plenum ventilado (W/m ²)	47
Calor específico do ar (Wh/kgK)	0,28
Densidade do ar externo (kg/m ³)	353,18
Redução da temperatura (°C)	4,4
Largura do ambiente (m)	11
Comprimento do ambiente (m)	14
Volume do plenum ventilado (m ³)	69,3
Fluxo de ar horário para remover o calor acumulado na estrutura do plenum ventilado (m ³ /h)	0,240791054
Taxa de resfriamento máximo da estrutura	14,92%
Horário do modo "fechamento" (ventilação da massa térmica)	8h às 11h
Temperatura externa (condição de fechamento)	Text < 27°C

Fonte: autor com base no método de Grosso (1997)

Nas simulações do Design Builder dos cenários 58 a 63, os sistemas de ar-condicionado e a ventilação natural foram configurados para funcionar entre 11h e 19h. Durante o modo fechamento, a ventilação da massa térmica retira o calor acumulado na estrutura e é capaz de resfriar o ambiente de escritório em até 5°C, mantendo a temperatura interna a 25°C (Figura 34).

Figura 34: variação máxima de temperatura horária (ambiente) com base na temperatura externa máxima e a variação de temperatura diária máxima externa



Fonte: Grosso (1997, tradução nossa).

Assim, entre 8h e 11h (período matutino), o ar-condicionado e a ventilação natural no ambiente de escritórios foram configurados como desligados durante o ano no processo de simulação de ar-condicionado, com apenas o mínimo de ar necessário exigido pela norma NBR 16.401 (ASSOCIAÇÃO..., 2008).

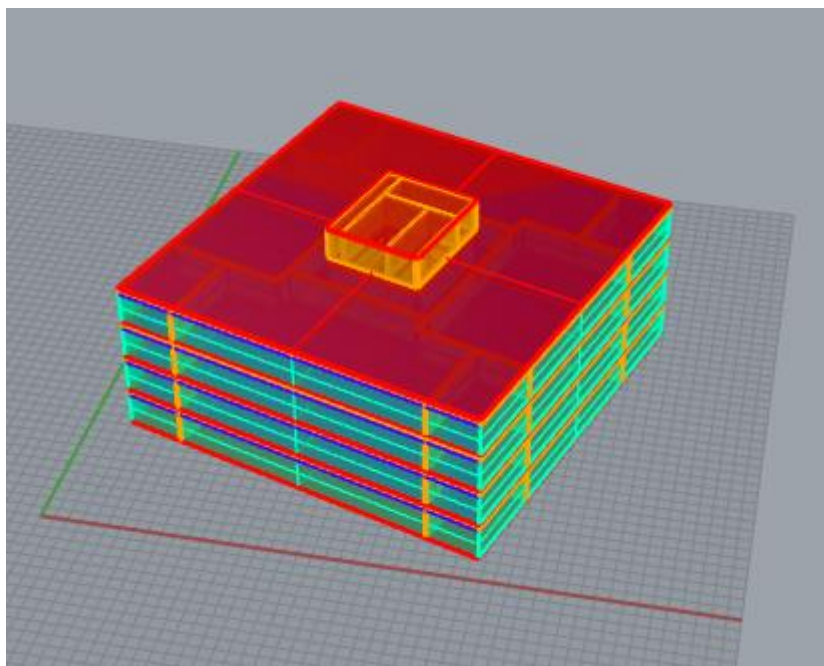
4.12. Simulações de luz natural e consumo de iluminação artificial

O estudo do desempenho energético dos edifícios considera também o aproveitamento da luz natural. Nesse item, é descrito o processo de simulação do consumo energético para o uso final de iluminação.

4.12.1. Modelagem no programa Rhinoceros, v. 6 e Grasshopper, v.1.0.0005

A modelagem foi feita no software *Rhinoceros*, versão 6.0 por oferecer uma plataforma de modelagem tridimensional. No *Rhinoceros*, a geometria dos ambientes simulados é configurada a partir dos parâmetros geométricos como volume, altura, profundidade do ambiente, obstruções externas, dispositivos de sombreamento etc. (Figura 35).

Figura 35: modelagem do modelo de 4 pavimentos no programa *Rhinoceros*, v.6



Fonte: autor

Após a modelagem volumétrica, os valores óticos dos materiais foram definidos. Os dados das refletâncias internas e externas foram retirados da literatura existente, de catálogos e normas. Os valores de refletâncias externas foram obtidos por meio dissertação de Guidi (2018) em seu trabalho de investigação da influência obstruções externas na iluminação dos ambientes internos nos edifícios residenciais em Belo Horizonte (Tabela 39).

Tabela 39: propriedades óticas dos materiais simulados (refletâncias e transmissão luminosa do vidro)

LN	Refletância/TL	Referência	Observações
Piso	30%	(BAVARESCO; GHISI, 2017); (ALVES et al., 2017)	
Teto	80%	(BAVARESCO; GHISI, 2017); (ALVES et al., 2017)	
Parede	50%	(BAVARESCO; GHISI, 2017); (ALVES et al., 2017)	
Vidro 1	Vidro incolor laminado e insulado TL = 0,32	Catálogo Cebrace	
Vidro 2	Vidro cinza laminado e insulado TL = 0,21	Catálogo Cebrace	
Refletância (edifícios externos)	40% 20%	GUIDI, 2018 REINHART, 2010	Valores utilizados na dissertação de Cláudia Guidi em Belo Horizonte (2018)
Refletância – Piso externo	20%	Associação... (2013) GUIDI, 2018	

O requerimento mínimo de iluminância foi retirado da norma ABNT ISO CIE 8995 – 1 (2013). A iluminância requerida mínima é de 500 Lux (Tabela 40).

Tabela 40: iluminância requerida para ambiente de escritório

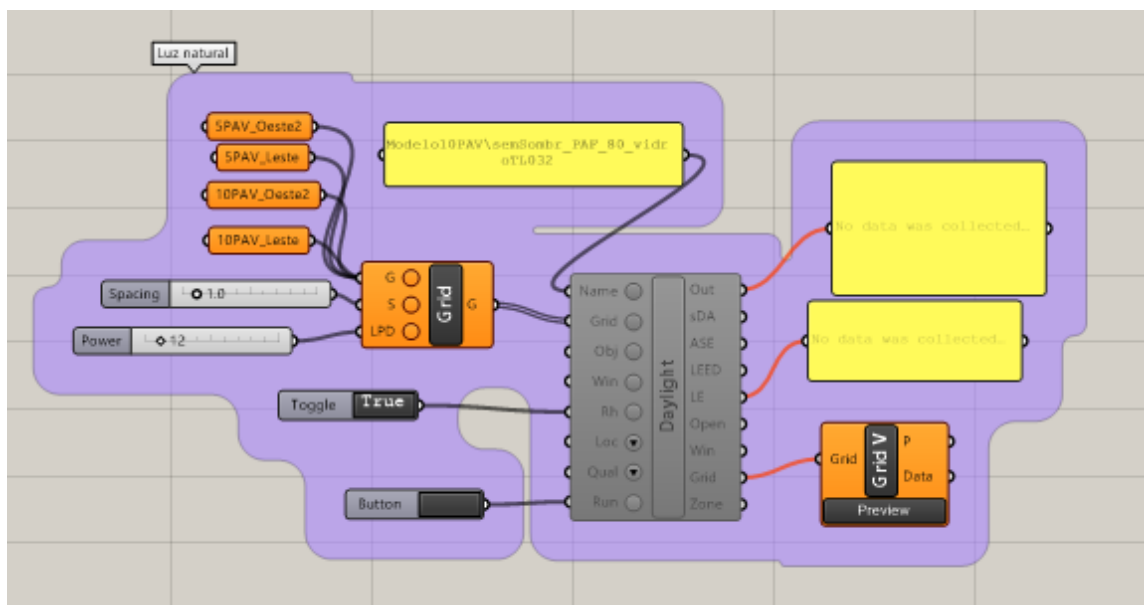
Sistema	Requerimento de conforto	Referência
Iluminância requerida para escritório	> 500 Lux	Associação... (2013)

O cálculo de consumo de iluminação foi obtido a partir da autonomia de luz natural nos ambientes de escritórios simulados (N, S, L e O) no 2º e no 4º pavimentos. A malha de pontos foi estabelecida a uma altura de 75 cm em relação ao piso.

Depois do processo de modelagem, a parametrização foi realizada no plug-in Grasshopper, v.1.0.0005. São parametrizados os valores requeridos de iluminância, criação da malha de pontos e determinados os diretórios para salvamento dos arquivos de simulação (Figura 36). Dentro da parametrização do Grasshopper, o cálculo é realizado no programa Diva, v.4.0.2.57.⁴²

Para o cálculo de consumo do sistema de iluminação, foram considerados os valores de DPI. Durante o processo de parametrização, nos cenários 1 a 32, a DPI configurada foi de 12W/m² (nível de eficiência “C”) e nos cenários de 34 a 69, 9W/m² (nível “A”).⁴³

Figura 36: parametrização no programa Grasshopper, v.1.0.0005



Fonte: autor.

O cálculo da iluminação natural é realizado pelo programa *Radiance* e *Daysim* por meio do algoritmo de cálculo *Raytrace* (Traçado do Raio) considerando as condições diferentes de céu ao longo do ano, a latitude e longitude e a localização geográfica. Para as simulações de luz natural com proteções solares, foram utilizados os parâmetros recomendados por Reinhart (2010) (Tabela 41).

⁴² Disponível em: <<http://www.solemma.net/Diva.html>>. Acesso: 17 Abr. 2018. Nesse site, há tutoriais em vídeo explicando todo o processo de parametrização no Archsim e no Diva, v.4. Também há um fórum de discussão entre os usuários.

⁴³ A tabela-resumo dos cenários simulados se encontra no item 4.10 desta dissertação.

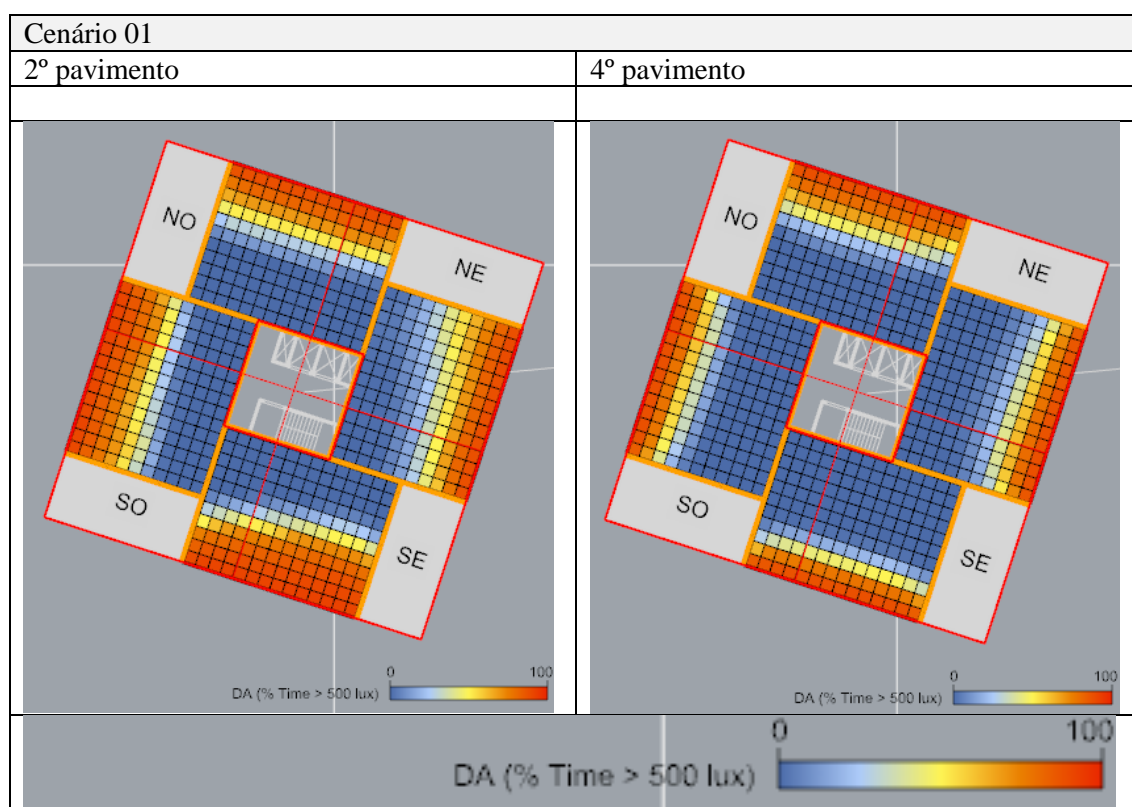
Tabela 41: parâmetros usados no programa *Daysim*

Parâmetros do programa <i>Radiance</i> (algoritmo <i>Raytrace</i>)
-aa. .1 ab 7 -ad 1500 -ar 256 -as 256 -dr 2 -ds .2 -Ir 12 -lw .004 -dj 0 -Ir 6 -sj 1 -st 0.15

Fonte: Reinhart (2010).

O arquivo climático utilizado foi o *Brasilia.epw*. O horário de funcionamento estabelecido foi entre 8h e 19h. Os resultados de autonomia de luz natural são visualizados no programa *Rhinoceros*, v.5 (Figura 37).

Figura 37: resultados de autonomia de luz natural



Fonte: autor e Márcia Birck.

Com base nos dados fornecidos de autonomia de luz natural pelo programa *Daysim*, é obtido o consumo anual de iluminação artificial (REINHART, 2010). Por exemplo, quando o nível de luz natural é inferior ao estabelecido de 500 lux em um determinado ponto, o sistema de iluminação artificial é ligado. Caso contrário, o sistema de iluminação artificial é desligado nos pontos, nos quais o nível de iluminância se encontra superior ou igual a 500 lux. Assim, a partir dos níveis de iluminância fornecidos pela luz natural ao longo do ano, o consumo de energia elétrica para iluminação é calculado.

Os resultados de consumo energético foram salvos no formato *.CSV* (*Comma Separated Values*) durante a simulação. O consumo energético anual, em kWh, foi lido em planilhas no Excel.

4.13. Análise estatística do consumo energético para iluminação e ar-condicionado

Para analisar a influência da obstrução externa e da altura do pavimento (2º ou 4º) no consumo energético para iluminação e ar condicionado nos 32 cenários simulados, foram realizados testes de significância de médias. Essa é uma forma de comparação mais robusta do que o cotejamento direto das médias, pois assegura que a diferença ou a equivalência não se devem ao acaso, mas são médias que provêm de distribuições distintas (STENVENSON, 1981).

As comparações dos resultados foram feitas entre as médias das variáveis por categoria de obstrução externa (1 a 4) e da altura do pavimento (2º e 4º), utilizando os testes de média *T-Student*, que compara duas médias, ou ANOVA, sigla em inglês de *Analysis of Variance*, que compara três ou mais médias.

Tanto a Análise de Variância como o teste de média *T-Student* são técnicas estatísticas usadas para determinar se as médias de duas ou mais populações são semelhantes ou não. A hipótese testada é de igualdade entre as médias. O nível de significância adotado – margem de erro tolerável e que sustenta a rejeição da hipótese nula – foi de 5%. O valor “P-value” ou “Sig” refere-se à probabilidade de errar ao rejeitar a hipótese nula, segundo a distribuição estatística da média.

A diferença entre duas ou mais médias será significativa se o valor calculado de Sig ou P-Value for menor do que 0,05 (5%). Caso contrário, se Sig for maior que 0,05, os valores são considerados estatisticamente equivalentes, mesmo que os resultados numéricos não sejam idênticos. As análises de variância foram feitas no programa SPSS.⁴⁴

Para representar a distribuição dos dados, foi utilizado o gráfico do tipo Box-Plot, o qual demonstra a mediana, o primeiro e o terceiro quartis. O tamanho das caixas (Box) dá ideia da dispersão dos dados, de modo que, quanto maior a caixa, mais dispersos estarão os dados. A caixa concentra 50% dos dados. A mediana está representada pelo traço preto no box e os limites, ao primeiro e terceiros quartis. Os traços inferior e superior

⁴⁴ O programa SPSS é útil para fazer testes estatísticos, tais como os testes da correlação, multicolinearidade, e de hipóteses; pode também providenciar ao pesquisador contagens de frequência, ordenar dados, reorganizar a informação, e serve também como um mecanismo de entrada dos dados, com rótulos para pequenas entradas. Disponível em: <<https://www.ibm.com/analytics/spss-statistics-software>>. Acesso em: 24 set. 2018.

fora do box indicam um intervalo de confiança da média. Quanto menor o Box, menor a dispersão das médias. A representação gráfica do Box-Plot é útil como comparação visual dos dados obtidos.

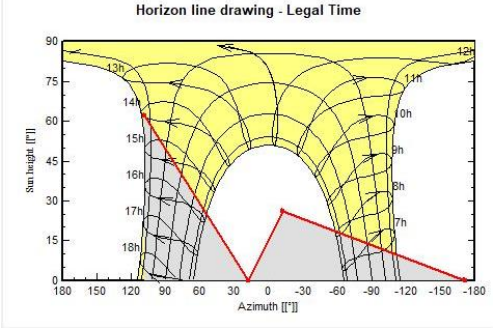
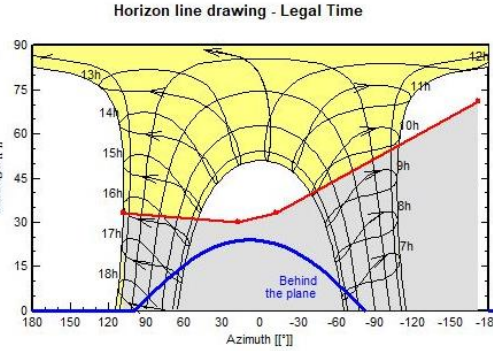
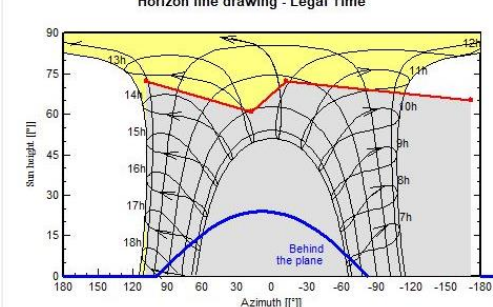
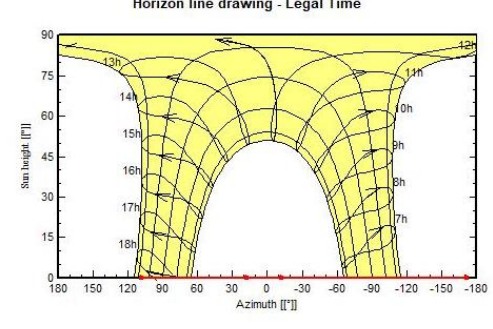
A primeira análise foi a obtenção das medianas, médias e desvio padrão dos 32 cenários simulados. O estudo dos dados de consumo energético foi separado por orientação (norte, leste, sul e oeste) dos ambientes descritos neste capítulo para a altura do 2° e 4° pavimentos. A DPI utilizada nos 32 cenários foi de 12W/m² (nível de eficiência “C”) e o CoP do sistema de ar-condicionado utilizado foi de 2,80 (nível “C”).

4.14. Simulações computacionais de produção de energia (módulos solares fotovoltaicos)

Em relação à produção de energia, foi avaliada a área disponível da cobertura do modelo de 4 pavimentos simulado para o posicionamento dos módulos fotovoltaicos. Como a área da cobertura não é suficiente para atingir o balanço energético nulo, foram utilizadas as áreas disponíveis nas fachadas do modelo de 4 pavimentos criados, com os três cenários encontrados de obstrução externa.

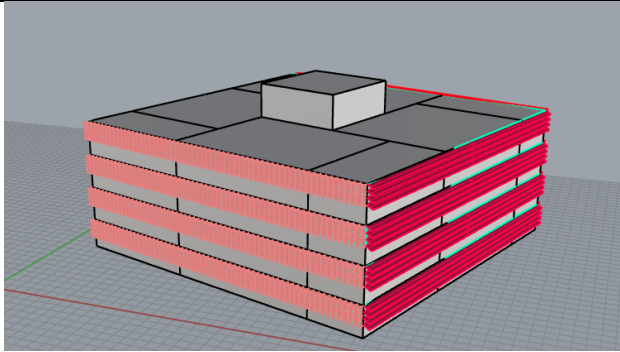
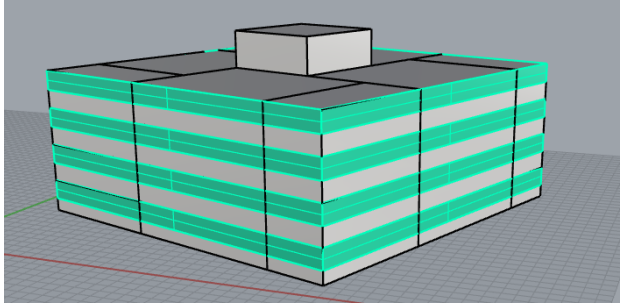
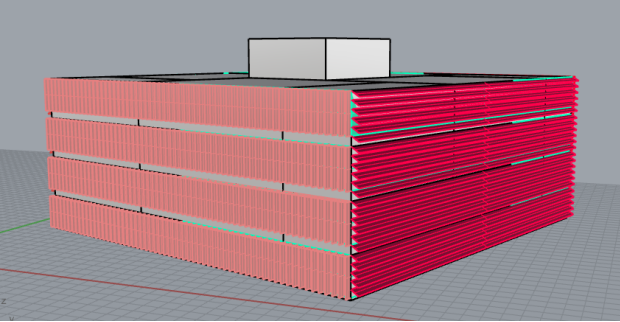
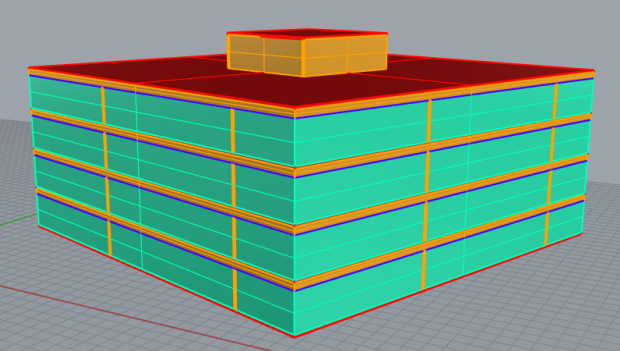
Nos cenários sem proteção solar, foram utilizadas as áreas não envidraçadas (opacas). Nos cenários com sombreamento das aberturas, os dispositivos de proteção solar foram considerados como módulos fotovoltaicos. O sombreamento externo foi considerado para as quatro situações encontradas (Tabela 42). A simulação foi realizada no programa PVSYST, v.6.7.0.

Tabela 42: sombreamento externo dos módulos fotovoltaicos nos cenários de 1 a 32

Obstrução externa (ângulo de sombreamento)	Sombreamento (programa PVSYSST)
<p>N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°)</p> <p>SAUS/SAUN</p>	
<p>N(19°)/S(60°)/L(57°)/O(57°)</p> <p>SCS</p>	
<p>N(25°)/S(90°)/L(18°)/O(8°)</p>	
<p>Sem obstrução externa (teórico)</p>	

No total, foram feitas quatro simulações posicionando os módulos fotovoltaicos na cobertura. Posteriormente, foi calculada a proteção solar nas fachadas norte, leste e oeste nos quatro modelos de 4 pavimentos simulados. No total, foram calculadas a produção de energia de 54 superfícies considerando as variações possíveis (Tabela 43).

Tabela 43: modelos simulados no programa PVSYST, v.6.7.0

PAF	Proteção solar	Imagem (programa <i>Rhinoceros</i> , v.6)	Área disponível
32%	Sim		830 m ² (cobertura) 864 m ² (dispositivos de sombreamento) 324m ² (fachadas)
50%	Não		830 m ² (cobertura) 324m ² (fachadas)
50%	Sim		830 m ² (cobertura) 1080 m ² (dispositivos de sombreamento)
80%	Não		830 m ² (cobertura) 108 m ² (fachadas)

Foi feito um levantamento de 63 módulos fotovoltaicos disponíveis no Brasil. A lista está disponível no Apêndice D dessa dissertação. O valor médio de eficiência dos módulos comercializados no Brasil é de 14,25%. O valor máximo é de 16,97% e o mínimo de 9,10% (módulo de Silício-Amorfo) (Tabela 44).

Tabela 44: valores de eficiência médio, máximo e mínimo de eficiência de 63 módulos comercializados no Brasil

Valor médio de eficiência	14,25%
Valor máximo de eficiência	16,97%
Valor mínimo de eficiência	9,10%

Os dados relativos à Brasília foram são relativos ao projeto SWERA e são lidos pelo programa Meteonorm, v.7.1. A radiação global anual é de 1945kWh/m² e a difusa global anual é de 747,4 kWh/m² (Figura 41).

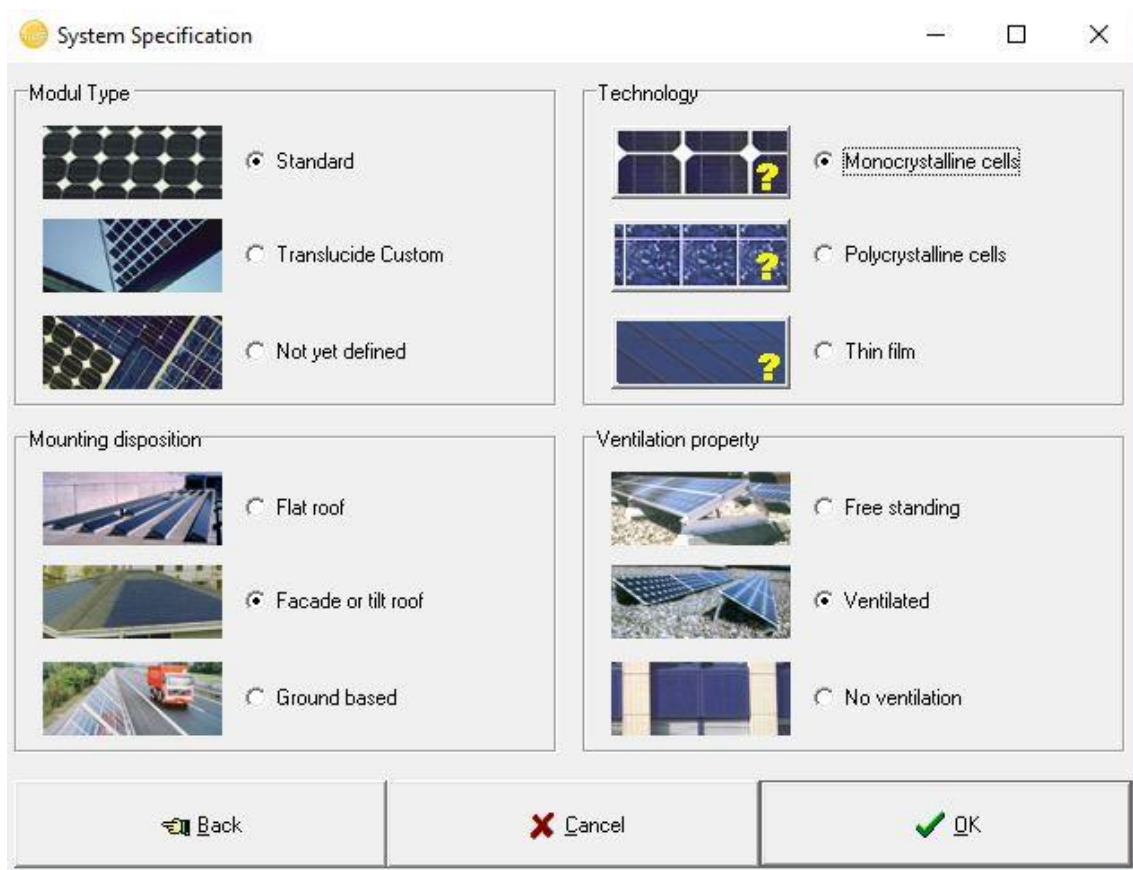
Figura 41: dados extraídos do programa PVSYST

Site Brasilia (Brazil)				
Data source	Meteonorm 7.1			
	Global Irrad. kWh/m ² .mth	Diffuse kWh/m ² .mth	Temper. °C	Wind Vel. m/s
January	165.8	76.0	22.9	2.30
February	163.3	67.3	22.7	2.01
March	170.4	79.1	22.4	2.00
April	154.8	62.6	22.1	2.00
May	150.0	53.0	20.8	1.81
June	150.3	37.5	19.3	1.90
July	164.2	36.4	19.6	2.00
August	183.1	41.6	21.1	2.29
September	182.8	59.1	22.7	2.40
October	163.7	77.5	23.8	2.30
November	143.5	72.3	22.2	2.30
December	153.8	85.0	22.5	2.30
Year	1945.7	747.4	21.8	2.1

A área disponível de cobertura é de 830 m². Os módulos escolhidos são do tipo padrão (opaco) e estão presentes na cobertura com a inclinação ótima de 24° (CRONEMBERGER; CAAMAÑO-MARTÍN; SÁNCHEZ, 2012). As simulações foram realizadas no modo "Preliminary Design".

A produção nas fachadas leste, oeste e norte em Brasília são possíveis. A fachada sul não foi considerada para a produção de energia pela baixa incidência de irradiação solar (menor que 20% em relação à irradiação recebida pela cobertura).⁵⁴ O cálculo da produção de energia foi feito por meio da tecnologia de células monocristalinas, com eficiência de 18% (Figura 42).

Figura 42: especificação do sistema de módulos fotovoltaicos na cobertura e nas fachadas



Após a descrição da obtenção do modelo de 4 pavimentos, das simulações de consumo energético e do cálculo de produção de energia, no próximo capítulo serão apresentados os resultados das simulações e as conclusões.

⁵⁴ Id., 2012.

5. Resultados

O capítulo 5 foi dividido em duas partes. Na primeira parte, são apresentados os resultados da média obtida de consumo energético total das contas de energia dos 30 edifícios públicos selecionados (item 4.2 - Método) e os resultados dos questionários de oito edifícios públicos. Neles são discutidos os padrões de uso e ocupação dos ambientes de escritórios. Em seguida, foram analisados a influência que as variáveis de envoltória e de obstrução externa exercem no consumo energético (item 4.9 - Método). Além disso, discute-se a importância da troca dos equipamentos de ar-condicionado e dos sistemas de iluminação do nível “C” para o nível “A” (itens 4.6 e 4.7). No final da primeira parte, discute-se a importância da ventilação natural para a redução do consumo de ar-condicionado nos ambientes simulados.

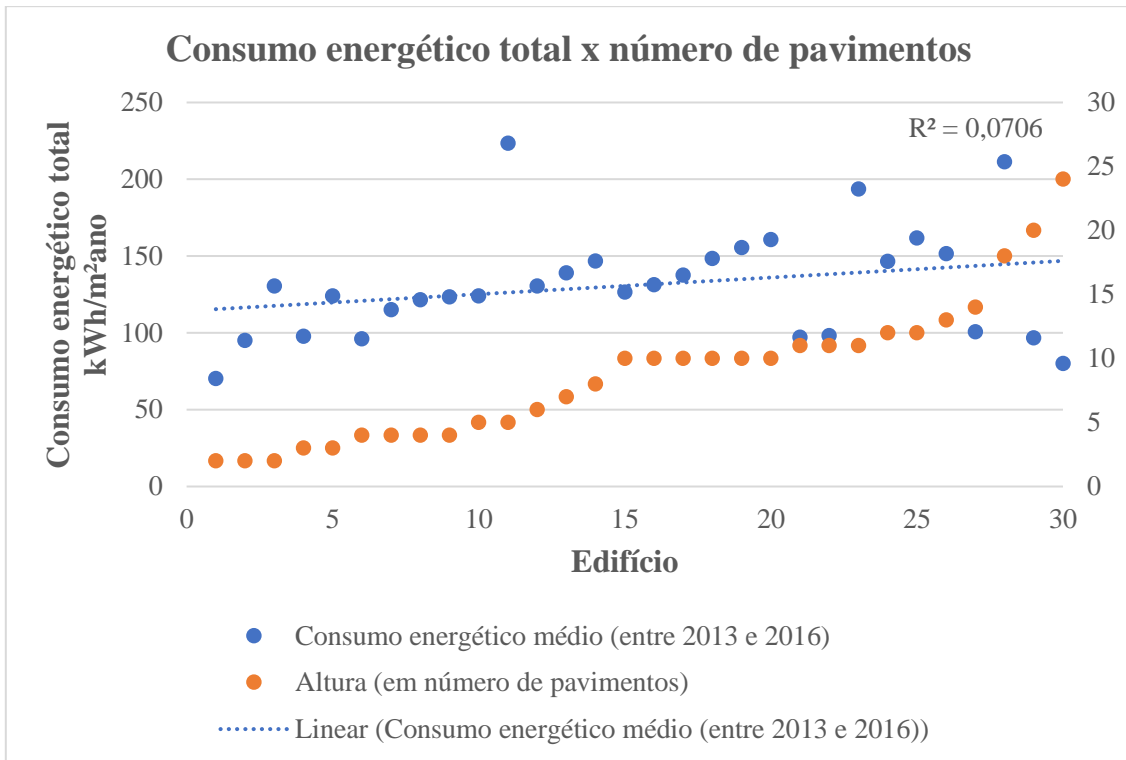
Na segunda parte, são apresentados os resultados de produção de energia obtidos pela área disponível de envoltória nos cenários simulados. Em seguida, são mostrados os resultados do balanço energético nos 69 cenários simulados. Ao final do capítulo, é apresentada a tabela com as diretrizes gerais de projeto para a obtenção de edifício de balanço energético nulo nas edificações de escritórios de até 4 pavimentos em Brasília.

5.1. Consumo de energia elétrica total dos 30 edifícios públicos

A média de consumo de energia elétrica total das trinta edificações foi de 132,1kWh/m²ano. Os dados coletados relativos à arquitetura (altura em pavimentos, forma, tipos de proteções solares e fator solar do vidro) e consumo energético estão presentes no Apêndice F da dissertação.

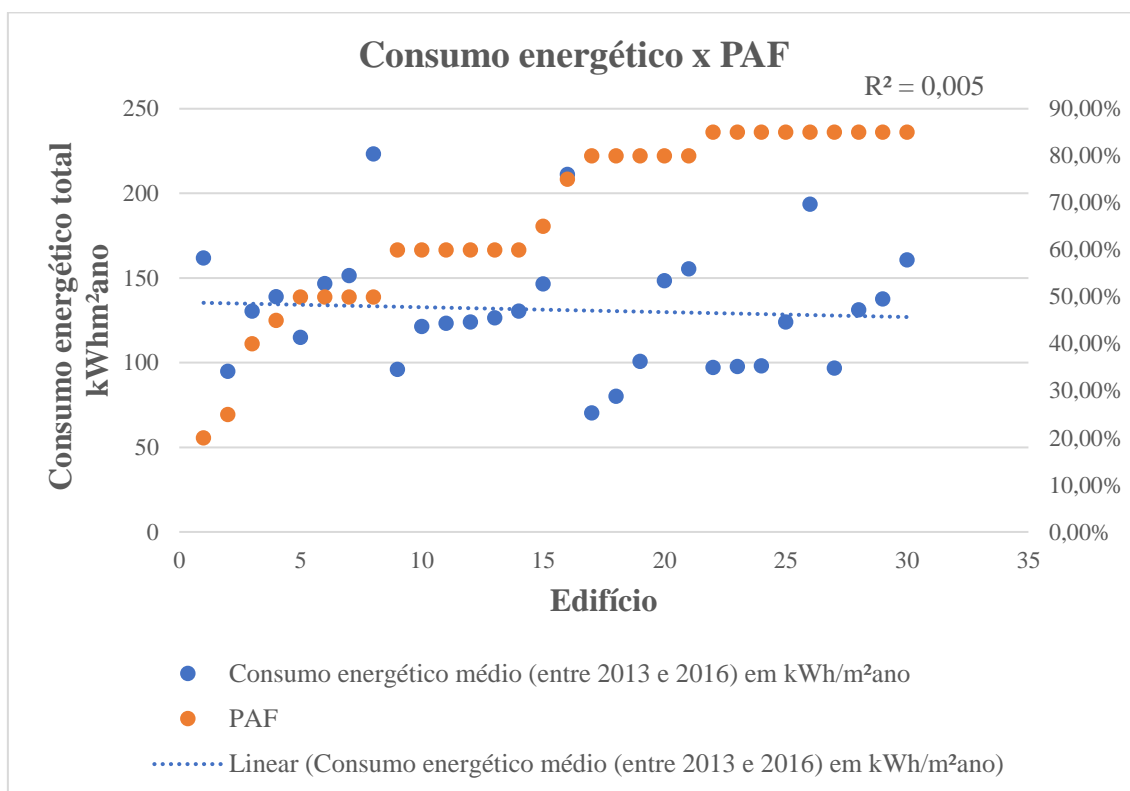
No gráfico representado na Figura 43, apresenta-se a compilação dos dados entre consumo de energia elétrica e o número de pavimentos dos 30 edifícios públicos analisados. A correlação é apresentada pela linha tracejada no gráfico. Quanto mais próximo de 1 o valor de R^2 , mais forte é a correlação encontrada. Não é possível estabelecer uma correlação entre as variáveis de consumo energético total com o número de pavimentos, pois o valor de R^2 foi próximo a zero (0,07) (Figura 43).

Figura 43: gráfico da relação entre consumo e número de pavimentos dos 30 edifícios públicos analisados



No gráfico da Figura 44, os dados de consumo energético e de valores de PAF são apresentados. A linha tracejada representa o valor de correlação encontrado. O valor de R^2 foi próximo a zero. Portanto, não é possível estabelecer uma correlação entre os valores de PAF e consumo energético total (Figura 44).

Figura 44: gráfico do consumo energético e PAF dos 30 edifícios públicos analisados

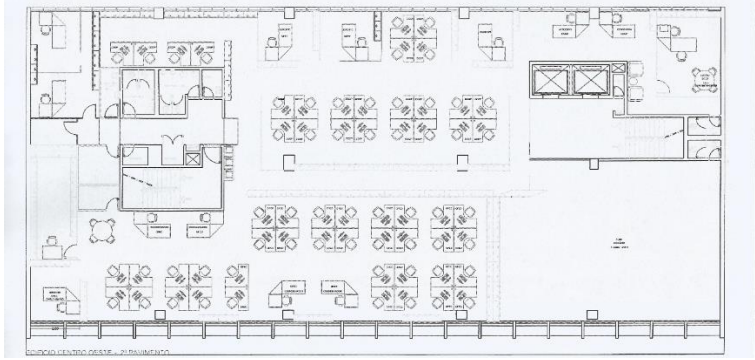
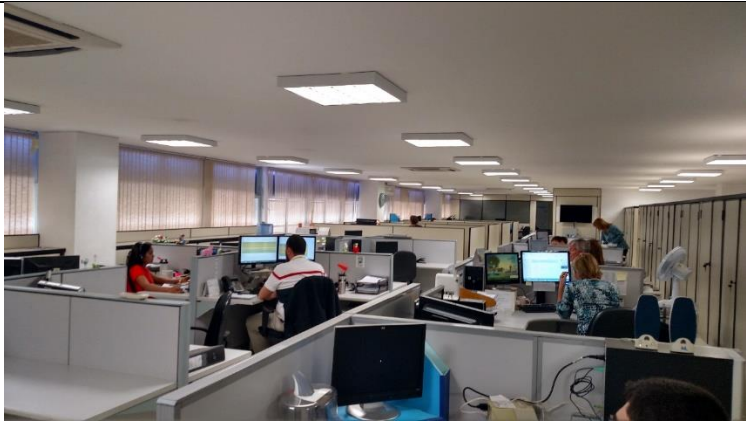


Para um entendimento melhor do consumo energético total no modelo de 4 pavimentos, é necessário analisar e interpretar os dados obtidos por simulação por uso final (iluminação, ar-condicionado e equipamentos) nos ambientes de escritórios. A seguir, são discutidos os resultados de simulação do modelo de 4 pavimentos.

5.2. Padrão de uso e ocupação de oito edifícios públicos

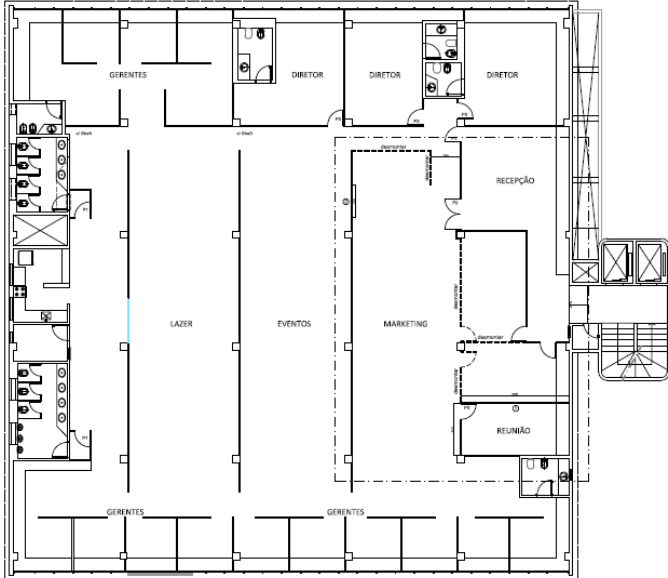

Os oito edifícios foram selecionados com base no número de pavimentos e com base na obrigatoriedade de serem etiquetados com base no PBE. Dos oito, quatro edifícios são dos grupos de 1 a 4 pavimentos e quatro pertencem ao grupo de 5 a 10 pavimentos. Na Tabela 45, há o resumo dos dados coletados do Edifício Centro Oeste (Setor Comercial Sul). Plantas, cortes, detalhes das esquadrias e os sistemas de iluminação, ar-condicionado e equipamentos de escritórios foram observados na visita técnica.

Tabela 45: planta baixa, ambiente interno e levantamento dos equipamentos no Ed. Centro Oeste (SCS)

Edifício Centro Oeste (SCS)													
Arquitetura													
Ambiente interno													
Dados do edifício	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Área total construída</td> <td>3668m²</td> </tr> <tr> <td>Área do pavimento tipo</td> <td>895m²</td> </tr> <tr> <td>Área do subsolo</td> <td>1878m²</td> </tr> <tr> <td>Área de garagem</td> <td>300m²</td> </tr> <tr> <td>Número de pavimentos</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Altura (pé-direito)</td> <td>2,50m</td> </tr> </tbody> </table>	Área total construída	3668m ²	Área do pavimento tipo	895m ²	Área do subsolo	1878m ²	Área de garagem	300m ²	Número de pavimentos	2	Altura (pé-direito)	2,50m
Área total construída	3668m ²												
Área do pavimento tipo	895m ²												
Área do subsolo	1878m ²												
Área de garagem	300m ²												
Número de pavimentos	2												
Altura (pé-direito)	2,50m												
Descrição dos sistemas elétricos	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: left;">Densidade de potência instalada</th> <th style="text-align: left;">Em w/m²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="vertical-align: middle;">Usos finais</td> <td>Iluminação</td> <td>15W/m² (Lâmpadas fluorescentes T8 e T10 4X16W)</td> </tr> <tr> <td>Condicionamento de ar</td> <td>79W/m² (Splits 9.000BTU's a 36.000 BTUs)</td> </tr> <tr> <td>Equipamentos</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	Densidade de potência instalada		Em w/m²	Usos finais	Iluminação	15W/m ² (Lâmpadas fluorescentes T8 e T10 4X16W)	Condicionamento de ar	79W/m ² (Splits 9.000BTU's a 36.000 BTUs)	Equipamentos	-		
Densidade de potência instalada		Em w/m²											
Usos finais	Iluminação	15W/m ² (Lâmpadas fluorescentes T8 e T10 4X16W)											
	Condicionamento de ar	79W/m ² (Splits 9.000BTU's a 36.000 BTUs)											
	Equipamentos	-											

Na Tabela 46 são apresentados os dados coletados do Edifício Embratur, localizado no Setor Comercial Norte. O mesmo estudo (arquitetônico e de padrão de uso e ocupação) foi realizado nos oito edifícios listados.

Tabela 46: dados do Edifício Embratur (SCN)

Edifício Embratur (SCN)													
Arquitetura													
Ambiente interno													
Dados do edifício	<table border="1"> <tr> <td>Área total construída</td> <td>3668m²</td> </tr> <tr> <td>Área do pavimento tipo</td> <td>895m²</td> </tr> <tr> <td>Área do subsolo</td> <td>1878m²</td> </tr> <tr> <td>Área de garagem</td> <td>300m²</td> </tr> <tr> <td>Número de pavimentos</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Altura (pé-direito)</td> <td>2,50m</td> </tr> </table>	Área total construída	3668m ²	Área do pavimento tipo	895m ²	Área do subsolo	1878m ²	Área de garagem	300m ²	Número de pavimentos	2	Altura (pé-direito)	2,50m
Área total construída	3668m ²												
Área do pavimento tipo	895m ²												
Área do subsolo	1878m ²												
Área de garagem	300m ²												
Número de pavimentos	2												
Altura (pé-direito)	2,50m												
Descrição dos sistemas elétricos	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Densidade de potência instalada</th> <th>Em w/m²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Usos finais</td> <td>Iluminação</td> <td>1º ao 5º pavimento (Fluorescentes 4x40 W) – 11W/m² 6º Pavimento LED (6~7W/m² - 4x14W)</td> </tr> <tr> <td>Condicionamento de ar</td> <td>177W/m² (Splits de 12.000 a 24.000 BTUs)</td> </tr> <tr> <td>Equipamentos</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	Densidade de potência instalada		Em w/m ²	Usos finais	Iluminação	1º ao 5º pavimento (Fluorescentes 4x40 W) – 11W/m ² 6º Pavimento LED (6~7W/m ² - 4x14W)	Condicionamento de ar	177W/m ² (Splits de 12.000 a 24.000 BTUs)	Equipamentos	-		
Densidade de potência instalada		Em w/m ²											
Usos finais	Iluminação	1º ao 5º pavimento (Fluorescentes 4x40 W) – 11W/m ² 6º Pavimento LED (6~7W/m ² - 4x14W)											
	Condicionamento de ar	177W/m ² (Splits de 12.000 a 24.000 BTUs)											
	Equipamentos	-											

Com base nesses dados, é possível caracterizar os sistemas utilizados nos oito edifícios analisados. De acordo com o RTQ-C, os sistemas de iluminação apresentam eficiência de “C” a “E” nos ambientes com lâmpadas fluorescentes T8 e T12. Em um único edifício, há a utilização do sistema LED, o nível de eficiência é “A”, apresentando DPI menor do que o requisito mínimo de 9W/m² de DPI. Os sistemas de ar-condicionado mais utilizados são os sistemas Split e Fan Coils, com variáveis níveis de eficiência.

Essa caracterização é extremamente importante para entender o padrão de uso dos equipamentos elétricos dos edifícios, que compreendem os três usos finais de iluminação, condicionamento de ar e equipamentos. Com base no levantamento, foram determinados os padrões de ocupação interna do grupo dos oito edifícios analisados (Tabela 47).

Tabela 47: resumo dos dados coletados dos oito edifícios públicos dos usos finais de iluminação, condicionamento de ar e equipamentos

Uso final	Potência	Horário de funcionamento	Referência
Iluminação	9 W/m ² (Sistema LED) 12 W/m ² (Lâmpadas fluorescentes)	8h às 19h	Levantamento in loco
Ar-Condicionado	42W/m ² a 178W/m ² (splits, fan-coil) CoP: 2,80 (Nível “C”) CoP: 3,50 (Nível “A”)	8h às 19h	Levantamento in loco Instituto... (2009)
Equipamentos	12W/m ² a 15W/m ²	8h às 19h	Levantamento in loco

Além disso, o PBE vêm sendo revisado de modo incluir no regulamento a micro geração de energia, com ênfase nas energias renováveis (solar, eólica etc.). Durante o levantamento, foi interessante observar que muitos usuários apresentavam queixas quanto à desconforto por frio, quando não conseguiam controlar o funcionamento do ar-condicionado. Outro aspecto importante observado foi o uso do ar-condicionado nas primeiras horas da manhã para retirar o calor acumulado no dia anterior. Essas duas queixas foram comuns durante as visitas técnicas. A seguir, são discutidas as simulações de consumo de energia elétrica para iluminação.

5.3. Simulações de consumo energético das variáveis arquitetônicas de envoltória e obstrução externa

Neste item, são apresentados os dados simulados de consumo energético para os usos finais de iluminação, ar-condicionado e equipamentos. As variáveis discutidas são as obstruções externas e o consumo de energia elétrica para ar-condicionado e iluminação. Além disso, foram discutidos os resultados de consumo energético para iluminação e ar-condicionado e a influência dos elementos de envoltória (item 4.10).

5.3.1. Estudo da influência da obstrução externa e da altura do pavimento no consumo energético para iluminação

Em relação aos resultados de obstrução externa para os ambientes voltados para a orientação norte, não há diferença significativa das médias para o caso de obstrução externa (Tabela 48). Os mesmos testes de média (ANOVA e T-Student) foram realizados para as orientações leste, sul e oeste. Em nenhum dos casos de obstrução, o P-Value (Sig.) foi inferior a 5%, o que indica que as médias de consumo para o caso de obstrução externas são estatisticamente equivalentes (Tabela 48). **Assim, conclui-se que o consumo de energia elétrica para iluminação não varia devido à obstrução externa.**⁵⁵

Tabela 48: Análise de Variância (ANOVA) para comparação das médias devido à obstrução externa

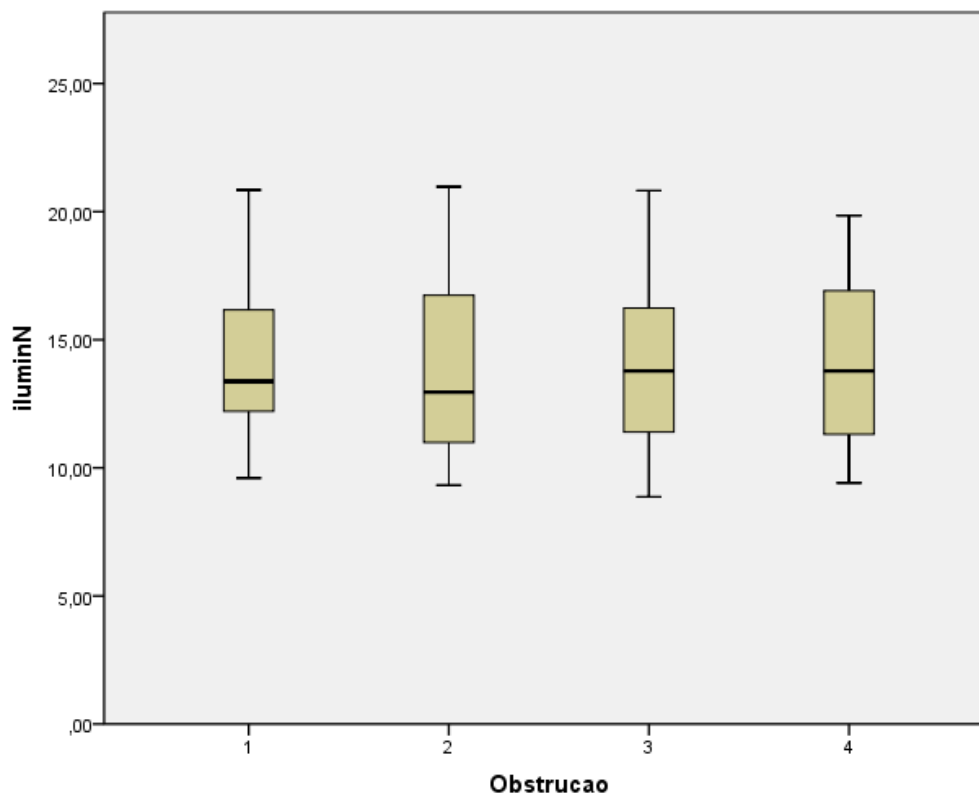
ANOVA					
iluminN					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1,516	3	,505	,040	,989
Within Groups	754,070	60	12,568		
Total	755,586	63			

P-Value (Sig.) > 0,05

A média de consumo foi de 14,07 kWh/m²ano para os 64 casos analisados (ambientes norte, leste, sul e oeste com as obstruções 1,2,3 e 4) com desvio padrão de 3,46 kWh/m²ano (Figura 45).

⁵⁵ Conforme descrito no item 4.12 – Método, o consumo de iluminação artificial é calculado com base nos valores de autonomia de luz natural como descreve Reinhart (2010). Assim, os valores de consumo energético para iluminação calculados no *Daysim* consideram o aproveitamento da luz natural também. Desta forma, a obstrução externa também não interfere nos valores de autonomia de luz natural obtidos por simulação.

Figura 45: gráfico Box-Plot: médias dos consumos de energia elétrica para iluminação dos cenários 1 a 32 separadas por obstrução



Foram comparadas as médias obtidas devido à variável da altura do pavimento (2° e 4°). Considerando todas as obstruções, a média de consumo de iluminação dos ambientes voltados para norte é menor para o caso da altura do 2° pavimento (média = 13,13kWh/m²ano) do que o caso da altura do 4° (média = 15,01kWh/m²ano) ao nível de 5% (Tabela 49).

Tabela 49: testes de média para comparação do consumo entre os pavimentos

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
iluminN Equal variances assumed	1,340	,251	-2,233	62	,029
Equal variances not assumed			-2,233	59,559	,029

No geral, os ambientes voltados para norte do 2° pavimento consomem cerca de 12,47% a mais do que os mesmos ambientes do 4° pavimento.

A mesma conclusão foi obtida para a diferença no consumo energético para iluminação devido à altura do pavimento (2º e 4º) tanto para os ambientes voltados para norte, como nas demais orientações. As médias de consumo são diferentes ao nível de 1%. Para a orientação sul, os ambientes do 2º pavimento consomem em média 22,8% menos do que os ambientes do 4º pavimento. Na orientação leste, essa diferença é de 32,1% e na orientação oeste, essa diferença é de 15,2%. **Portanto, conclui-se que o consumo de iluminação varia de acordo com a altura do pavimento.**

5.3.2. Influência do vidro e da proteção solar no consumo de iluminação

Para a análise da influência dos elementos de envoltória nos cenários simulados no consumo de iluminação, verificou-se a variação do PAF, do vidro e a presença ou não de proteção solar. A primeira comparação foi realizada entre os modelos com PAF de 50% e 80%. Os valores destacados em vermelho indicam redução de consumo e os valores em verde indicam aumento do consumo energético (Tabela 50).⁵⁶

⁵⁶ As tabelas de comparação entre os cenários estão no Apêndice H desta dissertação.

Tabela 50: comparação entre PAF 50% e PAF 80% entre os cenários 1 a 32

Comparação entre PAF 50% e PAF 80%					
		N	L	S	O
1 x 5	2 pav	-36,49%	5,51%	-53,29%	-30,74%
	4 pav	-32,41%	-43,41%	-20,09%	-9,90%
2 x 6	2 pav	-25,67%	12,88%	-51,41%	-29,96%
	4 pav	-26,04%	-43,66%	-23,88%	-14,64%
3 x 7	2 pav	-10,38%	0,40%	-56,92%	-12,57%
	4 pav	-12,42%	-39,54%	-8,33%	-13,24%
4 x 8	2 pav	-26,32%	-14,29%	-62,04%	-14,98%
	4 pav	-5,09%	-35,23%	-7,32%	-4,88%
9 x 13	2 pav	-29,07%	16,80%	-51,97%	-22,96%
	4 pav	-39,25%	-46,05%	-22,36%	-12,72%
10 x 14	2 pav	-28,96%	21,58%	-57,20%	-28,03%
	4 pav	-28,68%	-43,38%	-23,04%	-12,06%
11 x 15	2 pav	-7,04%	16,63%	-52,52%	-13,63%
	4 pav	-8,44%	-36,24%	-7,41%	-7,67%
12 x 16	2 pav	-3,79%	-8,75%	-54,69%	-16,21%
	4 pav	-23,76%	-38,62%	-10,44%	-5,46%
17 x 21	2 pav	-25,61%	7,29%	-60,23%	-32,77%
	4 pav	-31,35%	-39,89%	-24,02%	-17,37%
18 x 22	2 pav	-32,18%	10,42%	-54,24%	-26,56%
	4 pav	-20,19%	-38,38%	-27,66%	-17,79%
19 x 23	2 pav	-19,73%	-15,76%	-58,86%	-17,30%
	4 pav	-14,36%	-37,73%	-3,35%	-5,60%
20 x 24	2 pav	-6,21%	4,43%	-49,58%	-11,60%
	4 pav	-19,41%	-37,34%	-12,80%	-6,20%
25 x 29	2 pav	-31,60%	7,76%	-51,19%	-28,11%
	4 pav	-20,54%	-41,05%	-23,54%	-12,64%
26 x 30	2 pav	-35,55%	11,80%	-56,76%	-30,45%
	4 pav	-22,65%	-39,26%	-23,81%	-14,19%
27 x 31	2 pav	-10,92%	-9,79%	-57,37%	-12,42%
	4 pav	-19,26%	-36,04%	-7,62%	-6,62%
28 x 32	2 pav	-13,42%	-5,19%	-54,24%	-14,97%
	4 pav	-13,31%	-37,92%	-7,95%	-1,38%

Em relação à redução do PAF de 80% para 50%, a diferença máxima verificada foi de 62,04% entre os cenários 4 e 8 e a diferença mínima foi de 0,40%, entre os cenários 25 e 27. A diferença média entre os mesmos cenários com valores de PAF diferentes (50% e 80%) é 24,41%. De maneira geral, o consumo de iluminação diminuiu em média 24% com o aumento do PAF de 50% para 80%.

A mesma comparação foi realizada estudando os vidros TL 21% e TL 32%. Conclui-se, de maneira geral, que **o consumo para iluminação diminui com o aumento da TL, para os ambientes de orientação norte, leste e sul.** A diferença máxima verificada entre consumos foi de 60,74%, entre os cenários 14 e 16 e a diferença mínima foi de 1,50%, entre os cenários 25 e 27. **A diferença média entre os mesmos cenários com TL diferentes (32% e 21%) é 21,67%.**

Em seguida, compararam-se os valores de refletância externa no consumo de iluminação.

5.3.3. Comparação da refletância externa no consumo de iluminação

Comparando-se os resultados de cenários com mais obstruções externas com cenários com menos obstruções externas (13 e 29), verifica-se que há um aumento no consumo para iluminação. O caso com um dos aumentos mais significativos foi a comparação entre os cenários 13 (obstrução 2-obstrução média) e 29 (obstrução 4-sem obstrução), no qual há um aumento de 19% no consumo do quarto pavimento, especulando-se que tal resultado seja reflexo da contribuição da radiação solar refletida. Para comprovar tal especulação, calculou-se novamente o resultado para os mesmos cenários, porém, com as refletâncias externas de 1% (Tabela 51). A refletância padrão para obstrução externa é de 40%, conforme descrito no item 4.12.

Tabela 51: comparação dos cenários 13 e 29

Obstrução externa					
Comparação entre Obs. 2 e Obs. 4					
		N	L	S	O
13 x 29 (Comparação entre cenários com as refletâncias externas padrão)	2 pav	6%	-2%	0%	-2%
	4 pav	19%	9%	0%	9%
13.1 x 29.1 (Comparação entre cenários com as refletâncias externas de 1%)	2 pav	-4%	-1%	0%	-1%
	4 pav	-4%	-8%	0%	-8%

Na comparação entre os cenários 13 e 29, é possível concluir que: **considerando as refletâncias externas de 40%, o consumo para iluminação aumenta, quando a obstrução externa diminui. Porém, considerando as refletâncias externas como 1%, o consumo para iluminação diminui, quando a obstrução externa diminui. Sendo assim, o fato de o consumo para iluminação diminuir quando a obstrução externa aumenta pode ser explicado pela contribuição da radiação solar refletida.**

5.3.4. Influência da obstrução externa e da altura do pavimento no consumo de ar-condicionado

A média de consumo de ar-condicionado nos cenários de 1 a 32 foi de 48,65kWh/m²ano, com desvio padrão total de 6,44kWh/m²ano (Tabela 52).

Tabela 52: médias de consumo e desvio padrão do consumo de ar-condicionado dos cenários de 1 a 32

Obstrução	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
1	16	49,091666	6,6512179	1,6628045
2	16	46,831548	5,5458754	1,3864688
3	16	48,897878	6,6648190	1,6662047
4	16	49,779243	7,0726572	1,7681643
Total	64	48,650084	6,4475680	,8059460

Os mesmos testes de média (*ANOVA* e *T-Student*) foram realizados para o consumo de ar-condicionado para analisar a influência da obstrução externa e do número de pavimento nos ambientes simulados. A conclusão foi semelhante ao consumo de iluminação. Como o valor de *sig* foi superior a 5%, não há diferenças das médias devido à obstrução externa em todas as orientações analisadas (Tabela 53). A Tabela 53 mostra os gráficos de dispersão dos dados simulados de ar-condicionado.

Tabela 53: análise de variância devido à obstrução externa do consumo de ar-condicionado

Análise de variância (Sig.)						
N	ANOVA					
	AcN					
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Between Groups	77,415	3	25,805	,609	,612
	Within Groups	2541,566	60	42,359		
Total	2618,981	63				
L	ANOVA					
	AcL					
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Between Groups	13,232	3	4,411	,107	,956
	Within Groups	2475,361	60	41,256		
Total	2488,594	63				
S	ANOVA					
	AcS					
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Between Groups	33,841	3	11,280	,477	,700
	Within Groups	1420,041	60	23,667		
Total	1453,882	63				
O	ANOVA					
	AcW					
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Between Groups	163,359	3	54,453	1,516	,220
	Within Groups	2155,432	60	35,924		
Total	2318,791	63				

Por último, foram analisados os dados simulados de consumo para ar-condicionado devido à influência da altura do pavimento (2° e 4°). A média de consumo de ar-condicionado é menor no segundo pavimento do que o quarto ao nível de 1% em todas as orientações analisadas.

Assim, **pode-se concluir que a obstrução externa não exerce influência nas médias de consumo de ar-condicionado nos ambientes simulados.** Além disso, os ambientes do último pavimento (4°) possuem um consumo 16% maior, em média, de ar-condicionado em relação ao 2° (intermediário) devido à influência da cobertura em todas as orientações (norte, sul, leste e oeste).

5.3.5. Influência dos elementos da envoltória no consumo de ar-condicionado: PAF, vidro e proteção solar

De modo semelhante à análise de iluminação, foram comparadas as variáveis de PAF, fator solar do vidro e a presença ou não de proteção solar nos cenários 1 a 32 no consumo de ar-condicionado.⁵⁷ A primeira comparação foi entre os cenários com PAF 50% e 80%.

Quando comparados os cenários de PAF 50% e os de PAF 80%, **o consumo para ar condicionado aumenta com o aumento do PAF, para os ambientes de orientação norte, leste, sul e oeste em 12%.**

Em seguida, compararam-se os cenários de FS 30% e os de FS 43%. Conclui-se, de maneira geral, que **o consumo para ar condicionado aumenta com o aumento do FS, para os ambientes de orientação norte, leste, sul e oeste em 5,17% em média.**

Quando comparados os cenários sem e com proteção solar, **o consumo para ar condicionado diminui com a utilização da proteção solar, para os ambientes de orientação norte, leste, sul e oeste em 12,17%.**

Portanto, os modelos simulados com menor consumo de ar-condicionado são os cenários com PAF de 50% com proteção solar. Nos cenários com as duas estratégias aplicadas juntas (adição de sombreamento externo e PAF de 50%), houve uma redução de consumo de 10% a 20% no consumo de ar-condicionado.

Após a discussão das variáveis da envoltória e a influência no consumo energético, são discutidos a porcentagem por usos finais nos cenários simulados 1 a 32.

5.4. Consumo energético e usos finais

O maior consumo foi do cenário 25 (115,46 kWh/m²ano). Esse cenário é caracterizado por ter PAF de 80% sem proteção solar, com vidro FS 32% e TL 21%. O cenário com o menor consumo, de 92,65 kWh/m²ano foi o 16 com a obstrução externa 2, proteção solar e vidro com FS 43% e TL 32%. A diferença de consumo total (incluindo os três usos finais) entre o cenário 31 e o 16 foi de 19%. Conforme visto no item 4.11 (Método), o consumo para equipamentos é 28,6 kWh/m²ano em todos os cenários simulados (Tabela 54).

⁵⁷ As tabelas com as comparações de consumo para ar-condicionado estão presentes no Apêndice I da dissertação.

Tabela 54: usos finais do consumo de energia elétrica dos cenários 1 a 32 (Iluminação DPI 12W/m² e Ar-Condicionado CoP 2,80)

Cenário	Iluminação (kWh/m ² ano)	%	Ar-Condicionado (kWh/m ² ano)	%	% Equipamentos	Total (kWh/m ² ano)
1	30,18	29%	46,85	44%	27%	105,63
2	29,45	29%	42,55	42%	28%	100,59
3	24,24	24%	49,41	48%	28%	102,26
4	24,52	25%	43,71	45%	30%	96,84
5	21,83	22%	49,74	50%	29%	100,16
6	21,59	23%	43,67	47%	30%	93,86
7	19,07	19%	53,72	53%	28%	101,39
8	19,14	21%	45,48	49%	31%	93,22
9	29,33	28%	46,65	45%	27%	104,58
10	29,25	29%	42,43	42%	29%	100,28
11	23,68	23%	49,05	48%	28%	101,33
12	24,03	25%	43,57	45%	30%	96,19
13	21,60	22%	49,03	49%	29%	99,23
14	21,59	23%	43,51	46%	31%	93,70
15	19,42	19%	52,67	52%	28%	100,69
16	18,77	20%	45,28	49%	31%	92,65
17	29,56	28%	48,50	45%	27%	106,66
18	29,43	29%	43,03	43%	28%	101,07
19	24,04	23%	51,60	49%	27%	104,24
20	24,15	25%	44,29	46%	29%	97,04
21	20,96	21%	52,06	51%	28%	101,62
22	21,53	23%	44,21	47%	30%	94,33
23	18,81	18%	56,89	55%	27%	104,30
24	19,50	21%	46,19	49%	30%	94,29
25	29,97	26%	56,89	49%	25%	115,46
26	29,63	26%	53,72	48%	26%	111,95
27	24,24	21%	61,30	54%	25%	114,14
28	23,77	23%	52,98	50%	27%	105,35
29	22,20	20%	60,09	54%	26%	110,89
30	21,48	21%	52,44	51%	28%	102,51
31	19,08	17%	65,58	58%	25%	113,26
32	19,06	19%	51,97	52%	29%	99,63
33	29,17	25%	56,89	50%	25%	114,65
Média	23,60	23%	49,66	49%	28%	101,85

De maneira geral, o consumo com ar-condicionado nos 32 modelos simulados corresponde a aproximadamente 50% do consumo total do modelo simulado, seguido do consumo dos equipamentos de escritórios (computadores, impressoras etc), 28%. O consumo de iluminação é responsável por 23% do consumo total.

Como o consumo de iluminação e ar-condicionado foram responsáveis ainda por quase 70% do consumo energético, mesmo nos cenários com menor consumo, foram

realizadas simulações com equipamentos mais eficientes. **Portanto, foram selecionados os oito cenários com os menores consumos de energia elétrica total para a realização de simulações com equipamentos com eficiência de nível “A”.** Em todos esses oito cenários, o PAF utilizado foi entre 32% e 50%. Além disso, esses modelos possuem proteção solar e vidro com baixo fator solar (FS menor ou igual a 43%).

Nos cenários de 34 a 41, o ar-condicionado foi mantido no nível “C” (CoP 2,80) e a DPI foi reduzida para 9W/m² (nível “A”). Nos cenários de 42 a 49, foram utilizados DPI de 9W/m² e ar-condicionado com CoP de 3,50 (nível “A”). Além disso, com a consulta de catálogos de ar-condicionado vendidos no Brasil, confirmou-se que a eficiência do ar-condicionado pode ter um nível de CoP 4,50⁵⁸, eficiência maior do que é exigido pelo RTQ-C (2010). Os cenários 50 a 57 correspondem aos equipamentos mais eficientes (CoP 4,50 e DPI 9W/m², ambos de nível “A”).

Discute-se com base nos resultados simulados a importância da eficiência dos equipamentos existentes. Nos cenários com melhor desempenho energético, 51 a 57, o consumo total ficou entre 71,4kWh/m²ano e 77,4kWh/m²ano. Nesses cenários (51 a 57), o consumo reduziu 19,6% em relação ao melhor modelo (16) dos cenários de 1 a 32 (Tabela 55).

⁵⁸ Catálogos da Carrier e Daikin Brasil (2018). Disponível em: <<http://www.carrierdobrasil.com.br/>> e <<http://www.daikin.com.br/produtos/comercial>>. Acesso em: 11 jul. 2018

Tabela 55: usos finais de energia elétrica nos cenários 34 a 57

DPI 9W/m² a Ar-Condicionado CoP - 2,80						
Cenário	Iluminação (kWh/m²ano)	%	AC	%	% Equipamentos	Total (kWh/m²ano)
34	22,19	24%	42,55	46%	31%	93,34
35	17,93	20%	43,71	48%	32%	90,25
36	16,04	18%	43,67	49%	32%	88,31
37	14,39	16%	45,48	51%	32%	88,47
38	15,88	18%	43,51	49%	33%	88,00
39	14,27	16%	45,28	51%	32%	88,15
40	22,07	23%	45,88	48%	30%	96,55
41	18,06	20%	44,29	49%	31%	90,95
Média	17,60	19%	44,30	49%	32%	90,50
DPI 9W/m² a Ar-Condicionado CoP - 3,50						
42	22,19	26%	34,17	40%	34%	84,97
43	17,93	22%	35,16	43%	35%	81,69
44	16,04	20%	35,12	44%	36%	79,76
45	14,39	18%	36,65	46%	36%	79,64
46	15,88	20%	34,94	44%	36%	79,42
47	14,27	18%	36,39	46%	36%	79,26
48	22,07	26%	34,43	40%	34%	85,10
49	18,06	22%	35,44	43%	35%	82,09
Média	17,60	22%	35,28	43%	35%	81,49
DPI 9W/m² a Ar-Condicionado CoP - 4,50						
50	22,19	29%	26,58	34%	37%	77,37
51	17,93	24%	27,34	37%	39%	73,87
52	16,04	22%	27,31	38%	40%	71,95
53	14,39	20%	28,51	40%	40%	71,49
54	15,88	22%	27,17	38%	40%	71,66
55	14,27	20%	28,30	40%	40%	71,17
56	22,07	28%	26,78	35%	37%	77,45
57	18,06	24%	27,56	37%	39%	74,22
Média	17,60	24%	27,44	37%	39%	73,65

Em relação aos usos finais, o ar-condicionado que é responsável por aproximadamente 50% do consumo de energia elétrica caiu para cerca de 37% (cenários 50 a 57). Os equipamentos passaram de 32% para 39% em média e os sistemas de iluminação continuaram em 24% do consumo total nos cenários 50 a 57.

Conclui-se que as variáveis PAF, vidro (FS/TL) e adição de proteções solares foram responsáveis pela diminuição de cerca de 20% do consumo energético. A escolha dos equipamentos mais eficientes é crucial na implantação de edifícios NZEB. A troca para equipamentos do nível “C” para o “A” é responsável também pela redução de cerca de 19% do consumo energético.

Assim, um edifício mais eficiente deve trabalhar as variáveis de envoltória junto com a escolha de equipamentos mais eficientes para a redução do consumo. **Quando os**

elementos do edifício NZEB são pensados (redução do consumo energético, envoltória eficiente e eficiência energética) a redução do consumo entre o cenário 25 (pior) e o 55 (melhor) foi de 38,16%. A seguir, discute-se a importância da ventilação natural na redução do consumo energético para ar-condicionado.

5.5. Influência da ventilação natural e da massa térmica no consumo energético

A última variável pesquisada foi a inclusão da ventilação natural nos ambientes simulados. Discute-se nesse item a redução do consumo de ar-condicionado com a utilização da ventilação natural (Método - item 4.11.1) e da massa térmica (Método - 4.11.2).

5.4.1. Ventilação natural

Foram utilizados nos cenários 64 a 69 a estratégia de ventilação natural para resfriamento passivo (descritos no método no item 4.11). O consumo de ar-condicionado ficou entre 21,44 kWh/m²ano e 23,09 kWh/m²ano (Tabela 56).

Tabela 56: consumo energético por uso final dos cenários 64 a 69

DPI 9W/m ² a Ar-Condicionado CoP - 4,50 com ventilação natural						
Cenário	Iluminação (kWh/m ² ano)	%	AC	%	% Equipamentos	Total (kWh/m ² ano)
64	22,19	30%	22,33	31%	39%	73,12
65	17,93	26%	23,09	33%	41%	69,62
66	16,04	24%	21,49	32%	43%	66,13
67	14,39	22%	22,60	34%	44%	65,59
68	15,88	24%	21,39	32%	43%	65,87
69	14,27	22%	22,44	34%	44%	65,31
Média	16,78	25%	22,22	33%	42%	67,61

Em média, a ventilação natural nos ambientes simulados causou uma redução de 15,56% a 20,69% no consumo de energia elétrica para ar-condicionado (Tabela 57). O consumo de energia elétrica total dos cenários 64 a 69 ficou entre 65kWh/m²ano e 73,12Kwh/m²ano.

Tabela 57: redução do consumo de ar-condicionado nos cenários sem e com ventilação natural

Cenários (sem ventilação)	Consumo AC (kWh/m ² ano)	Cenário (ventilação)	Consumo AC (kWh/m ² ano)	Redução
50	26,58	64	22,33	-15,99%
51	27,34	65	23,09	-15,56%
52	27,31	66	21,49	-21,31%
53	28,51	67	22,60	-20,71%
54	27,17	68	21,39	-21,28%
55	28,30	69	22,44	-20,69%

5.4.2. Ventilação da massa térmica combinada à estratégia de ventilação natural

A estratégia da ventilação natural (item 4.11.1) causou uma redução no consumo de energia elétrica em cerca de 15%. A estratégia da ventilação da massa térmica reduziu o uso do ar-condicionado entre 8h e 11h diariamente, como descrito no item 4.11.2. Conseqüentemente, o consumo de energia elétrica total nos cenários 58 a 63 ficou entre 62,22 kWh/m²ano e 69,72 kWh/m²ano (Tabela 58).

Tabela 58: consumo energético por uso final nos cenários 58 a 63

DPI 9W/m ² a Ar-Condicionado CoP - 4,50 com ventilação da massa térmica (teto) e natural						
Cenário	Iluminação (kWh/m ² ano)	%	AC	%	% Equipamentos	Total (kWh/m ² ano)
58	22,19	32%	18,93	27%	41%	69,72
59	17,93	27%	19,58	30%	43%	66,11
60	16,04	25%	18,54	29%	45%	63,18
61	14,39	23%	19,49	31%	46%	62,48
62	15,88	25%	18,48	29%	45%	62,96
63	14,27	23%	19,35	31%	46%	62,22
Média	16,78	26%	19,06	30%	44%	64,45

A ventilação da massa térmica foi suficiente para reduzir o consumo de ar-condicionado em 13% a 15%. Essa redução foi possível, porque os ambientes são resfriados à temperatura de 25°C sem o uso de ar-condicionado entre 8h e 11h (período da manhã) (Tabela 59). No entanto, como visto no item 4.11.2, o cálculo realizado é teórico e as aberturas devem ser corretamente dimensionadas para que essa estratégia de resfriamento passivo tenha o efeito desejado.

Tabela 59: redução do consumo de ar-condicionado entre os cenários 64 a 69 (ventilação natural) e 58 a 63 (ventilação natural combinada à ventilação da massa térmica)

Cen. Vent. natural	Consumo AC (kWh/m ² ano)	Cen.: Vent. Natural combinada com a noturna	Consumo AC (kWh/m ² ano)	
64	22,33	58	18,93	-15,22%
65	23,09	59	19,58	-15,22%
66	21,49	60	18,54	-13,75%
67	22,60	61	19,49	-13,77%
68	21,39	62	18,48	-13,61%
69	22,44	63	19,35	-13,78%

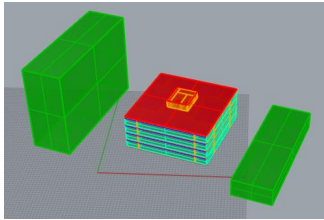
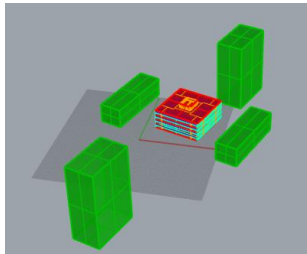
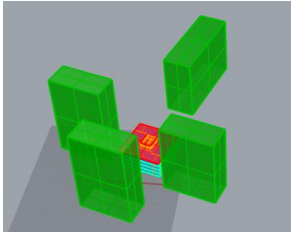
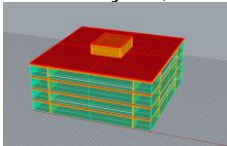
A redução do consumo do melhor cenário (63), que emprega todas as características de melhoria do desempenho da envoltória (4.10), utilização de equipamentos eficientes (nível “A”) com a utilização de ventilação natural e da massa térmica e o pior cenário simulado (25) foi de 46%.

A eficiência dos equipamentos não foi discutida no trabalho, que incluem o uso de monitores, computadores, impressoras etc. Logo, há um potencial de redução de energia maior do que 46%, como alcançado nas simulações;

5.6. Cálculos de produção de energia elétrica

Os resultados das simulações no programa PVSYST, v.6.7.0 foram obtidos por meio de relatórios, conforme descrito no capítulo do método (item 4.14). Após o cálculo, os resultados foram computados em planilhas no EXCEL e dispostos por superfícies (cobertura e as fachadas norte, leste e oeste). Como há quatro configurações de obstruções externas, a quantidade de produção de energia é variável. Portanto, a análise será feita a cada oito cenários (1 a 8, 9 a 16, 17 a 24 e 25 a 32). No cenário 33, correspondente à situação original, não há produção de energia elétrica. Nos cenários subsequentes (34 a 69), não houve alteração nos módulos, tampouco na área para coleta de energia. Os resultados estão expostos na Tabela 60.

Tabela 60: cálculo de produção de energia por obstrução externa

Obstrução	Resultados					
<p>1 (cenários 1 a 8)</p> 	Cálculo da produção do edifício (kWh/ano)					
	Cenário	Fachada N	Fachada L	Fachada O	Cobertura (flat roof)	Total
	1	6330	15859	18942	143208	184339
	2	24673	28516	31582	143208	227979
	3	6330	15859	18942	143208	184339
	4	24673	28516	31582	143208	227979
	5	2532	6344	7577	143208	159661
	6	37009	40992	45400	143208	266609
	7	2532	6344	7577	143208	159661
<p>2 (cenários 8 a 16)</p> 	8	37009	40992	45400	143208	266609
	9	5121	14041	7960	120399	147521
	10	20219	25853	19276	120399	185747
	11	5121	14041	7960	120399	147521
	12	20219	25853	19276	120399	185747
	13	2048	5616	3184	120399	131247
	14	30329	37164	27710	120399	215602
	15	2048	5616	3184	120399	131247
	16	30329	37164	27710	120399	215602
<p>3 (cenários 17 a 24)</p> 	17	1877	2968	2225	38584	45654
	18	6084	6655	5889	38584	57212
	19	1877	2968	2225	38584	45654
	20	6084	6655	5889	38584	57212
	21	751	1187	890	38584	41412
	22	9125	9567	8465	38584	65741
	23	751	1187	890	38584	41412
	24	9125	9567	8465	38584	65741
	<p>4 (cenários 25 a 32) Sem obstrução (teórico)</p> 	25	11055	28982	25559	175465
26		30266	40362	37105	175465	283198
27		11055	28982	25559	175465	241061
28		30266	40362	37105	175465	283198
29		4422	11593	10224	175465	201704
30		45399	58021	53339	175465	332224
31		4422	11593	10224	175465	201704
32		45399	58021	53339	175465	332224
(Cen. 33) sem produção		33	0	0	0	0

As variações de produção de energia se deram com o sombreamento causado pelos edifícios ao redor dos modelos simulados. A produção máxima ocorreu no modelo teórico onde a produção ficou entre 201.704 kWh/ano e 332.224 kWh/ano. A cobertura é responsável por 40% a 60% da produção, sendo o restante da energia produzida na fachada.

No caso das obstruções 2 e 3, não houve grandes variações na produção de energia. No entanto, com o sombreamento das fachadas, a produção de energia teve uma queda de 35,1% (comparação entre os cenários 16 e 32). Outra alteração é a proporção entre a produção da cobertura e da fachada. Nos cenários sem obstrução externa, a cobertura é responsável por 40% a 60% da produção de energia elétrica. Nos cenários com as obstruções 1, 2 e 3, quase 80% a 90% da energia elétrica é produzida na cobertura devido ao sombreamento externo das fachadas. Entre os cenários 34 a 69, não houve alteração na produção energética, pois não houve alteração da envoltória dos modelos simulados.⁵⁹

O pior caso do ponto de vista da produção de energia é na obstrução 3, onde a produção de energia fica limitada a quase 20% do máximo potencial em comparação aos cenários sem obstrução externa (modelo teórico). No entanto, essa pior situação ainda é viável, porque ainda é possível a produção de energia elétrica nos edifícios de 4 pavimentos. Com base nos resultados das simulações de consumo e produção de energia elétrica, discute-se, a seguir, o balanço energético de todos os cenários simulados (1 a 69).

⁵⁹ Os dados de produção de energia nos cenários 34 a 69 estão no Apêndice J.

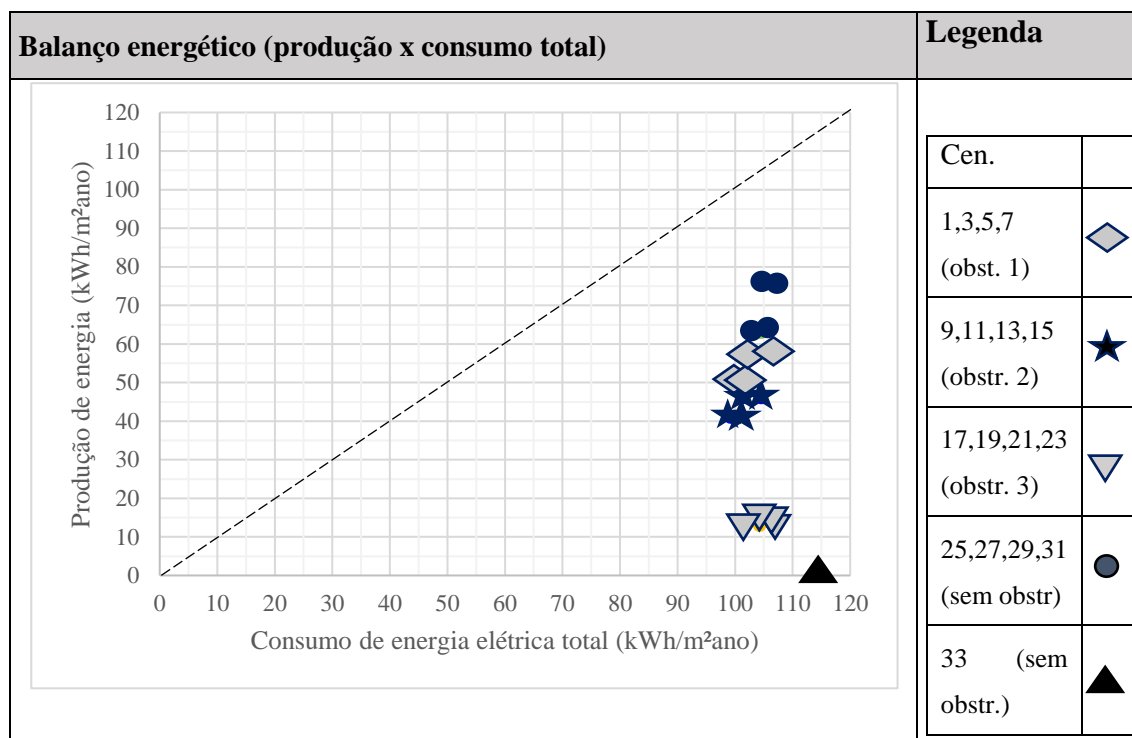
5.7. Balanço energético

Com base nos resultados de consumo energético incluindo todos os usos finais considerados (iluminação, equipamentos e ar-condicionado) e no cálculo de produção de energia, discute-se o balanço energético nos cenários simulados.

A análise foi dividida nos cenários 1 a 33 (variação das variáveis arquitetônicas e equipamentos de nível “C”), 34 a 57 (variação da eficiência dos equipamentos) e 58 a 69 (cenários com o menor consumo combinados com as estratégias de ventilação).

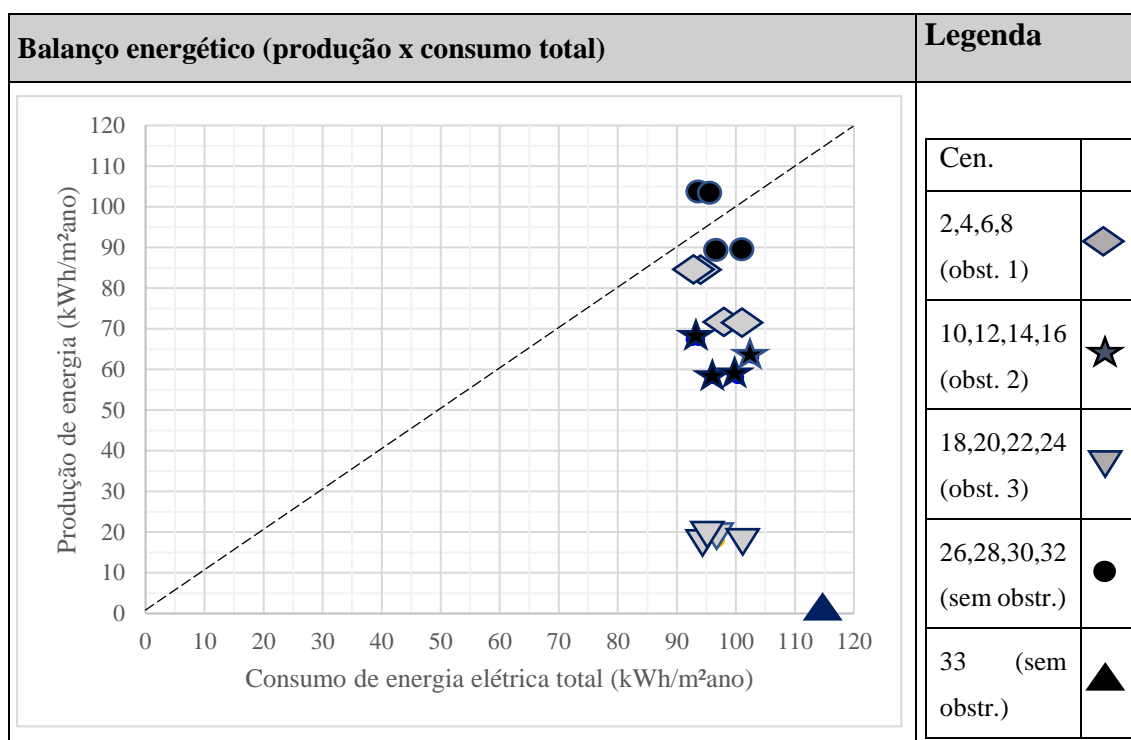
Nenhum modelo com PAF elevado (80%) e sem proteção solar alcançou o balanço energético nulo. Na situação original, cenário 33 não há produção de energia elétrica. Nos cenários 17 a 24, a produção de energia é restrita, devido ao sombreamento externo da obstrução 3 (Figura 46).

Figura 46: balanço energético dos cenários 1 a 32 sem proteção solar



Nos cenários de 1 a 32, a adição de proteção solar foi uma variável fundamental para aproximar da meta NZEB devido à redução no consumo de ar-condicionado nos ambientes de escritórios em 12%. Nos cenários 1 a 32 com proteção solar, é produzido 50% a 60% da energia consumida total (Figura 47).

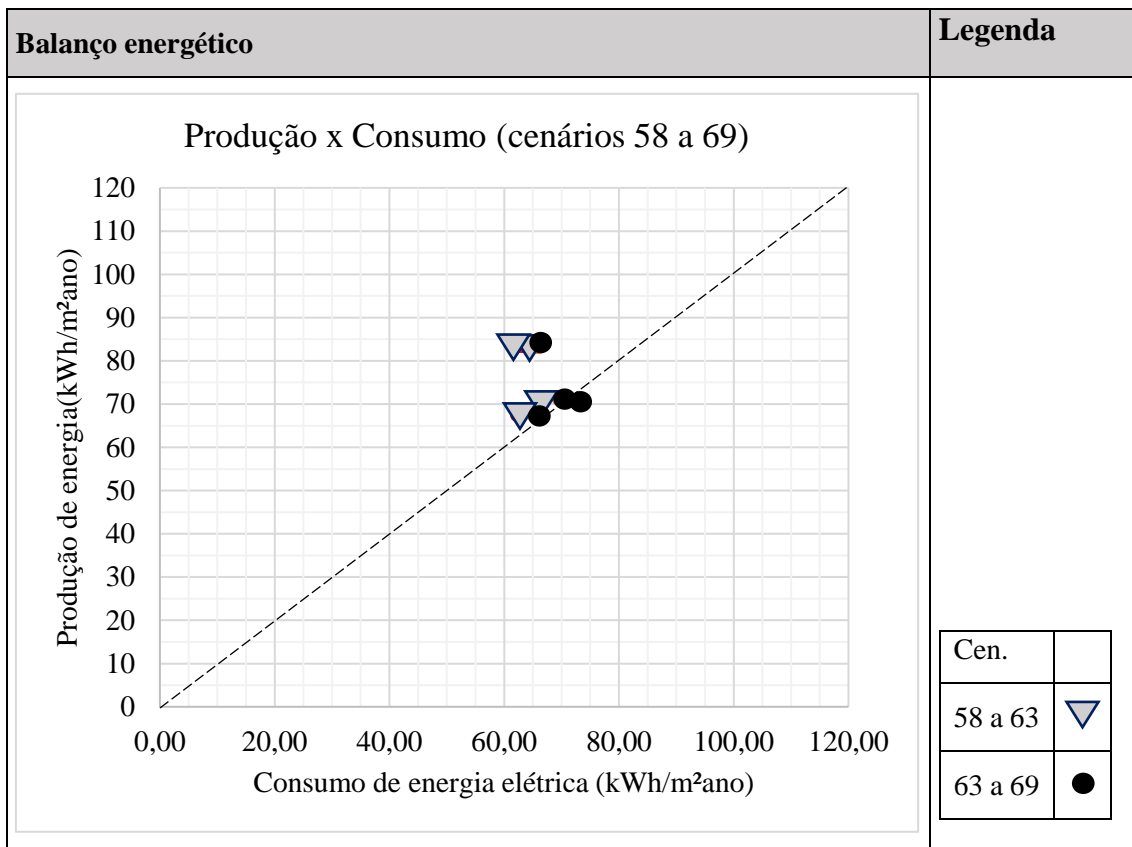
Figura 47: balanço energético dos cenários 1 a 32 com proteção solar (cenário 33 não tem proteção solar)



Em relação aos cenários 1 a 32, apenas os cenários 30 e 32 alcançaram o balanço energético nulo (sem obstrução externa). Esses cenários têm como características: PAF 50% e presença de sombreamento externo das aberturas envidraçadas.

Os cenários que atingiram a meta NZEB foram os cenários 58 a 69. Neste contexto, o que fez essa meta ser alcançada foram os elementos fundamentais do edifício NZEB discutidos no capítulo 2: estratégias passivas e ativas para redução do consumo energético, a melhor eficiência energética dos equipamentos elétricos e a produção de energia. Esses cenários são caracterizados por ter um baixo consumo energético (entre 60 e 75 kWh/m²ano). Em média, a proporção entre produção e consumo nos cenários 58 a 69 foi entre 95% a 112%. Assim, a meta de NZEB foi alcançada nesses cenários. A exceção foi no cenário 64, onde a proporção entre produção e consumo de energia foi de 97%, porém bem próxima à meta do balanço energético nulo (Figura 48).

Figura 48: balanço energético nos cenários 58 a 63 (com ventilação da massa térmica e ventilação natural) e 64 a 69 (apenas com ventilação natural)



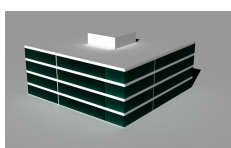
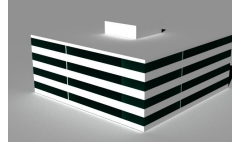
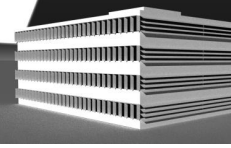
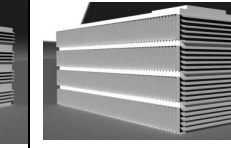


A seguir, são apresentadas as diretrizes para retrofit de edifícios de escritórios de até 4 pavimentos com características NZEB no contexto climático de Brasília.

5.8. Diretrizes para obtenção do balanço energético nulo no modelo de 4 pavimentos

A envoltória mais eficiente no modelo de 4 pavimentos inclui a redução do PAF (faixa ideal entre 32% e 50%), o sombreamento externo e o vidro com fator solar menor ou igual a 43%. Os edifícios sem proteção solar na envoltória e com PAF de 80% não alcançaram a meta NZEB. Na Tabela 61, são apresentadas as características da envoltória simuladas e o consumo energético encontrado.

Tabela 61: consumo energético e características de envoltória simuladas (PAF e proteção solar)

Eficiência da envoltória			
Maior consumo			Menor consumo
			
PAF 80% Sem proteção solar	PAF 50% Sem proteção solar	PAF 32% Com proteção solar	PAF 50% Com proteção solar
Consumo (kWh/m ² ano)			
115	114	102	99

Além disso, os sistemas de iluminação e ar-condicionado utilizados devem ter o melhor nível de eficiência (nível “A” ou superior). Por último, os edifícios que atingiram o balanço energético nulo no contexto climático de Brasília devem considerar a ventilação natural e a ventilação noturna como elementos de resfriamento passivo nos ambientes de escritórios. A Tabela 62 resume as diretrizes para a obtenção do balanço energético nulo em edifícios de escritórios de até 4 pavimentos em Brasília.

Tabela 62: diretrizes para obtenção do balanço energético nulo

Envoltória	
Variável	Descrição
PAF	Faixa entre 30% e 50% (orientações norte, sul, leste e oeste)
Vidro	FS 43%/ TL 32%
Proteção solar	Bloquear o sol entre 9h da manhã e 16h30 da tarde (detalhes no item 4.9 – Método)
Eficiência dos equipamentos	
Sistema	Descrição
Iluminação	Nível “A” (RTQ – C) – DPI igual ou menor a 9W/m ² (Sistemas LED)
Ar-Condicionado	Nível superior ao “A” (CoP sugerido 4,50)
Ventilação (envoltória e aberturas internas)	
Estratégia	Descrição
Ventilação natural	Considerar área de abertura para ventilação (40% da área de abertura envidraçada da fachada) e áreas de aberturas para saída do ar para o <i>core central</i> (área de circulação vertical) a 1,80m do piso com altura mínima de 30 cm (item 4.11.1 – Método)
Ventilação da massa térmica	Criar aberturas entre o forro e a laje para a ventilação da massa térmica para remoção do calor acumulado e considerar o modo “fechamento” entre 8h e 11h do ambiente de escritório (descrição no item 4.11.2 - Método)
Produção de energia solar fotovoltaica	
Fonte	Descrição
Energia solar fotovoltaica	Considerar o sombreamento externo e a área disponível de cobertura e de fachadas disponíveis nas orientações norte, leste e oeste (descrição no item 4.14 – Método)

Mesmo que não haja estratégias passivas e ativas para redução do consumo energético total no modelo de 4 pavimentos (cenários 1 a 32 sem proteção solar), é possível produzir de 30% a 50% de energia elétrica em relação ao consumo total anual nas obstruções 1 e 2.

6. Discussão

Aborda-se neste capítulo a discussão das diretrizes de projeto para edifícios de escritórios NZEB de até 4 pavimentos no contexto climático de Brasília. Além disso, é discutida a importância da troca dos sistemas de iluminação e ar-condicionado para níveis mais eficientes. No final, há a discussão das limitações da pesquisa, as sugestões de trabalhos futuros e a conclusão sobre a viabilidade de implementação de edificações NZEB neste contexto.

6.1. Discussão dos resultados

Nenhum edifício simulado com PAF 80% atingiu a meta de balanço energético nulo. De maneira geral, nos cenários sem proteção solar, a diferença de consumo de ar-condicionado entre os mesmos cenários com diferentes valores de PAF, entre 50% e 80% foi de cerca de 6%. A redução do PAF para a faixa entre 30% e 50 foi um fator determinante para a obtenção do balanço energético nulo.

Em relação ao fator solar do vidro, foram realizadas duas simulações com PAF 80% e vidro simples (FS 90%) seguindo as mesmas características do modelo de 4 pavimentos. Não havia proteção solar no modelo simulado. O consumo de ar-condicionado foi superior a 90 kWh/m²ano. Após esse teste, o vidro simples (FS 90%), com fator solar alto foi descartado, porque o máximo de produção de energia alcançado pela área do modelo de 4 pavimentos não ultrapassou 90 kWh/m²ano, impossibilitando a meta de balanço energético nulo. Assim, a recomendação da utilização de vidros com baixos fatores solares é válida para atingir a meta de NZEB no modelo simulado de 4 pavimentos em Brasília. No geral a troca do fator solar de 43% para 30%, a redução do consumo média foi, em média, 5%.

A maior redução do consumo de ar-condicionado foi obtida a partir da adição de sombreamento externo das áreas envidraçadas (janelas), com redução média de 12% no consumo energético para ar-condicionado. O sombreamento externo contribui como filtro da radiação solar direta nas superfícies envidraçadas e não prejudica a iluminação nos ambientes de escritórios devido à radiação refletida. Em metade dos casos, nas orientações norte, leste e oeste, há uma diminuição no consumo de iluminação em cerca de 4% com a adição de proteções solares.

As estratégias de ventilação natural e da massa térmica foram soluções passivas de resfriamento responsáveis pela diminuição de cerca de 20% do consumo de ar-

condicionado nos ambientes de escritórios. Assim, corrobora-se a visão de que a ventilação deve ser um elemento a ser trabalhado nos edifícios de escritórios para redução do consumo energético.

Logo, os projetistas devem pensar em aberturas para ventilação tanto para o ambiente de escritórios como para o resfriamento do calor acumulado pelas lajes dos edifícios entre os pavimentos. As áreas de saídas de ventilação utilizaram os espaços de circulação vertical (escadas e elevadores) para a circulação do ar. A configuração da circulação é de *core central* nos edifícios de 4 pavimentos analisados. Portanto, essa é uma boa alternativa para posicionar as aberturas de saída e proporcionar a ventilação por efeito chaminé (exaustão do ar quente), como visto no item 4.11.1 – Método.

Os cenários com melhor desempenho, 58 a 63 utilizaram uma combinação de estratégias arquitetônicas com a utilização de equipamentos mais eficientes. As características foram: adição de proteções solares, vidro (FS 43%/ TL 32%), PAF 50% e utilização de ventilação natural e da massa térmica (resfriamento das lajes entre os pavimentos). Além disso, a utilização dos sistemas de iluminação e ar-condicionado de nível “A” (RTQ-C) é imprescindível. O sistema de iluminação nos cenários mais eficientes (58 a 63) tem a DPI de 9W/m² e o sistema de ar-condicionado, CoP médio de 4,50. No caso do ar-condicionado, o CoP médio deve ser mais eficiente do que o nível “A” (RTQ-C).

Como discutido nos resultados, a obstrução externa não exerce influência no modelo de 4 pavimentos simulado no consumo energético para ar-condicionado e iluminação. Então, essas diretrizes projetuais para redução no consumo energético total são válidas independentemente da situação de obstrução externa encontrada nos setores pesquisados em Brasília para os edifícios de 4 pavimentos.

Vale ressaltar que a quantidade de energia produzida a partir dos módulos solares fotovoltaicos dependem fortemente do sombreamento externo e da área disponível para coleta da radiação solar. A seguir são discutidos os usos finais de energia elétrica (iluminação e ar-condicionado) e os níveis de eficiência exigidos para obtenção do edifício NZEB.

6.2. Usos finais de energia elétrica

Nos cenários de 1 a 32, os sistemas de iluminação e ar-condicionado são responsáveis por cerca de 80% do consumo total anual de energia elétrica. Como visto no item 3.7 em edifícios convencionais, a proporção dos usos finais foi semelhante aos valores simulados dos cenários de 1 a 32, onde os sistemas de ar-condicionado eram responsáveis por 50% a 70% do consumo de energia elétrica e os sistemas de iluminação por 20% a 30% do consumo total. Logo, esse resultado está de acordo com a revisão teórica realizada.

Em edifícios NZEB, o conceito de eficiência energética é aplicado. Portanto, a utilização de equipamentos eficientes é imprescindível. O RTQ-C foi aplicado, pois é um sistema de etiquetagem vigente para os edifícios públicos no contexto brasileiro.

No entanto, os requisitos para nível “A” em relação aos sistemas de ar-condicionado e de iluminação devem ser mais rígidos dos que os requisitos mínimos exigidos pelo RTQ-C. Por exemplo, sugere-se para o sistema de ar-condicionado o CoP médio de 4,50. Nos sistemas de iluminação, a redução da DPI de 12W/m² para 9W/m² também é imprescindível.

Como este trabalho tem um recorte com relação aos edifícios de escritórios com altura de 4 pavimentos, não é possível determinar que os edifícios com mais de quatro pavimentos também não sejam passíveis de se tornarem NZEB.

6.3. Limitações da pesquisa e sugestão de trabalhos futuros

As principais limitações e sugestões de trabalhos futuros da pesquisa foram:

- a) não há definição de NZEB no contexto brasileiro aplicada à legislação urbanística. Outros trabalhos devem ter foco nos benefícios de implantação de edifícios NZEB no contexto brasileiro;
- b) outras fontes de energia podem e devem ser utilizadas como formas de produção de energia no edifício, além da energia solar fotovoltaica. A geração de energia off-site pode também ser considerada. A normativa brasileira já permite a compensação em endereços diferentes;
- c) não foram avaliados os custos de cada estratégia trabalhada na arquitetura, na troca dos equipamentos, tampouco na instalação dos módulos fotovoltaicos;
- d) os cálculos de resfriamento passivo do ar por ventilação natural foram simplificados. Simulações mais detalhadas devem ser levadas em conta

- considerando as obstruções externas, sombras de vento e desenhos mais precisos das aberturas;
- e) os valores de coeficiente de performance (CoP) do ar-condicionado foram retirados com base na média anual. Contudo, o valor de CoP varia de acordo com a estação do ano. Esse elemento de variação sazonal não foi considerado nas simulações;
 - f) do ponto de vista da iluminação natural, o problema de ofuscamento não foi discutido. Apenas os valores de iluminância mínima e autonomia de luz natural foram considerados nas simulações. No entanto, esse é um elemento a ser considerado durante o processo de retrofit;
 - g) a radiação refletida por meio da obstrução externa contribuiu para a diminuição do consumo de energia elétrica para iluminação no 2º pavimento. Pela limitação de trabalhos na área, mais estudos devem ser realizados analisando a contribuição da reflexão da radiação solar nos ambientes internos dos escritórios na redução do consumo energético;
 - h) mais tipologias devem ser estudadas para a implementação de edifícios NZEB: residências, edifícios escolares, universidades, hospitais etc.

Por fim, as diretrizes discutidas nesta dissertação são teóricas. Devem ser incentivados outros estudos de viabilidade técnica, financeira e projetual para a implantação de edifícios NZEB no contexto de Brasília, incluindo diferentes formas e tipologias.

6.4. Conclusão

Foi comprovado nesta pesquisa por meio de simulações computacionais que é possível aumentar a eficiência energética no modelo de 4 pavimentos (item 4.9 – Método), com redução de 46% no consumo de energia elétrica total.

Neste contexto, a abundância de irradiação solar na capital brasileira favorece a produção de energia fotovoltaica. Portanto, é essencial utilizar a cobertura e as fachadas norte, leste e oeste como áreas produtoras de energia ao implementar edifícios NZEB. Assim, é possível obter a meta de edifícios de balanço energético nulo em edifícios de escritórios de até quatro pavimentos no contexto climático de Brasília.

Referências

AELENEI, L.; GONÇALVES, H. From solar building design to Net Zero Energy Buildings: performance insights of an office building. **Energy Procedia**, v.48, p.1236–1243, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Resolução normativa nº. 687, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2017.

AIRES, M. **Viabilidade da aplicação do conceito NZEB à reabilitação de conjuntos habitacionais em países do sul da Europa**. 2015. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, 2015.

ALVES, T. *et al.* A methodology for estimating office building energy use baselines by means of land use legislation and reference buildings. **Energy and Buildings**, v.143, p. 100-113, 2017.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Standard 90.1**: energy standard for buildings except low-rise residential buildings. Atlanta, 2016. Disponível em: <<https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1>>. Acesso: 24 set. 2018.

AMORIM, C. N. D. Arquitetura não residencial em Brasília: desempenho energético e ambiental. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1.; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. [Anais]. [São Paulo: Antac], 2004. Disponível em:

<ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC_2004/trabalhos/PAP0856d.pdf>.

Acesso em: 6 set. 2018.

AMORIM, C. N. D. Diagrama morfológico: Parte I: Instrumento de análise e projeto ambiental com uso de luz natural. **Paranoá**: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, n.3, p.57-76, 2007.

AMORIM, C. N. D. **Iluminação natural e eficiência energética**: critérios para intervenção em edifícios não residenciais modernos do Plano Piloto de Brasília. [Brasília: UnB, 2016]. 15f. Projeto de pesquisa: Fundação de Amparo à Pesquisa do Distrito Federal (FAP – DF), Brasília. Edital – 3/2016, 2016.

AMORIM, C. N. D. *et al.* Studies on energy performance utilizing computer simulations towards a ZEB building: a case study in Chico Mendes Institute in Brasilia. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 33., 2017, Edinburgh. **Proceedings**. [Edinburgh]: NCEUB, 2017. v. 2, p. 2720-2727. Disponível em: <https://plea2017.net/wp-content/themes/plea2017/docs/PLEA2017_proceedings_volume_II.pdf>. Acesso em: 6 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: desempenho térmico em edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401 - 3**: instalações de ar-condicionado - sistemas centrais e unitários - parte 3: qualidade do ar interior. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO – CIE 8995 – 1**: iluminação de ambientes de trabalho: interior. Rio de Janeiro, 2013.

BAVARESCO, M. V.; GHISI, E. Influência da interação dos usuários com elementos internos de sombreamento no consumo energético de edificações comerciais. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2017, Balneário Camboriú. **Anais**. Balneário Camboriú, SC: UNIVALI, 2017. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/encac/files/2017/topico5artigo02.pdf>>. Acesso em: 6 set. 2018.

BIRCK, M. B. **Edifício de balanço energético nulo (NZE) na UnB**. 2014. 59f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura da Urbanismo, Brasília, 2014.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação. Instrução normativa n.2, de 4 de junho de 2014. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit. Disponível em: <<https://www.comprasgovernamentais.gov.br/index.php/legislacao/instrucoes-normativas/304-instrucao-normativa-n-2-de-04-de-junho-de-2014>>. Acesso em: 28 jul. 2018.

BUONOMANO, A. *et al.* NZEBs in Mediterranean climates: energy design and optimization for a non-residential building. **Energy and Buildings**, v.82, p. 458–464, 2015.

BURTON, S. (Ed.). **Energy efficient office refurbishment**. 1. ed. London: Routledge Press, 2001. 192p.

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

CENTRO DE GESTÃO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Prospecção tecnológica no setor elétrico brasileiro: evolução tecnológica nacional no segmento de distribuição de energia elétrica**. Brasília, 2017. v.5. Disponível em: <<https://energia.cgee.org.br/documents/923365/1026936/Volume+5-8+Evoluc%CC%A7a%CC%83o+tecnolo%CC%81gica+nacional+no+segmento+de+distribuic%CC%A7a%CC%83o+de+energia+ele%CC%81trica.pdf/df3d8370-b2d0-44be-ae84-989dd32ba686?version=1.2>>. Acesso em: 29 maio 2018.

CHEN, J.; AUGENBROE, G.; SONG, X. Evaluating the potential of hybrid ventilation for small to medium sized office buildings with different intelligent controls and uncertainties in US climates. **Energy and Buildings**, v.158, p.1648-1661, 2018.

CONGEDO, P. M. *et al.* Cost-optimal design for nearly zero energy office buildings located in warm climates. **Energy**, v.91, n.244, p.967-982, 2015.

CORGNATI, S. P.; KINDINIS, A. Thermal mass activation by hollow core slab coupled with night ventilation to reduce summer cooling loads. **Building and Environment**, v.42, n.9, p.3285-3297, 2007.

COSTA, J. F. W.; OLIVEIRA, N. P. R. de; AMORIM, C. N. D. Morphological characteristics and energy consumption of office buildings in the central area of Brasilia. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 33., 2017, Edinburgh. **Proceedings**. [Edinburgh]: NCEUB, 2017. v. 2, p.2507-2514. Disponível em: <https://plea2017.net/wp-content/themes/plea2017/docs/PLEA2017_proceedings_volume_II.pdf>. Acesso em: 6 set. 2018.

CRONEMBERGER, J.; CAAMAÑO-MARTÍN, E.; SÁNCHEZ, S. V. Assessing the solar irradiation potential for solar photovoltaic applications in buildings at low latitudes – making the case for Brazil. **Energy and Buildings**, v.55, p.264–272, 2012.

DEPARTMENT OF ENERGY (United States). **DOE releases common definition for zero energy buildings, campuses, and communities**. Washington, 2015. Disponível em: <<https://www.energy.gov/eere/buildings/articles/doe-releases-common-definition-zero-energy-buildings-campuses-and>>. Acesso em: 15 set. 2018.

DIDONÉ, E. L. **Parametric study for net zero energy building strategies in Brazil considering semi-transparent PV windows**. 2014. 212f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Karlsruhe Institute of Technology, Faculty of Architecture, Karlsruhe, 2014.

DISTRITO FEDERAL (Brasil). Câmara Legislativa. Lei nº 6.138, de 26 de abril de 2018. Institui o código de edificações do Distrito Federal - COE. **Diário Oficial [do] Distrito**

Federal, Poder executivo, Brasília, DF, 26 abr. 2018, p. 1-46. Disponível em: <<http://legislacao.cl.df.gov.br/Legislacao/consultaTextoLeiParaNormaJuridicaNJUR-501716!buscarTextoLeiParaNormaJuridicaNJUR.action>>. Acesso: 10 set. 2018.

DOMINGOS, L. *et al.* Definição de uma classificação climática para o estudo de edificações com balanço anual zero de energia no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, Maceió. [Anais]. [Maceió: ENTAC], 2014. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_143.pdf>. Acesso: 10 set. 2018.

DUARTE, J. G. **Viabilidade do investimento em mini produção fotovoltaica nas obras de requalificação dos edifícios escolares públicos: contributo para NZEB (Nearly Zero Energy Building)**. 2012, 178f. Dissertação (Mestrado em Administração Pública) – Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Ciências Sociais e Políticas, Lisboa, 2012.

DUARTE, R. A. F. **Reabilitação de edifícios com novas tendências NZEB – caso de estudo – edifício de serviços em Setúbal**. 2014, 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Politécnico de Lisboa, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2014.

DUARTE, V. C. P. **Desempenho térmico de edificações**. 6. ed. Florianópolis: [UFSC], 2016. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf>. Acesso em: 14 set. 2018.

FONSECA, R. **Iluminação natural e consumo energético de edificações não residenciais: as possibilidades e as limitações da aplicação de redes neurais artificiais**. 2015. 349f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Faculdade de Engenharia Civil, Florianópolis, 2015.

GUIDI, C. R. **Influência dos parâmetros urbanos e da topografia para a disponibilidade de luz natural em edifícios residenciais em Belo Horizonte**. 2018.

129f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Design) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura, Belo Horizonte, 2018.

GOIA, F. Search for the optimal window-to-wall ratio in office buildings in different European climates and the implications on total energy saving potential. **Solar Energy**, v.132, p.467–492, 2016.

GONÇALVES, J. C. S.; PEREIRA, M.; CAVALERI, M. Ventilação natural em escritórios: mito ou realidade? In.: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (Org.). **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p.57 -80.

GRIFFITHS, I. **Thermal comfort studies in buildings with passive solar features**. [London]: Comission of the European Community, 1991.

GROSSO, M. **Il raffrescamento passivo degli edifici**: concetti, precedenti architettonici, criteri progettuali, metodi di calcolo e casi studio. Santarcangelo di Romagna: Maggioli Editore, 1997.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (Brasil). **Conferência sobre a autenticidade em relação à convenção do patrimônio mundial**. Nara: [UNESCO], 1994. Conferência de Nara, de 6 de novembro de 1994. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Conferencia%20de%20Nara%201994.pdf>>. Acesso em: 24. jun. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). **Normais climatológicas do Brasil**: período 1961 a 2010. 2010. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. Acesso em: 31 jul. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (Brasil). **Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos**. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://www.pbenedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf>. Acesso em: 6 set. 2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Technology roadmap: energy efficient building envelope.** [Paris], 2013. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/technology-roadmap-energy-storage-.html>> Acesso: 3 abr. 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Solar Heating and Cooling Programme. Task 50 – D3. **Monitoring protocol for lighting and daylighting retrofit:** technical report. Stuttgart, 2016. 87p. Disponível em: <http://task50.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Technical_Report_T50_D3_final.pdf>. Acesso em: 18 set. 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Solar Heating and Cooling Programme. Task 40 – annex 52. **Net ZEB evaluation tool:** user guide. Bolzano, 2012. 38p. Disponível em: <<http://task40.iea-shc.org/Data/Sites/11/documents/net-zeb/Net-ZEB-Evaluation-Tool-User-Guide.pdf>> Acesso em: 3 out. 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Subtask C - annex 52. **Net zero energy solar buildings:** position paper. [S.l], 2014b. 10p. Disponível em: <<https://www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/IEA-SHC-NZEB-Position-Paper.pdf>> Acesso em: 17 set. 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Subtask C - annex 52. **Solution sets and Net Zero Energy Buildings:** a review of 30 NZEBs case studies worldwide: technical report of subtask C. Le Tampon, 2014a. 130p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/279456421_Solution_Sets_and_Net_Zero_Energy_Buildings_A_review_of_30_Net_ZEBs_case_studies_worldwide> Acesso em: 28 maio 2018.

KEELER, M.; BURKE, B. Introdução às questões energéticas: o uso e os padrões. In: _____. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis.** Porto Alegre: Bookman, 2010. p. 107 – 144.

KHODEIR, L. M. Integrating HBIM (heritage building information modeling): tools in the application of sustainable retrofitting of heritage buildings in Egypt. **Procedia Environmental Sciences**, v.34, p.258–270, 2016.

KURNITSKI, J. *et al.* Cost optimal and nearly zero (NZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for NZEB: national implementation. **Energy and Buildings**, v.43, n.11, p.3279–3288, 2011. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/251589882_Cost_optimal_and_nearly_zero_%28nZEB%29_energy_performance_calculations_for_residential_buildings_with_REHVA_definition_for_nZEB_national_implementation>. Acesso em: 9 set. 2015.

KURNITSKI, J. *et al.* How to define nearly net zero energy buildings NZEB: REHVA proposal for uniformed national implementation of EPBD recast. **RHEVA Journal**, v.48, n.3, p.6-12, 2011. Disponível em: <<http://www.rehva.eu/publications-and-resources/hvac-journal/2011/032011/how-to-define-nearly-net-zero-energy-buildings-nzeb/?L=0>>. Acesso em: 9 set. 2015.

KWOK, A. G.; GRONDZIK, W. T. Lighting. In.: KWOK, A. G.; GRONDZIK, W. T. **The green studio handbook: environmental strategies for schematic design**. Oxford: Elsevier, 2007. p.79 -128.

LAMBERTS, R.; CARLO, J. C. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo. **Ambiente Construído**, v.10, n.2, p.7-26, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ac/v10n2/a01.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2018.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência energética na arquitetura. 3. ed. Rio de Janeiro: [ELETROBRAS], 2014. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Livro%20-%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20na%20Arquitetura.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2018.

LIMA, T. B. S. **Qualidade ambiental e arquitetônica em edifícios de escritórios: diretrizes para projetos em Brasília**. Brasília, 2010. 199f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Brasília, 2010.

LOPES, F. da. S. D.; CÓSTOLA, D.; LABAKI, L.C. Thermal-energy performance for office buildings in Brazil using multi-objective optimization. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 33., 2017, Edinburgh. **Proceedings**. [Edinburgh]: NCEUB, 2017, v.2, p. 2587-2593. Disponível em: <https://plea2017.net/wp-content/themes/plea2017/docs/PLEA2017_proceedings_volume_II.pdf>. Acesso em: 6 set. 2018.

MA, P.; WANG, L.; GUO, N. Maximum window-to-wall ratio of a thermally autonomous building as a function of envelope U -value and ambient temperature amplitude. **Applied Energy**, v.146, p.84–91, 2015.

MARTÍNEZ-MOLINA, A. *et al.* Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: a review. **Renewable and Sustainable Energy Review**, v.61, p.70–85, 2016.

MAY, N.; GRIFFITHS, N. **Planning responsible retrofit of traditional buildings**. London: STBA, 2015. 23p. Disponível em: <<https://historicengland.org.uk/images-books/publications/planning-responsible-retrofit-of-traditional-buildings/>>. Acesso: 4 jun. 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (Brasil). **Balanco Energético Nacional: 2017**. Rio de Janeiro: EPE, 2017. 291p. Disponível em <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2017.

MONTEIRO, L. M.; BITTENCOURT, L.; YANNAS, S. Arquitetura da Adaptação. In.: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (Org.). **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p.27 – 55.

NICOLETTI, A. M. A. **Eficiência energética em um ministério da Esplanada em Brasília: propostas para retrofit de envoltória**. 2009. Dissertação, 214f. (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Brasília, 2009.

OCHOA, C. E; CAPELUTO, I. G. Advice tool for early design stages of intelligent facades based on energy and visual comfort approach. **Energy and Buildings**, v.43, p.1829–1839, 2009.

OCHOA, C. E; CAPELUTO, I. G. Strategic decision-making for intelligent buildings: comparative impact of passive design strategies and active features in a hot climate. **Building and Environment**, v.43, p.1829–1839, 2007.

OLIVEIRA, N. P. R. de. Características arquitetônicas de edifícios comerciais no Plano Piloto: mapeamento do potencial de qualidade ambiental e desempenho energético. In.: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 23., 2017, Brasília. **Anais**. Brasília: Universidade de Brasília, 2017. Disponível em: <<http://conferencias.unb.br/index.php/iniciacaocientifica/23cicunb14df/paper/view/6808>>. Acesso em: 15 set. 2018.

ONETZEDER, M.; WICHER, M.; SUSCHECK-BERGER, J. User satisfaction and well-being in energy efficient office buildings: evidence from cutting-edge projects in Austria. **Energy and Buildings**, v.146, p.84–91, 2015.

OSTERHAUS, W. K. E. Discomfort glare assessment and prevention for daylight applications in office environments. **Solar Energy**, v.79, p.140–158, 2005.

PETERSEN, S.; SVENDSEN, S. Method and simulation program informed decisions in the early stages of building design. **Energy & Buildings**, v.42, n.7, p.1113–1119, 2010.

PINTO, G. S. P. **Proposta de edificação experimental com balanço energético nulo para a Universidade de Brasília**. 2014b. 147 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica, Brasília, 2014b.

PINTO, G. S. P. *et al.* Proposta de edifício experimental com balanço energético nulo. In.: CONGRESSO INTERNACIONAL DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO, 9., 2014, Porto Alegre. **Anais**. [Porto Alegre]: ASBRAV, 2014a. Disponível em: <<http://www.swge.inf.br/mercofrio2014/anais/trabalhos.html>>. Acesso em: 17 set. 2018.

PRUDON, T. H. M. **Preservation of modern architecture**. 1. ed. New York: Wiley, 2008.

REINHART, C. **Daysim simulations for sustainable design**: tutorial 3.0. Cambridge: Harvard University Press, 2010.

RICCIARDI, P.; BURATTI, C. Thermal comfort in the Frascini theatre in Pavia, Italy: correlation between data from questionnaires, measurements, and mathematical model. **Energy and Buildings**, v.99, p.243–252, 2015.

RICCIARDI, P.; ZILETTI, A.; BURATTI, C. Evaluation of thermal comfort in an historical Italian opera theatre by the calculation of the neutral comfort temperature. **Building and Environment**, v.102, p.116–127, 2016.

RORIZ, M. Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro. In.: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., 2012, Juiz de Fora, MG. [Anais]. [Juiz de Fora: Antac], 2012. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Proposta_Revisao_Zoneamento_Bioclimatico.pdf>. Acesso em: 15 set. 2018.

ROSE, J.; ENGELUND, K. Energy saving potential in retrofitting of non-residential buildings in Denmark. **Energy Procedia**, v.78, p.1009–1014, 2015.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos**: o potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. Florianópolis: LABSOLAR, 2004. 114p.

SANTOS, I. P dos.; RÜTHER, R. Limitations in solar module azimuth and tilt angles in building integrated photovoltaics at low latitude tropical sites in Brazil. **Renewable Energy**, v.63, p.116 – 124, 2014.

SCHULZE, T.; GÜRLICH, D.; EICKER, U. Performance assessment of controlled natural ventilation for air quality control and passive cooling in existing and new office type buildings. **Energy and Buildings**, v.172, p.265-278, 2018.

SHAVIV, E.; YEZIORO, A.; CAPELUTO, I. Thermal mass and night ventilation as passive cooling design strategy. **Renewable Energy**, v.24, n.3-4, p.445-452, 2001.

STEVENSON, W. J. **Estatística aplicada à administração**. São Paulo: Harper e Row, 1981.

SUDBRACK, L. O. **Casa zero**: diretrizes de projeto para casas pré-fabricadas de balanço energético nulo em Brasília. 2017. Dissertação. 240f. (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Brasília, 2017.

SWISS FEDERAL OFFICE OF ENERGY. Building Integrated Photovoltaics: BIPV Design. [S.l.], 2016. Plug-in Archicad. Disponível em: <<http://www.bipv.ch/index.php/en/material/software>>. Acesso: 7 jun. 2016

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A. (Coord.). **Nota técnica DEA 16/12**: avaliação da eficiência energética para os próximos 10 anos (2012-2021). Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2012. 69p. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/services/procel-info/Simuladores/DownloadSimulator.asp?DocumentID=%7BD6977DC1%2D18A5%2D43C2%2D9071%2DF94401FC3BBF%7D&ServiceInstUID=%7B5E202C83%2DF05D%2D4280%2D9004%2D3D59B20BEA4F%7D>>. Acesso em: 10 set. 2018.

TORCELLINI, P; CRAWLEY, D. Getting to net zero. **ASRHAE Journal**, v.51, p.18-25, 2009.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA. **Climate Consultant**: version 6.0. Los Angeles, 2018. Disponível em: <<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/>> Acesso: 15 set. 2018.

VOSS, K.; MUSALL, E (Org.). **Net zero energy buildings**: international projects of carbon neutral buildings. 2.ed. Munich: Detail Green Books, 2012.

WANG, J. J.; BELTRÁN, L. O.; KIM, J. From static to kinetic: a review of acclimated kinetic building envelopes. In: SOLAR CONFERENCE, 2012, Boulder. **Proceedings**. Boulder: American Solar Energy Society, 2012. v.5, p.4022-4029. Disponível em: <https://research.arch.tamu.edu/media/cms_page_media/3686/SOLAR2012_0618_full%20paper.pdf>. Acesso em: 15 set. 2018.

YANG, I.; LI, Y. Cooling load reduction by using thermal mass and night ventilation. **Energy and Buildings**, v.40, n.11, p.2052 - 2058, 2008.

Apêndice A - Questionário de levantamento



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
LABORATÓRIO DE CONTROLE AMBIENTAL - LACAM
LEVANTAMENTO DE DADOS
PESQUISA CIENTÍFICA: ANÁLISE EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS DA
ZONA CENTRAL DE BRASÍLIA

NOME DO EDIFÍCIO:

ENDEREÇO:

DATA CONSTRUÇÃO E/OU REFORMA:

ARQUITETO/EMPRESA:

DADOS ARQUITETÔNICOS:

- $A_{TOTAL\ CONSTRUÍDA}$: _____ $A_{PAVIMENTO-TIPO}$: _____ $A_{SUBSOLO}$: _____
- $A_{GARAGEM}$: _____ $ALTURA_{PRÉDIO}$: _____ $PÉ\ DIREITO$: _____
- $TOTAL_{PAVIMENTOS}$: _____ $TOTAL_{SALAS/PAVIMENTO}$: _____

SOLICITAR AO RESPONSÁVEL TÉCNICO:

- CONTAS DE ENERGIA ELÉTRICA (2013-2016);
- DADOS ARQUITETÔNICOS

SIM

- PLANTA BAIXA;
- CORTES E FACHADAS;
- PROJETO LUMINOTÉCNICO;

NÃO

- FAZER MEDIDAS ($PAREDE_{ALTURA; ESPESSURA}$; PESQUISAS GOOGLE: ÁREA CONST.);
- FAZER CROQUI DO PAVIMENTO TIPO (DISPOSIÇÃO MÓVEIS, LUMINÁRIA/SALA;
- VERIFICAR QUANTIDADE DE LUMINÁRIAS/PAVIMENTO ;
- PASSAR PARA O AUTOCAD ;

DADOS LUMINOTÉCNICOS E DE CONDICIONAMENTO DE AR:

- HÁ SEPARAÇÃO: SIM NÃO - TIPO: _____
- LUMINÁRIAS (W) : _____
- $W/PAVIMENTO$: _____ $CONSUMO_{MENSAL}$: _____ $CONSUMO_{ANUAL}$: _____

Apêndice B – Lista dos edifícios

Setor	Nome do edifício
EMI	Anexo Min. Previdência Social
EMI	Ministério da Cultura e Meio Ambiente
EMI	Anexo II - STF
EMI	Interlegis
EMI	Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Desenvolvimento Social
EMI	Anexo Min. Agricultura
EMI	Ministério da Previdência Social, Trabalho e Emprego
EMI	Anexo I - MRE
EMI	Ministério da Saúde
EMI	Anexo Min. Saúde
EMI	Ministério do Desenvolvimento Agrário/Espportes/Cidades
EMI	Supremo Tribunal Federal - STF
EMI	Ministério das Relações Exteriores - Palácio Itamaraty
EMI	Palácio do Planalto
EMI	Anexo II - MRE
EMI	Ministério da Defesa Marinha do Brasil
EMI	Palácio do Congresso Nacional
EMI	Anexo I - Congresso Nacional
EMI	Anexo II - Câmara dos Deputados
EMI	Anexo III - Câmara dos Deputados
EMI	Anexo IV - Câmara dos Deputados
EMI	Anexo I - Senado Federal
EMI	Prodasen
EMI	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
EMI	Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão
EMI	Ministério da Educação
EMI	Anexo - Min, Educação
EMI	Anexo I - STF
EMI	Anexo - Min, Defesa Aeronáutica
EMI	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
EMI	Anexo - Min. Defesa Marinha
EMI	Ministério da Defesa Exército do Brasil
EMI	Anexo - Min. Defesa Exército
EMI	Ministério da Fazenda
EMI	Anexo - Min. Fazenda
EMI	Ministério da Defesa
EMI	Ministério das Comunicações e Transportes
EMI	Ministério das Minas e Energia / Turismo
EMI	Anexo - Min. Minas e Energia
EMI	Ministério da Justiça - Palácio da Justiça
EMI	Anexo I - Min. Justiça
EMI	Ministério da Defesa Aeronáutica do Brasil
EMI	Ministério da Ciência e Tecnologia/Integração Nacional
SAN	Ed. Petrobrás
SAN	Centro Empresarial CNC
SAN	Centro de Dança de Brasília/Secretaria da Cultura do GDF
SAN	Departamento Nacional da Produção Mineral - MME
SAN	DNIT - Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transporte
SAN	Green Towers Brasília

SAS Edifício Sede Dataprev
 SAS Edifício Sede do Departamento de Polícia Federal
 SAS TRT 10ª Região Anexo I
 SAS Procuradoria Geral do Trabalho (PGT)
 SAS Edifício IBICT - UBO, IBAMA e UNESCO
 SAS Ordem dos Advogados do Brasil - Conselho Federal
 SAS Ministério Público Federal
 SAS Edifício OCB
 SAS Edifício INSS
 SAS Edifício Anexo II AGU/ MultiBrasil Corporate
 SAS Receita Federal
 SAS Edifício Siderbrás (AGU)
 SAS Edifício Sede STM
 SAS Edifício Sede TRF (Sede I TRF 1ª Região)
 SAS Edifício Sede II TRF 1ª Região
 SAS Edifício Dona Marta XVIII
 SAS Anexo - Edifício Sede TSE (Anexo III TRF 1ª Região)
 SAS Min. da Fazenda - Órgãos Regionais
 SAS Edifício Sede TST (Anexo I TRT 10ª Região)
 SAS Edifício Belvedere
 SAS CNTEEC
 SAS Justiça Federal - Anexo A
 SAS Edifício Sede TSE (Anexo III TRF 1ª Região)
 SAS Edifício Camilo Cola
 SAS Edifício Anexo III PGR
 SAS Ed. Victória Office Tower
 SAS Edifício Sede Justiça Militar da União
 SAS Edifício Sede III CEF
 SAS Edifício Confederação Nacional do Transporte (CNT)
 SAS Ministério da Fazenda
 SAS Caixa Econômica Federal (CEF) - Matriz II
 SAS Edifício Telemundi II
 SAS Espaço Cultural Anatel
 SAS Edifício Sede Anatel
 SAS Anatel - Ed. Luís Eduardo Magalhães
 SAS Anatel - Ed. Ministro Sérgio Motta
 SAS Ed. Libertas e Ed. Terra Brasilis
 SAS CEF Jurídico Regional
 SAS Edifício Órgãos Centrais
 SAS Conselho Federal de Administração
 SAS Conselho Federal de Contabilidade
 SAS Conselho Federal de Química
 SAS Ed. Controladoria Geral da União - CGU
 SAS Edifício INPI
 SAS INSS Gerência Executiva DF
 SAS Ed. Business Point
 SAS Ed. Ok Office Tower
 SAS Anexo Edifício INSS
 SAS Fundação Nacional da Saúde (FUNASA)
 SAS Edifício Sede I Justiça Federal
 SAS Justiça Federal - Sede II

SAS ABM - Associação Brasileira de Municípios
 SAS Edifício Ordem dos Advogados do Brasil (OAB)
 SBN Edifício Palácio da Agricultura
 SBN Ed. Eng. Paulo Maurício
 SBN Incra - Palácio do Desenvolvimento
 SBN Ed. Via Capital Centro Empresarial
 SBN Ed. Phenícia
 SBN Edifício Sede dos Correios do Brasil (ECT)
 SBN Edifício Armando Monteiro Neto
 SBN CNC - Confederação Nacional do Comércio
 SBN Ed. Vale do Rio Doce - Sec. do Estado da Fazenda
 SBN Ed. Sede VII do Banco do Brasil S.A
 SBN ANFIP - Associação Nacional dos Auditores Fiscais da Previdência Social
 SBN Ed. Wagner
 SBN Ed. Capes
 SBN Edifício CNC III
 SBN Edifício Apex-Brasil
 SBN Ed. Roberto Simonsen
 SBN Ed. Central Brasília
 SBS Banco Central do Brasil
 SBS Ed. Centro Empresarial João Carlos Saad
 SBS Ed. Empire Center
 SBS Ed. Casa de São Paulo
 SBS Ed. Caixa Econômica
 SBS Ed. Áurea - MEC/FNDE
 SBS Caixa Cultural - CEF - Anexo
 SBS Edifício Matriz I - Caixa Econômica Federal - CEF
 SBS Ed. Brasília - BRB
 SBS Edifício BNDES
 SBS Ed. Seguradoras
 SBS Banco do Brasil - Sede I
 SBS Ed. Adriana - Anexo II TRF
 SBS Edifício Prime Business Convenience
 SBS Edifício Financial Center Parking
 SBS Ed. Luiza
 SBS Ed. Luiz Eduardo
 SBS Defensoria Pública Categoria Especial
 SBS Ed. Cleto Meireles (Funai)
 SBS Ed. Marcos (Banco Amazônia)
 SBS Sem Nome
 SBS Banco do Brasil - Sede II
 SBS Ed. Elcy Meireles
 SBS Ed. Carlton Tower (Ministério Pesca e Agricultura)
 SBS Banco do Brasil - Sede III
 SBS Ed. Lino Martins Pinto
 SCN Ed. Central Park
 SCN Brasília Shopping
 SCN Ed. Number One Business Center
 SCN Centro Empresarial Varig
 SCN Centro Empresarial Liberty Mall
 SCN Instituto Nacional de Tecnologia da Informação (ITI)

SCN Antiga Sede CADE
 SCN Edifício Estação Telefônica Centro Norte
 SCN Ed. Vega Luxury Design Offices
 SCN Ed. Corporate Financial Center
 SCN Ed. Brasília Trade Center
 SCN Ed. América Office Tower
 SCN Edifício Porto Seguro
 SCN Edifício Victória - Departamento Penitenciário Nacional (Depen) - Antigo Edifício Sulamérica
 SCN Edifício Rossi Esplanada Business
 SCN CEF - Caixa Econômica Federal
 SCN Instituto Brasileiro de Turismo (Embratur)
 SCS Ed. Bic Banco
 SCS Ed. Citybank
 SCS Ed. Sônia
 SCS Ed. Hermes
 SCS Ed. Arnaldo Dumont Villares
 SCS Ed. Sofia
 SCS Ed. Embratel
 SCS Ed. Israel Pinheiro
 SCS Ed. Jessé Freire
 SCS Ed. Morro Vermelho
 SCS Ed. Central
 SCS Ed. Bernardo Sayão
 SCS Ed. Alvorada
 SCS Ed. Nordeste
 SCS Ed. Apolo
 SCS Ed. SEDUH
 SCS Ed. Serra Dourada
 SCS Edifício Parque Cidade Corporate
 SCS Ed. Baracat

 SCS Ed. Venâncio 2000
 SCS Edifício Nominato Gustavo
 SCS Edifício Assefaz II
 SCS Credfaz
 SCS Edifício Candango
 SCS Galeria Nova Ouvidor
 SCS Ed. Anápolis
 SCS ECT - Divisão Central Filatélica
 SCS Edifício Carvalho Hosken
 SCS Edifício Guiana
 SCS Ed. Newton Rossi
 SCS Edifício Carvalho Hosken
 SCS Ed. Carioca
 SCS Ed. Gilberto Salomão
 SCS Ed. Antônio Alves P. de Sousa
 SCS Edifício Araguaia
 SCS Edifício Nicola Caminha
 SCS Edifício Galeria Mirim
 SCS Centro Comercial Amazonas
 SCS Pátio Brasil

SCS Ed. JK
SCS Ed. Bandeirantes
SCS Ed. Presidente
SCS Ed. CDL (Câmara Dirigentes Lojistas – antigo Guanabara)
SCS Ed. José Severo
SCS Ed. Antônio Venâncio Silva
SCS Banco de Brasília (Agência Setor Comercial Sul)
SCS Ed. Santa Fé
SCS Ed. Denasa
SCS Ed. Infraero
SCS Ed. Oscar Alvarenga
SCS Edifício Dom Bosco
SCS Ed Gilberto Marques
SCS Ed. Oriental
SCS Ed. Paranoá
SCS Ed. José Barros
SCS Venâncio Shopping
SCS Ed. Postalis
SCS Ed. Principal
SCS Ed. Yara Medeiros
SCS Ed. Faceb
SCS Ed. ANASPS
SCS Edifício Lettieri
SCS Ed. Planalto
SCS Ed. Dona Ângela
SCS Telecomunicações de Brasília S/A (Telebrasília)
SCS Ed. Oscar Niemeyer
SCS Ed. Toufic
SCS Ed. Jamel Cecílio
SCS Ed. Vivo
SCS Ed. Cedro II
SCS Ed. Wady Cecílio II
SCS Ed. João Paulo II
SCS Ed. OK
SCS Ed. União
SCS Ed. Márcia
SCS Ed. Capemi
SCS Ed. Palácio do Comércio
SCS Ed. Bradesco
SCS Ed. Presidente Dutra
SCS Ed. Vitória
SCS Ed. Centro Oeste
SCS Ed. Jockey Club
SCS Ed. Paulo Sarasate
SCS Ed. Embaixador
SCS Ed. Ananguera
SCS Ed. Maristela
SCS Ed. Ariston
SCS Ed. Goiás
SCS Ed. Venâncio 3000 (Shopping ID)
SCS Ed. Ceará

SCS Ed. Anápolis
SCS Ed. Camargo Correia
SCS Ed. Zarife
SCS Ed. Vera Cruz
SCS Ed. Mineiro
SCS Ed. Brasal II
SCS Ed. Assefaz
SCS Ed. São Paulo

Apêndice C – Lista dos 30 edifícios selecionados

Esplanada

MMA

MME

Setor de Autarquias Sul

TRF (edifícios sedes I e II e anexos I, II e III)

Setor Bancário Norte

FNDE (dois edifícios)

Setor Comercial Norte

EMBRATUR

Setor Comercial Sul

Infraero

Centro Oeste

Setor de Indústrias Gráficas/ Esplanada

TJDFT

Lista dos 15 edifícios com contas de energia obtidas pelo Portal da Transparência

- 1) CGU
- 2) IBICT
- 3) Ministério da Fazenda
- 4) DPF
- 5) Petrobrás
- 6) CEF Jurídico
- 7) Receita Federal
- 8) INSS
- 9) Ed. Capes
- 10) Anatel (4 edifícios)
- 11) Banco do Brasil
- 12) BNDES
- 13) Ministério da Cidade
- 14) Ministério da Saúde
- 15) Ministério do Esporte

Apêndice D – Lista dos módulos fotovoltaicos comercializados no Brasil

Site	Fabricante	Nome do painel	Tipo de painel solar	Eficiencia	
Portal Solar (https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html)	PAINEL SOLAR BYD	320P6D-36 72 CELULAS POLICRISTALINO DOUBLE GLASS 320W	Policristalino	16,60%	
	CENTRIUM ENERGY	325P6C-36 SERIES 72 CELULAS POLICRISTALINO 325W 40MM	Policristalino	16,70%	
	PAINEL SOLAR YINGLI CENTRIUM ENERGY	YL055P-17B 2/5 36 CELULAS POLICRISTALINO 55W	Policristalino	13,20%	
		YL095P-17B 2/3 36 CELULAS POLICRISTALINO 95W	Policristalino	14,20%	
		YL150P-17B 36 CELULAS POLICRISTALINO 150W	Policristalino	15,00%	
	PAINEL SOLAR CANADIAN CENTRIUM ENERGY	CS6U-325P 72 CELULAS POLICRISTALINO 6 POLEGADAS 325W	Policristalino	16,72%	
		CS6U-320P 72 CELULAS POLI NACIONAL 6 POLEGADAS 320W	Policristalino	16,68%	
	Solar Brasil (http://www.solarbrasil.com.br)	UP SOLAR	UP-M150P (6x6 ; 9x4) & UP-M155P (6x6 ; 9x4)	Policristalino	15,34%
				Policristalino	15,34%
				Policristalino	15,85%
Policristalino				15,85%	
UP-M150P (6x6 ; 9x4) & UP-M155P (6x6 ; 9x4)			Policristalino	15,34%	
			Policristalino	15,34%	
			Policristalino	15,85%	
			Policristalino	15,85%	
UP-M250P & UP-M255P & UP-M260P & UP-M265P & UP-M270P		Policristalino	15,40%		
		Policristalino	15,70%		
		Policristalino	16,00%		
		Policristalino	16,30%		
		Policristalino	16,60%		
UP-M320P		Policristalino	16,50%		
ERA SOLAR	260	Policristalino	16,00%		

	SOLAR LEADING	MONO 10W Solar Pane	Monocristalino	9,85%
		MONO 20W Solar Pane	Monocristalino	10,95%
		MONO 30W Solar Pane	Monocristalino	12,23%
		MONO 40W Solar Pane	Monocristalino	11,64%
	YINGLI SOLAR	YGE 10	Policristalino	10,00%
		YGE 20	Policristalino	10,90%
		YGE 95	Policristalino	14,30%
		YGE 90	Policristalino	13,50%
		YGE 85	Policristalino	12,70%
	GAIN SOLAR + YINGLI SOLAR	JS 60	Policristalino	14,40%
		JS 55	Policristalino	13,20%
		JS 150	Policristalino	15,00%
	CANADIAN SOLAR	270M	Monocristalino	16,50%
		275M	Monocristalino	16,80%
	KOMAES	KM(P)5	Policristalino	9,10%
		KM(P)10	Policristalino	10,80%
		KM(P)20	Policristalino	11,40%
		KM(P)30	Policristalino	10,70%
		KM(P)50	Policristalino	11,81%
		KM(P)85	Policristalino	12,76%
KM (P) 150		Policristalino	14,90%	
NEOSOLAR (www.neosolar.com.br)	CANADIAN SOLAR	Painel Solar Fotovoltaico Canadian CSI CS6K-270P (270Wp)	Policristalino	16,50%
		Painel Solar Fotovoltaico Canadian CSI CS6U-330P (330Wp)	Policristalino	16,97%
		Painel Solar Fotovoltaico Canadian CSI CS6P-255P (255Wp)	Policristalino	15,85%
		Painel Solar Fotovoltaico 265Wp - Canadian CSI CS6P-265P - BR	Policristalino	16,47%
	GCL	Painel Solar Fotovoltaico GCL-P6/60 270Wp	Policristalino	16,60%
		Painel Solar Fotovoltaico GCL-P6/72 325Wp	Policristalino	16,70%

	KOMAES	Painel Solar Komaes KM30 (30Wp)	Policristalino	10,70%
		Painel Solar Komaes KM50 (50Wp)	Policristalino	11,81%
		Painel Solar Komaes KM85 (85Wp)	Policristalino	12,76%
	YINGLI SOLAR	Painel Solar Fotovoltaico Yingli YL095P-17b 2/3 (95Wp)	Policristalino	14,30%
		Painel Solar Fotovoltaico Yingli YL140P-17b (140Wp)	Policristalino	14,00%
		Painel Solar Fotovoltaico 150Wp - Yingli Solar YL150P-17b	Policristalino	15,00%
		Painel Solar Fotovoltaico Renesola JC150M- 12/Gb (150Wp)	Policristalino	15,00%
		Painel Solar Fotovoltaico Yingli YL022P-17b-1/7 (22Wp)	Policristalino	12,90%
		Painel Solar Fotovoltaico Yingli YL055P 17b 2/5 (55Wp)	Policristalino	13,20%
		Painel Solar Fotovoltaico Yingli YL060P 17b 2/5 (60Wp)	Policristalino	14,40%
		Painel Solar Fotovoltaico Yingli YL010P-17b (10Wp)	Policristalino	10,80%
		Painel Solar Fotovoltaico Yingli YL020P-17b (20Wp)	Policristalino	11,50%
		Painel Solar Fotovoltaico Yingli YL250P 29b (250Wp)	Policristalino	15,40%
		Painel Solar Fotovoltaico Yingli YL275D-30b (275Wp)	Monocristalino	16,90%

Apêndice E – Questionários de levantamento in Loco preenchidos

Pesquisa: Análise em edifícios de escritórios na Zona Central de Brasília

Levantamento de Dados

1) Histórico de Edifício

Nome e Endereço	Ed. Ministério do Meio Ambiente – Esplanada dos Ministérios
Data de construção e/ou reforma	Década de 1960
Arquiteto/ Empresa	Oscar Niemeyer

2) Dados Arquitetônicos

Área total construída	22.726,30m ²
Área do pavimento tipo	1699,95m ²
Área do subsolo	3.902,63 m ²
Área de garagem	-
Número de pavimentos	10
Altura (pé-direito)	3m

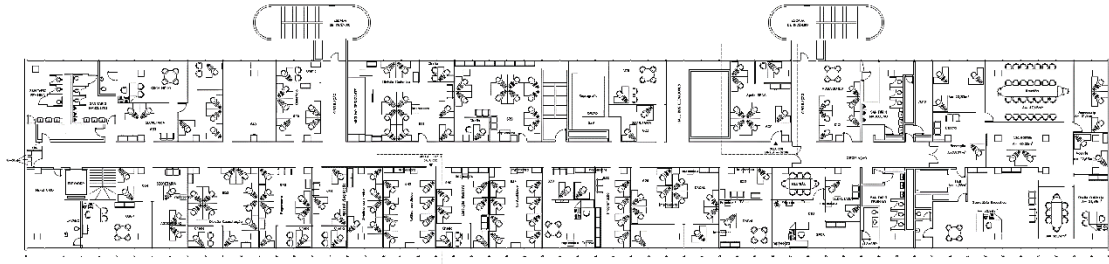
3) Média de densidade potência instalada por uso final em w/m²

Densidade de potência instalada		Em w/m ²
Usos finais	Iluminação	12W/m ² a 18W/m ² Pós retrofit (luminárias fluorescentes tubos T8 Pot. 2x26W)
	Condicionamento de ar	-
	Equipamentos	-

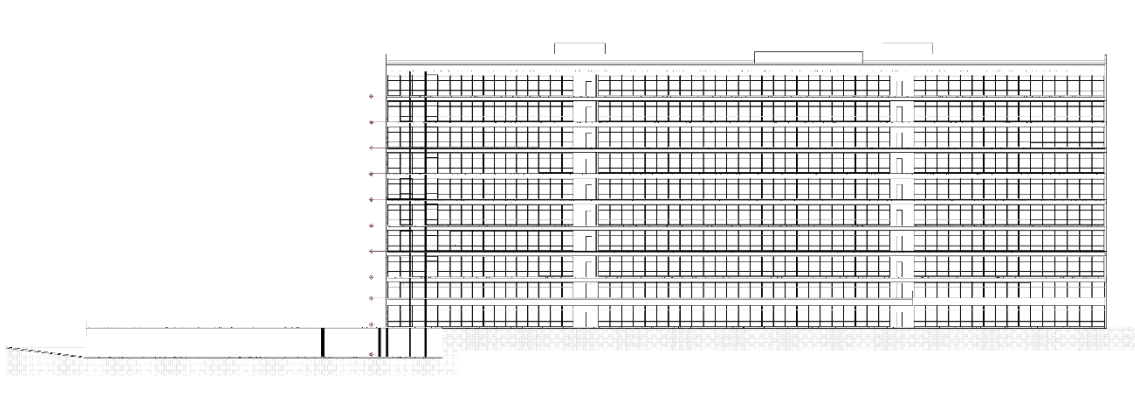
4) Dados luminotécnicos e de condicionamento de ar

Há separação de medição para iluminação e ar-condicionado? Ar-Condicionado	Sim <input checked="" type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>
Horário de funcionamento	7h30 às 19h30 (salas) 13h às 19h	

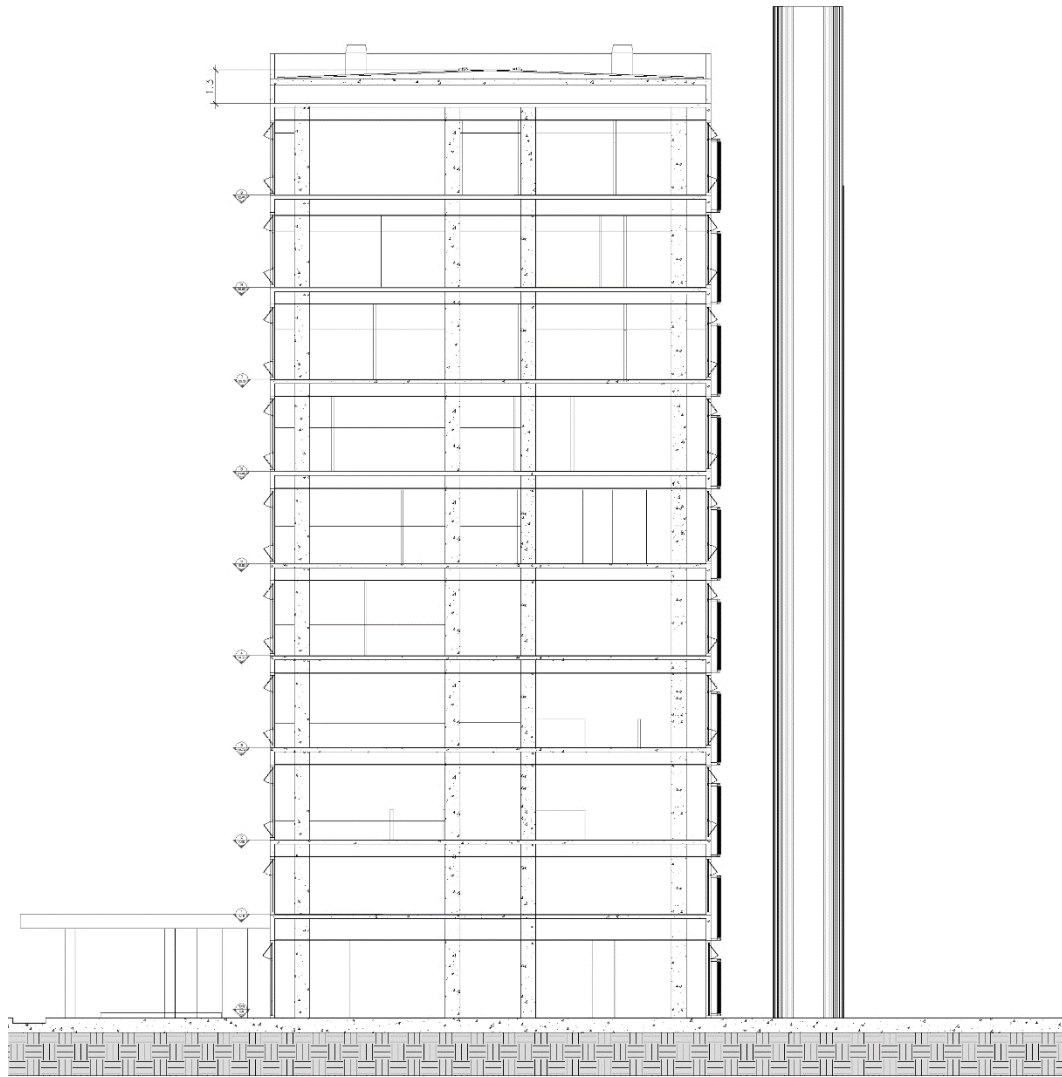
5) Projeto arquitetônico (planta baixa do pavimento tipo, cortes, desenhos das fachadas e detalhes técnicos)



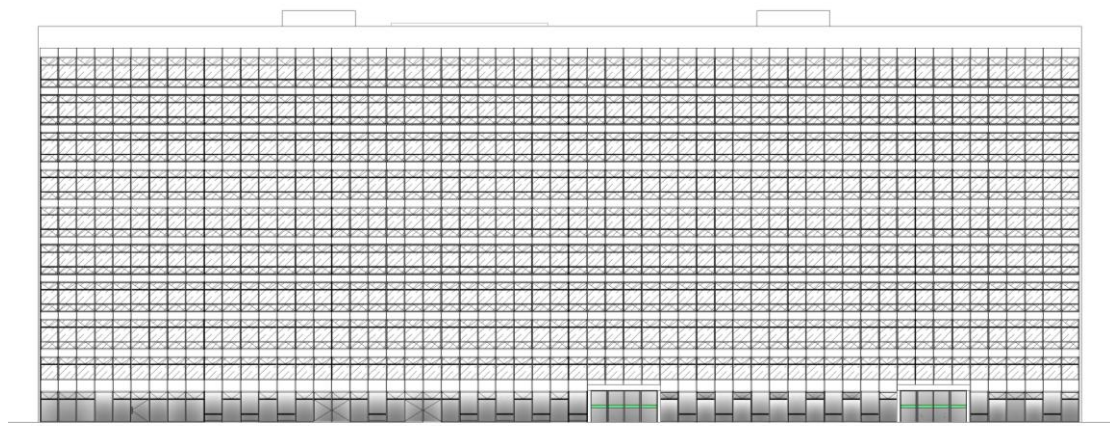
Planta baixa (6º Pav.)



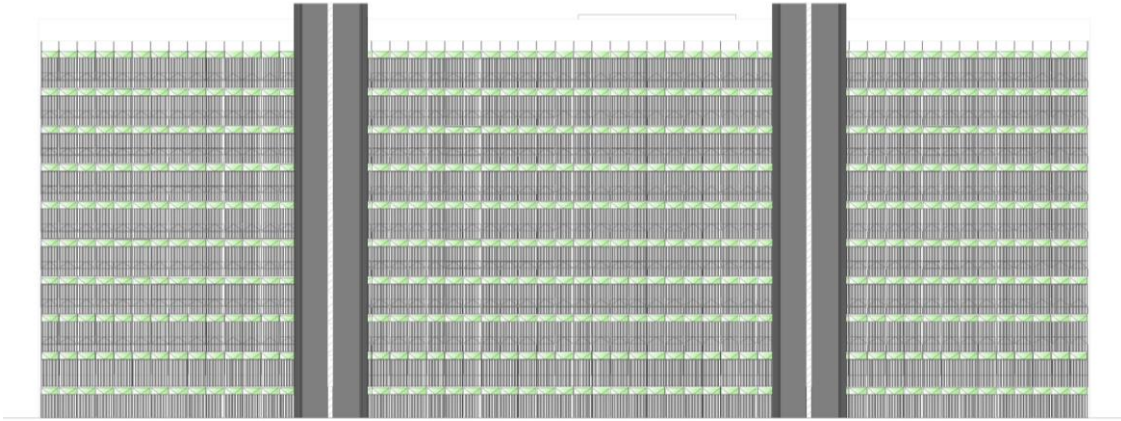
Corte longitudinal



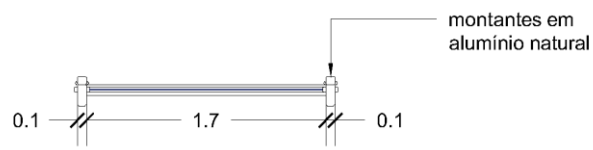
Corte transversal



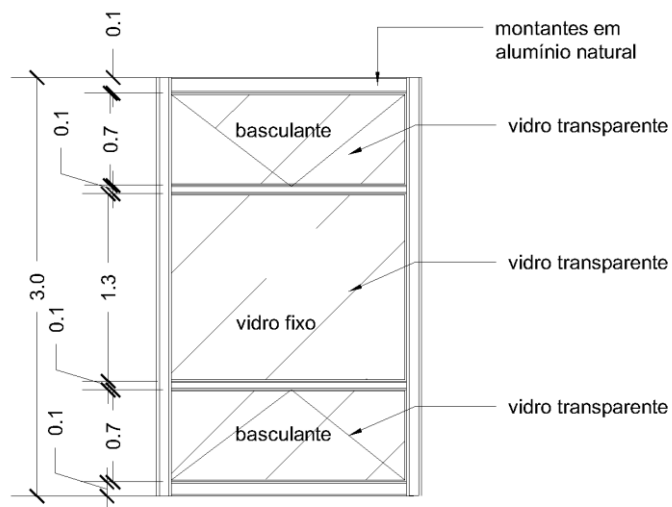
Fachada leste



Fachada oeste

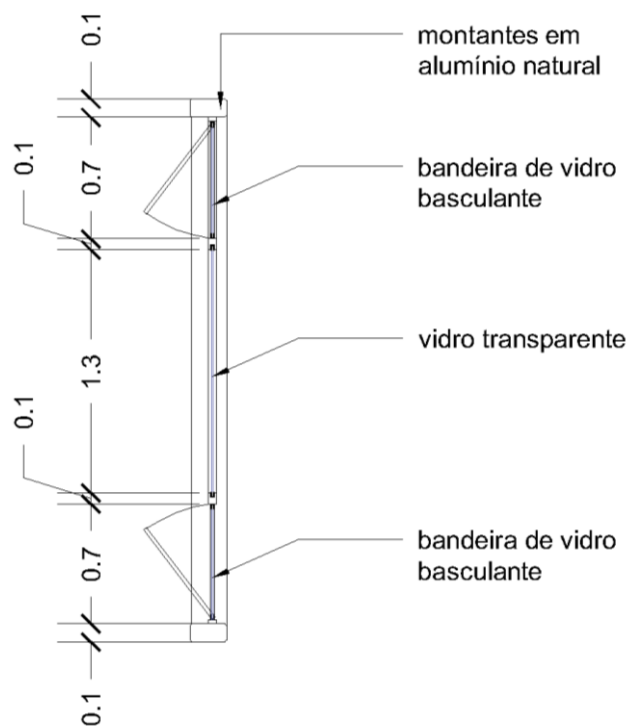


1 planta
1:100



2 elevação
1:50

Detalhes das esquadrias



Detalhes das esquadrias

6) Observações

Levantamento feito pela equipe do LACAM realizado pela equipe do LACAM sob coordenação da Prof^ª. Dr^ª Cláudia Naves David Amorim em 2015.

Equipe: Prof^ª. Dr^ª. Cláudia Naves David Amorim

Júlia Fernandes

Marina Rebelo

Marina Paixão

Preenchido por: João Francisco Walter Costa

Pesquisa: Análise em edifícios de escritórios na Zona Central de Brasília

Levantamento de Dados

1) Histórico de Edifício

Nome e Endereço	Ed. Ministério de Minas e Energia – Esplanada dos Ministérios
Data de construção e/ou reforma	Década de 1960
Arquiteto/ Empresa	Oscar Niemeyer

2) Dados Arquitetônicos

Área total construída	26697,35 m ²
Área do pavimento tipo	1805,29 m ²
Área do subsolo	4158,40 m ²
Área de garagem	-
Número de pavimentos	10
Altura (pé-direito)	3m

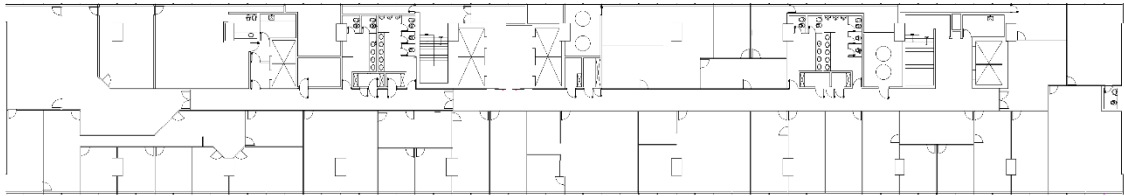
3) Média de densidade potência instalada por uso final em w/m²

Densidade de potência instalada		Em w/m ²
Usos finais	Iluminação	8W/m ² a 10W/m ² (Fluorescente T8 – 2x28W)
	Condicionamento de ar	42W/m ² (5ºPAV) 58W/m ² (9ºPAV)
	Equipamentos	-

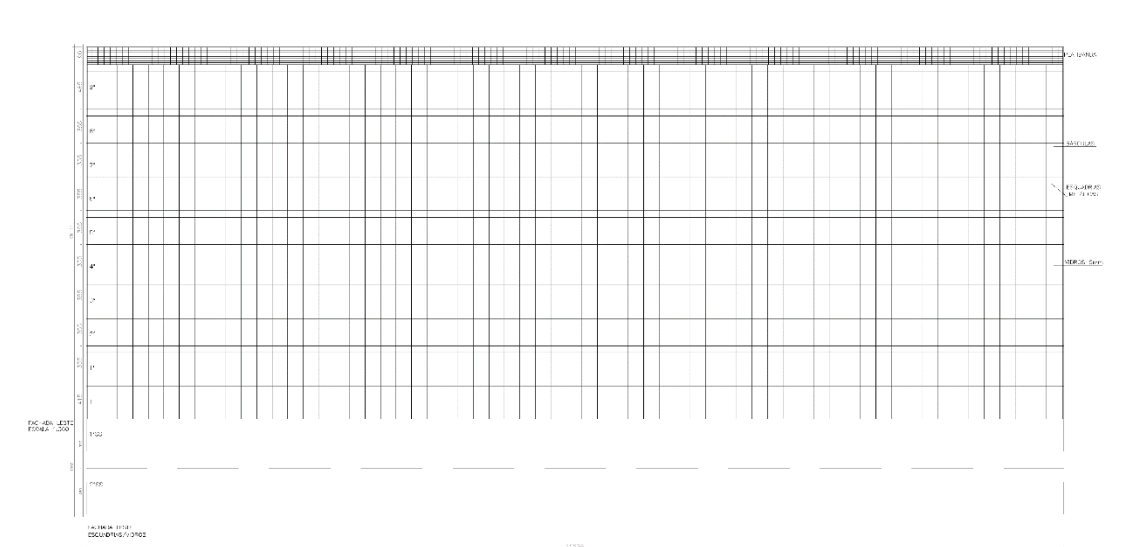
4) Dados luminotécnicos e de condicionamento de ar

Há separação de medição para iluminação e ar-condicionado? Ar-Condicionado	Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Horário de funcionamento	7h30 às 19h30 13h às 19h

5) Projeto arquitetônico (planta baixa do pavimento tipo, cortes, desenhos das fachadas e detalhes técnicos)



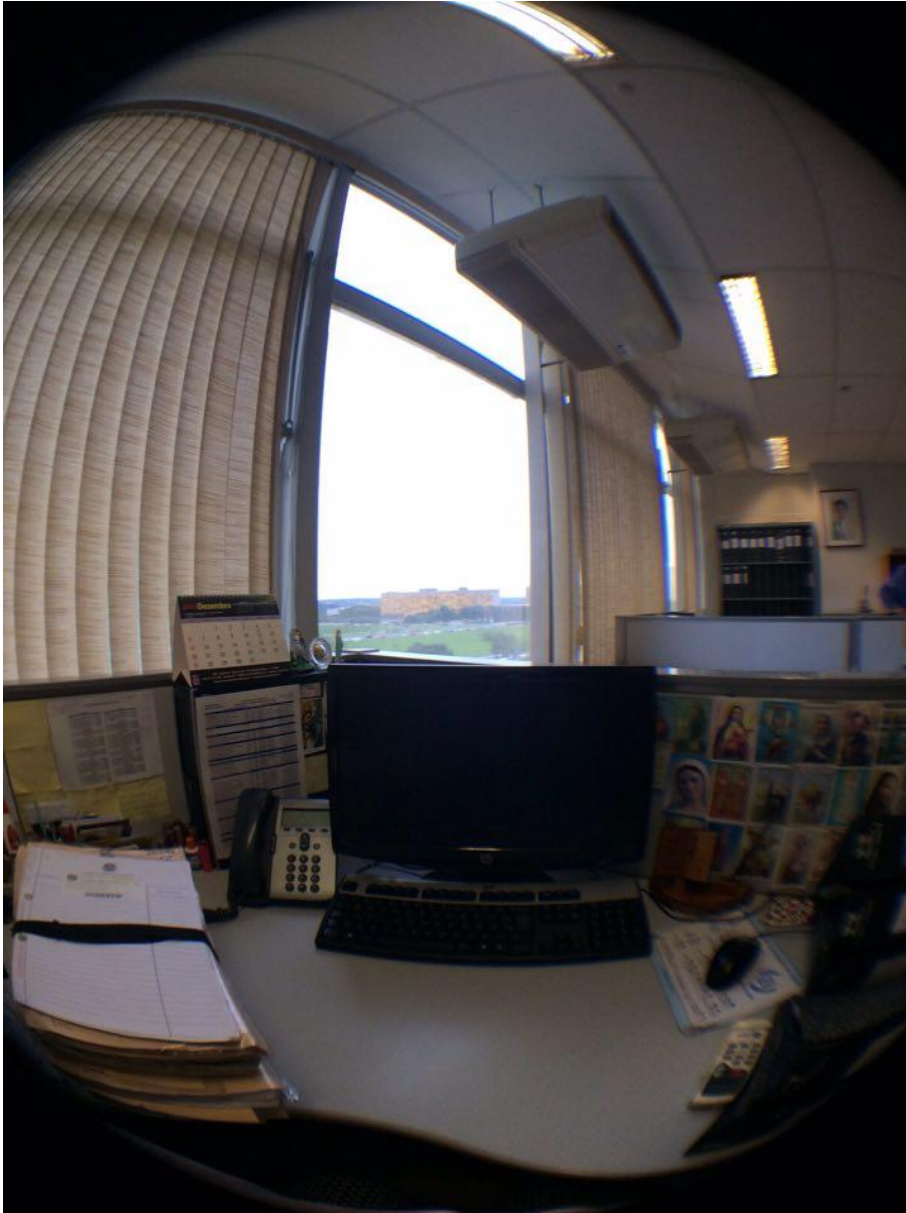
Planta baixa (7º pav.)



Fachada leste



Ambiente interno em vista “olho de peixe”



Ambiente interno em vista “olho de peixe”

6) Observações

Levantamento feito pela equipe do LACAM realizado pela equipe do LACAM sob coordenação da Prof^a. Dr^a Cláudia Naves David Amorim em 2015.

Preenchido por: João Francisco Walter Costa

Pesquisa: Análise em edifícios de escritórios na Zona Central de Brasília

Levantamento de Dados

1) Histórico de Edifício

Nome e Endereço	Departamento Nacional da Produção Mineral - MME SAUN Quadra 1 Bloco B
Data de construção e/ou reforma	Década de 1970
Arquiteto/ Empresa	-

2) Dados Arquitetônicos

Área total construída	9629m ²
Área do pavimento tipo	1651m ²
Área do subsolo	2188m ²
Área de garagem	837m ²
Número de pavimentos	4
Altura (pé-direito)	2,50m

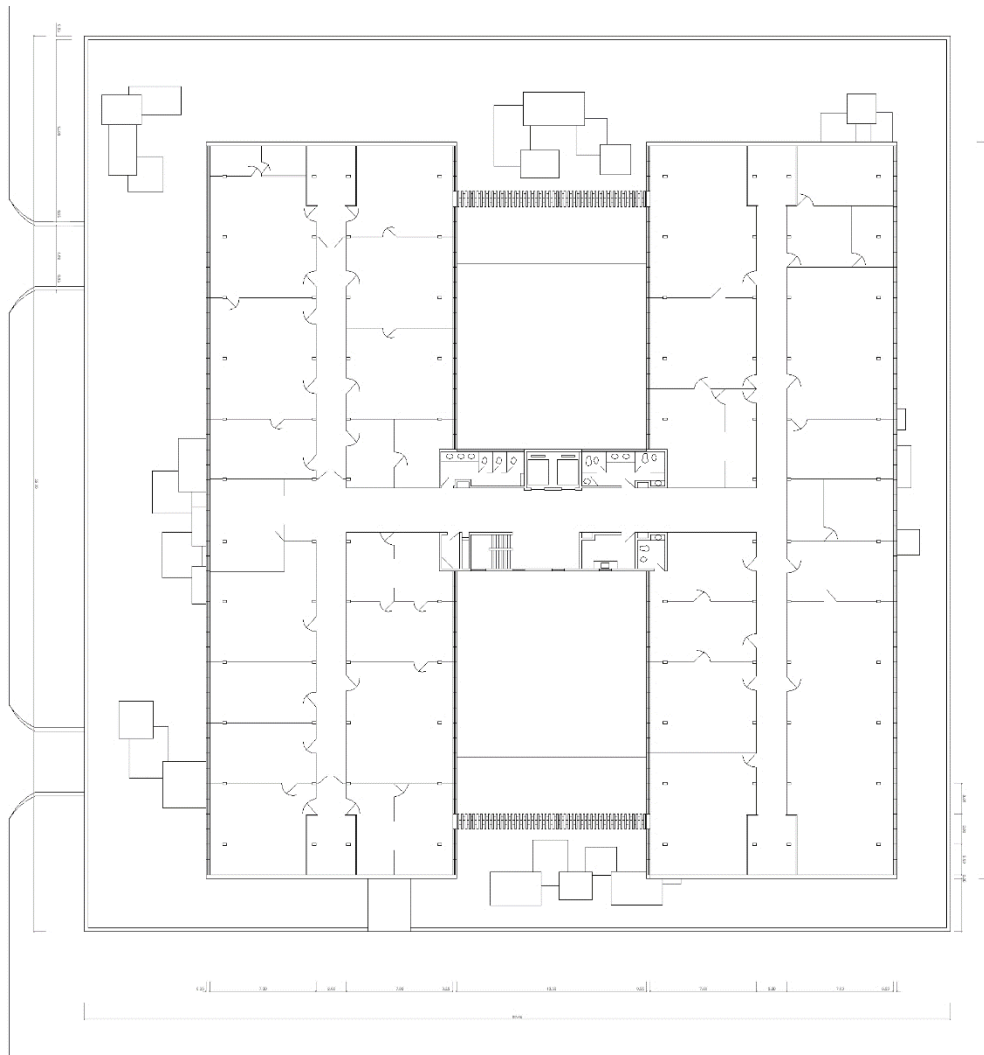
3) Média de densidade potência instalada por uso final em w/m²

Densidade de potência instalada		Em w/m ²
Usos finais	Iluminação	22W/m ² (Lâmpadas fluorescentes T10 4X40W)
	Condicionamento de ar	126W/m ² Ar-Condicionado Central Self Contained 7,5 TR
	Equipamentos	-

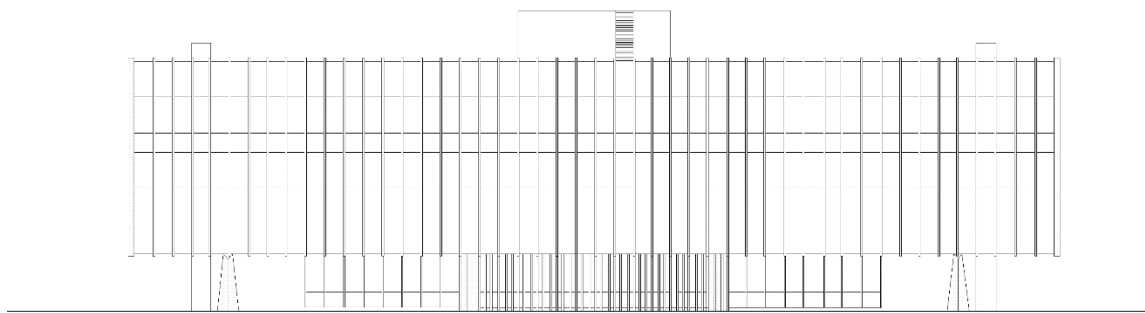
4) Dados luminotécnicos e de condicionamento de ar

Há separação de medição para iluminação e ar-condicionado? Ar-Condicionado	Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/>
Horário de funcionamento	8h às 19h

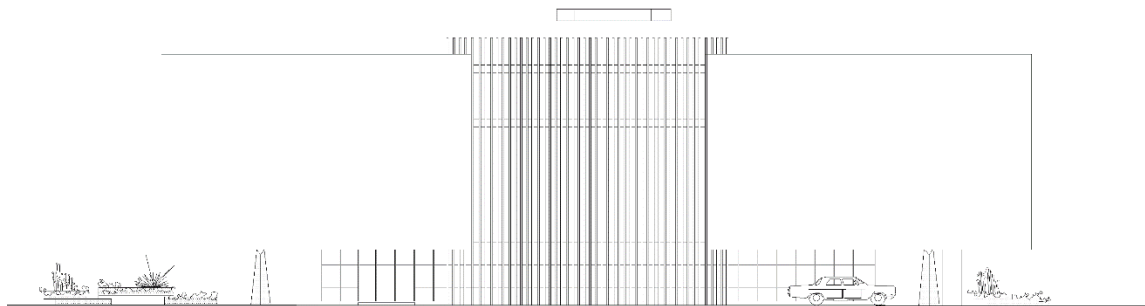
5) Projeto arquitetônico (planta baixa do pavimento tipo, cortes, desenhos das fachadas e detalhes técnicos)



Planta baixa (3º pav.)

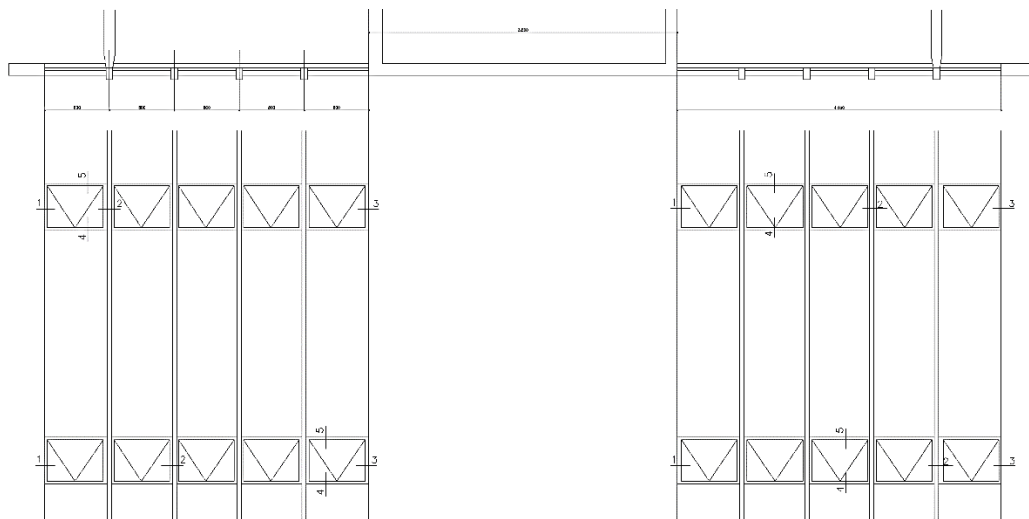


FACHADA ES - OESTE -



FACHADA NORTE E SUL

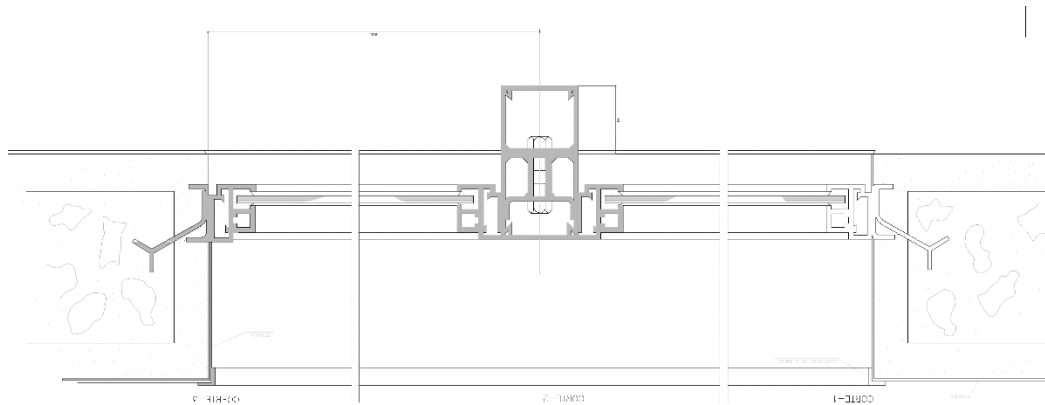
Fachadas leste e oeste (acima) e norte e sul (abaixo)



FAI - 6

VISTA EXTERNA - ESC. 1:20

Detalhes das esquadrias



Detalhes da vedação da esquadria e dos montantes

6) Observações

Levantamento in-loco e entrevista com o departamento de engenharia/arquitetura do edifício em 2017

Preenchido por: João Francisco Walter Costa

Pesquisa: Análise em edifícios de escritórios na Zona Central de Brasília

Levantamento de Dados

1) Histórico de Edifício

Nome e Endereço	Tribunal Regional Federal – I Edifício Sede I TRF 1ª Região
Data de construção e/ou reforma	Década de 1970
Arquiteto/ Empresa	Nauro Jorge Esteves

2) Dados Arquitetônicos

Área total construída	14.335m ²
Área do pavimento tipo	2673m ²
Área do subsolo	2078m ²
Área de garagem	3860m ²
Número de pavimentos	4
Altura (pé-direito)	2,44m

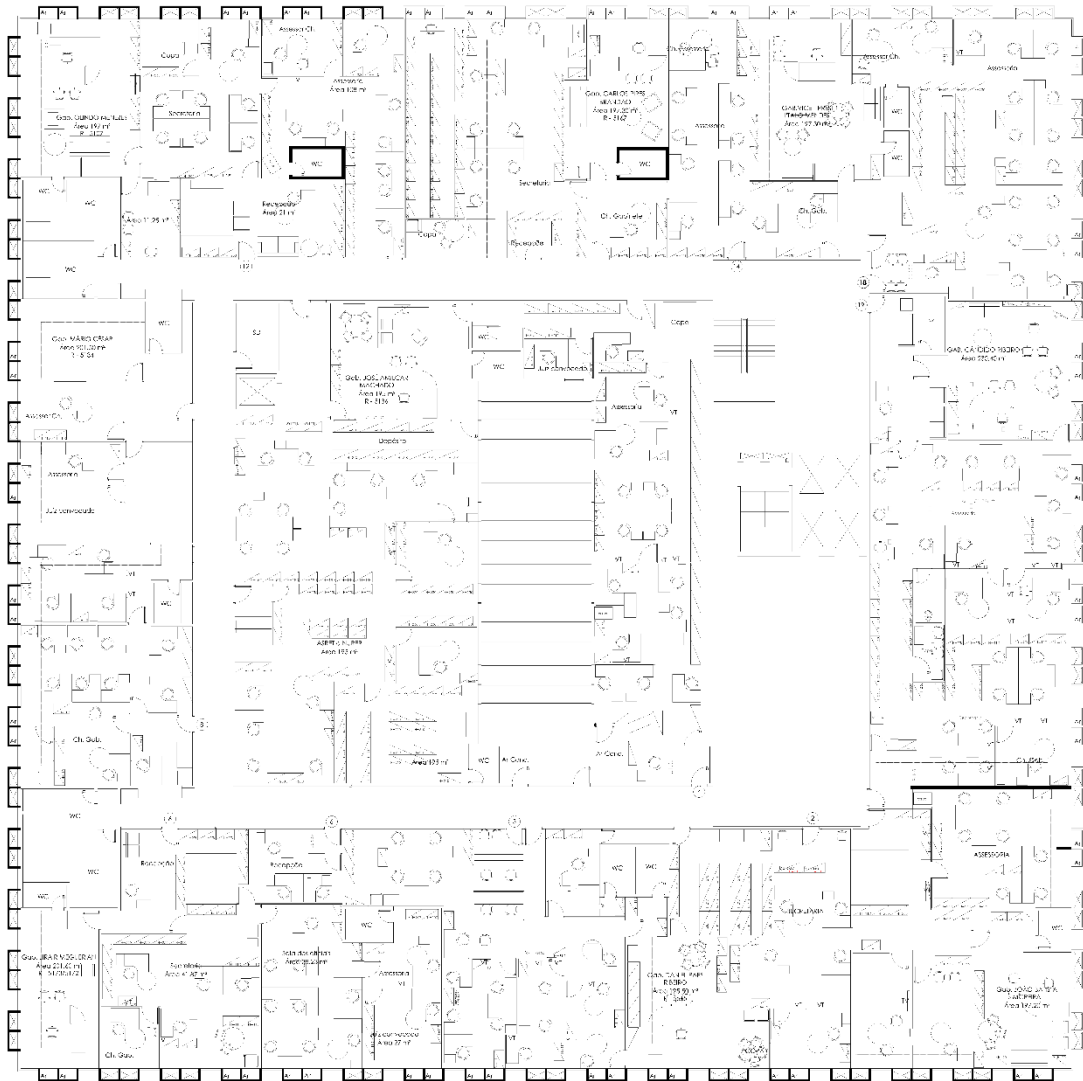
3) Média de densidade potência instalada por uso final em w/m²

Densidade de potência instalada		Em w/m ²
Usos finais	Iluminação	18W/m ² (Lâmpadas fluorescentes T8) 4x16W
	Condicionamento de ar	92W/m ² Central
	Equipamentos	-

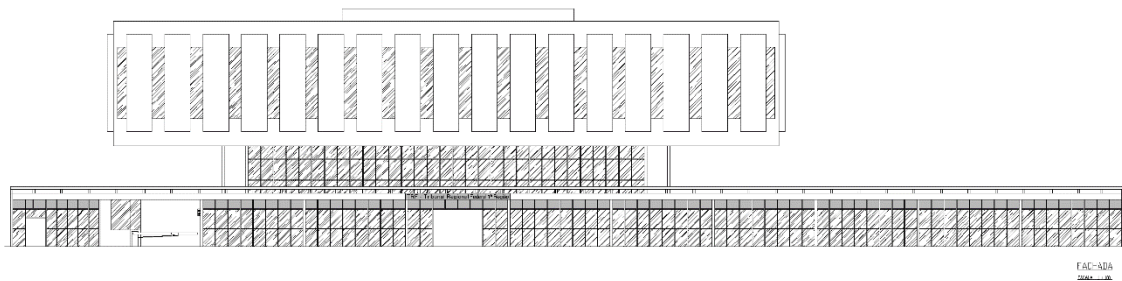
4) Dados luminotécnicos e de condicionamento de ar

Há separação de medição para iluminação e ar-condicionado? Ar-Condicionado	Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/>
Horário de funcionamento	8h às 18h30/19h 13h às 19h

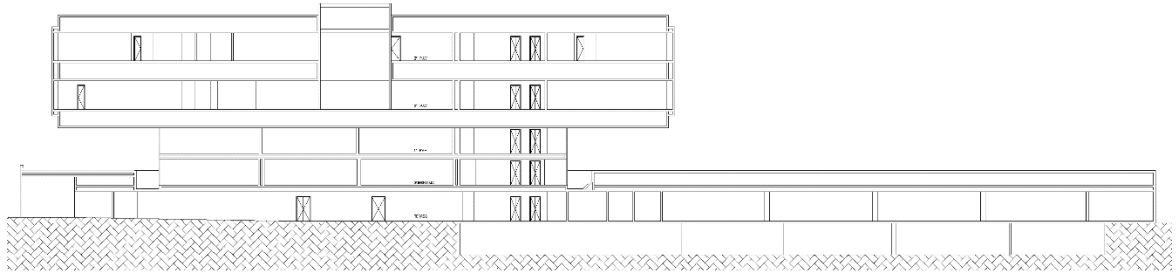
5) Projeto arquitetônico (planta baixa do pavimento tipo, cortes, desenhos das fachadas e detalhes técnicos)



Planta baixa (3º pav.)



Fachada leste



Corte longitudinal

6) Observações

Levantamento in-loco e entrevista com o departamento de engenharia/arquitetura do edifício em 2017

Preenchido por: João Francisco Walter Costa

Pesquisa: Análise em edifícios de escritórios na Zona Central de Brasília

Levantamento de Dados

1) Histórico de Edifício

Nome e Endereço	Ed. Elcy Meireles SBS Quadra 02, Bloco I
Data de construção e/ou reforma	-
Arquiteto/ Empresa	-

2) Dados Arquitetônicos

Área total construída	7.737m ²
Área do pavimento tipo	667m ²
Área do subsolo	5.270m ²
Área de garagem	1.133m ²
Número de pavimentos	2 e 2 subsolos
Altura (pé-direito)	2,50m

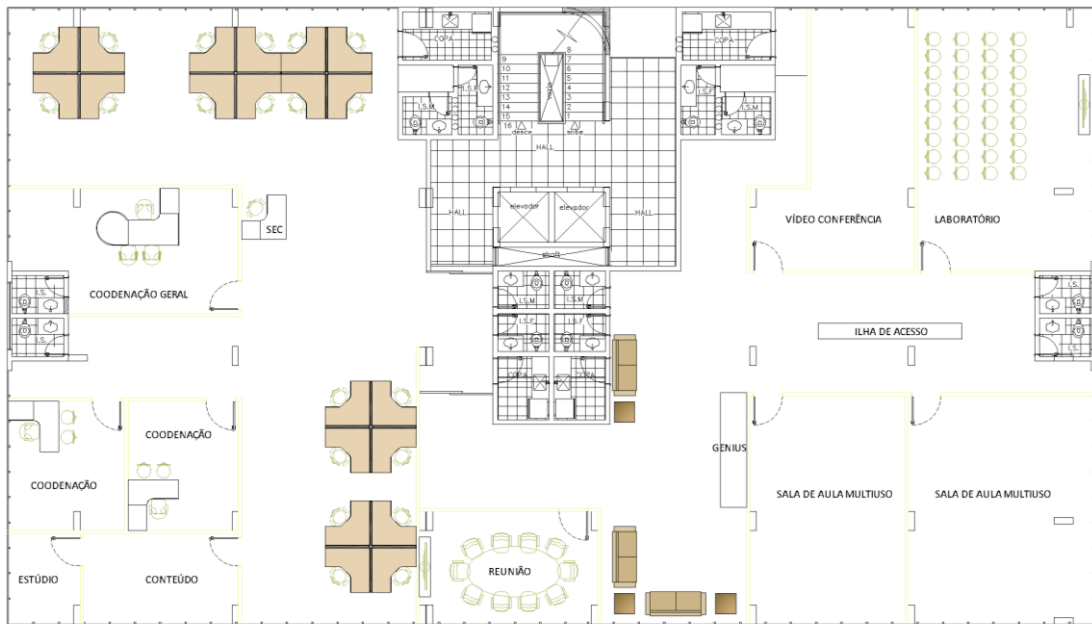
3) Média de densidade potência instalada por uso final em w/m²

Densidade de potência instalada		Em w/m ²
Usos finais	Iluminação	11W/m ² (Fluorescente - 4x14W)
	Condicionamento de ar	265W/m ²
	Equipamentos	-

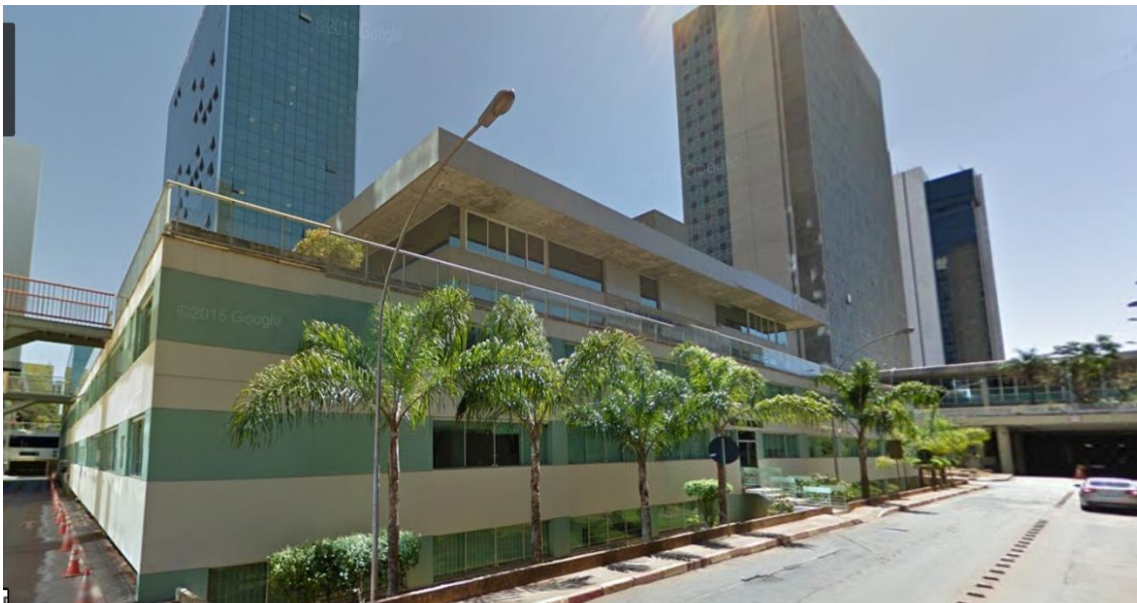
4) Dados luminotécnicos e de condicionamento de ar

Há separação de medição para iluminação e ar-condicionado? Ar-Condicionado	Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/>
Horário de funcionamento	8h às 18h/19h (salas)

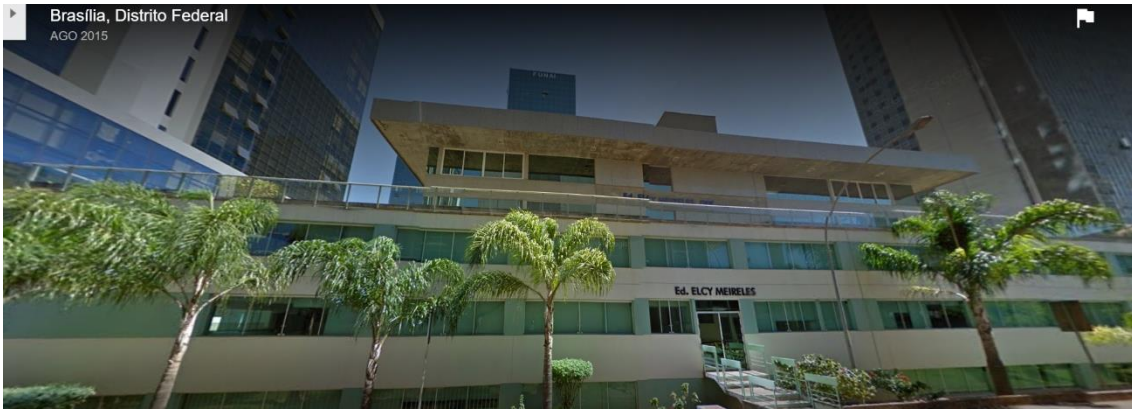
5) Projeto arquitetônico (planta baixa do pavimento tipo, cortes, desenhos das fachadas e detalhes técnicos)



Planta baixa (sobreloja)



Fachada leste (Foto: Google Street View)



Fachada principal (Fonte: Google Street View)

6) Observações

Levantamento in-loco e entrevista com o departamento de engenharia/arquitetura do edifício em 2017.

Fonte das fotos: Google Street View

Preenchido por: João Francisco Walter Costa

Pesquisa: Análise em edifícios de escritórios na Zona Central de Brasília

Levantamento de Dados

1) Histórico de Edifício

Nome e Endereço	Ed. Embratur SCN Quadra 2 Bloco G
Data de construção e/ou reforma	-
Arquiteto/ Empresa	-

2) Dados Arquitetônicos

Área total construída	3668m ²
Área do pavimento tipo	895m ²
Área do subsolo	1878m ²
Área de garagem	300m ²
Número de pavimentos	2
Altura (pé-direito)	2,50m

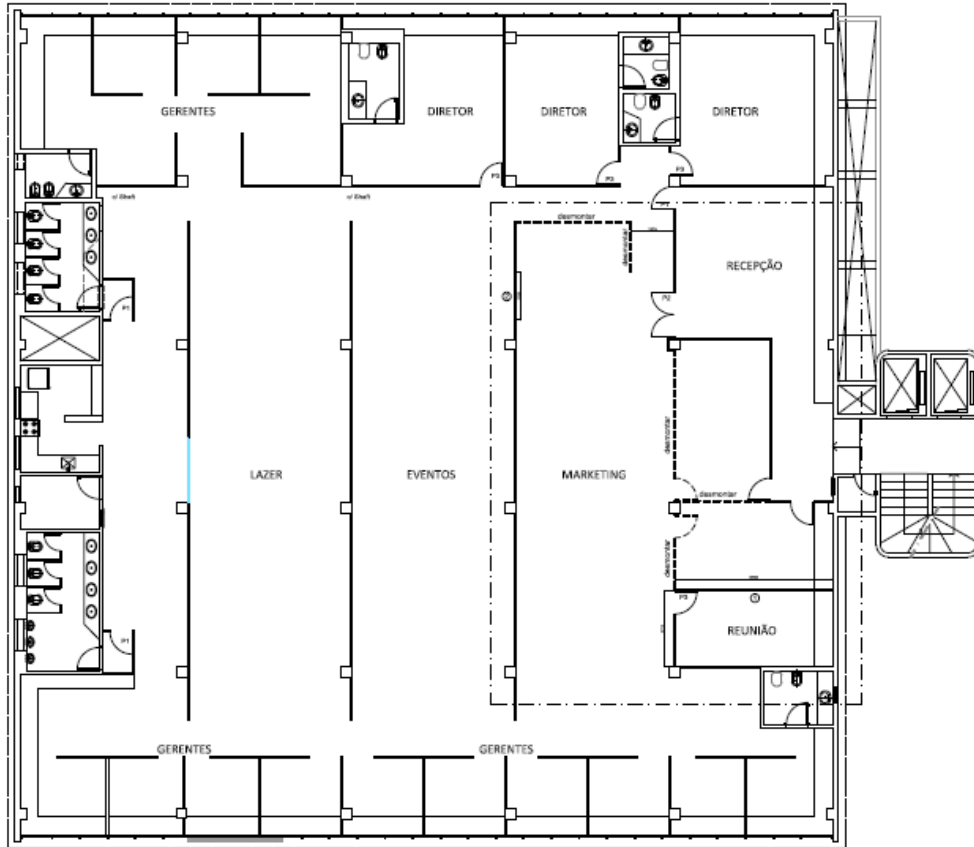
3) Média de densidade potência instalada por uso final em w/m²

Densidade de potência instalada		Em w/m ²
Usos finais	Iluminação	15W/m ² (Lâmpadas fluorescentes T8 e T10 4X16W)
	Condicionamento de ar	79W/m ² (Splits 9.000BTU's a 36.000 BTUs)
	Equipamentos	-

4) Dados luminotécnicos e de condicionamento de ar

Há separação de medição para iluminação e ar-condicionado? Ar-Condicionado	Sim <input type="checkbox"/>
	Não <input checked="" type="checkbox"/>
Horário de funcionamento	8h às 18h/19h (salas)

5) Projeto arquitetônico (planta baixa do pavimento tipo, cortes, desenhos das fachadas e detalhes técnicos)



Planta baixa (2º pav.)



Fachada norte



Fachada sul



Ambiente interno (1º pav.)



Ambiente interno (1º pav.)

6) Observações

Levantamento in-loco e entrevista com o departamento de engenharia/arquitetura do edifício em 2017

Fotos tiradas pelo autor.

Preenchido por: João Francisco Walter Costa

Pesquisa: Análise em edifícios de escritórios na Zona Central de Brasília

Levantamento de Dados

1) Histórico de Edifício

Nome e Endereço	Ed. Centro Oeste SCS Quadra 4 Bloco A Bloco Lote 106/136
Data de construção e/ou reforma	Década de 1970
Arquiteto/ Empresa	-

2) Dados Arquitetônicos

Área total construída	-
Área do pavimento tipo	815m ²
Área do subsolo	-
Área de garagem	-
Número de pavimentos	6 (acesso aos dados dos pavimentos 2°, 3°, 5° e o 6°)
Altura (pé-direito)	2,50m

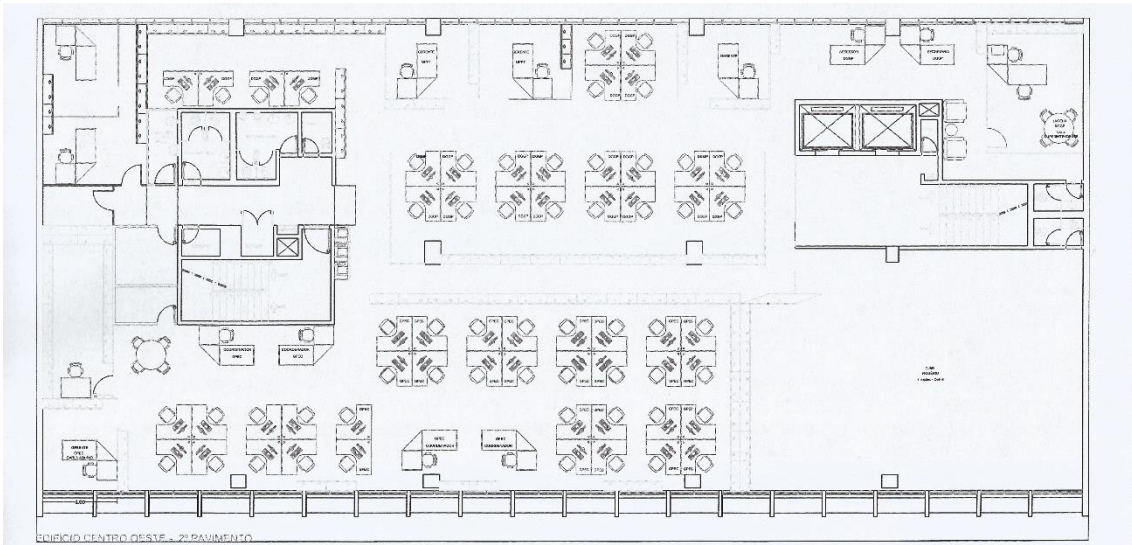
3) Média de densidade potência instalada por uso final em w/m²

Densidade de potência instalada		Em w/m ²
Usos finais	Iluminação	6W/m ² (Lâmpadas LED – 4x14W)
	Condicionamento de ar	128W/m ² (Fancoils/ Splits 24.000 BTUs)
	Equipamentos	-

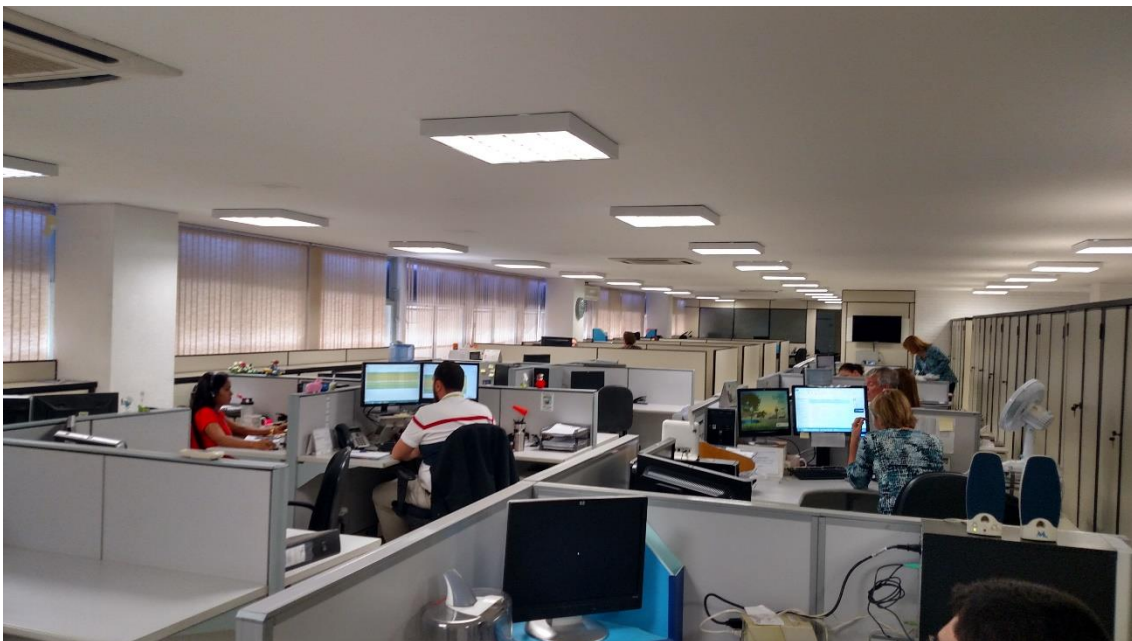
4) Dados luminotécnicos e de condicionamento de ar

Há separação de medição para iluminação e ar-condicionado? Ar-Condicionado	Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/>
Horário de funcionamento	8h às 18h/19h (salas)

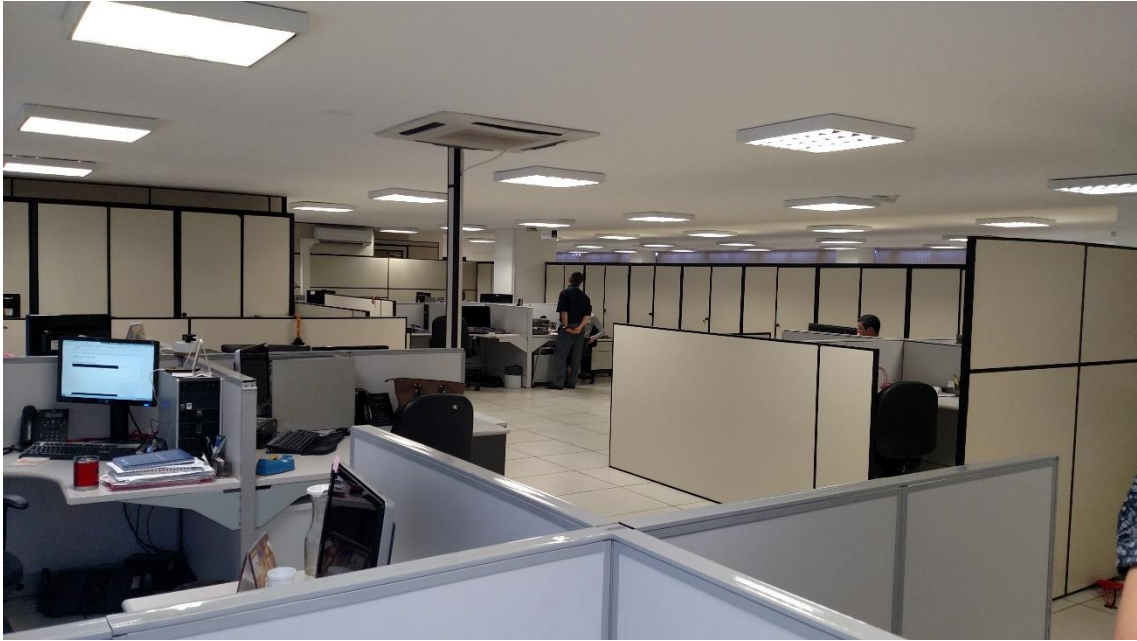
5) Projeto arquitetônico (planta baixa do pavimento tipo, cortes, desenhos das fachadas e detalhes técnicos)



Planta baixa (2º pav.)



Ambiente interno (3º pav.)



Ambiente interno (3º pav.)



Circulação (5º pav)



Fachadas dos edifícios Infraero e Centro Oeste

6) Observações

Levantamento in-loco e entrevista com o departamento de engenharia/arquitetura do edifício em 2017

Fotos tiradas pelo autor (ambiente internos)

Foto da fachada (Google Street View)

Preenchido por: João Francisco Walter Costa

Pesquisa: Análise em edifícios de escritórios na Zona Central de Brasília

Levantamento de Dados

1) Histórico de Edifício

Nome e Endereço	Ed. Infraero SCS Quadra 4 Bloco A Lote 58
Data de construção e/ou reforma	1973
Arquiteto/ Empresa	Almir de Araújo Sá

2) Dados Arquitetônicos

Área total construída	7531m ²
Área do pavimento tipo	1.214m ² (acesso do 1º ao 6º pavimento)
Área do subsolo	791m ²
Área de garagem	594m ²
Número de pavimentos	6
Altura (pé-direito)	2,50m

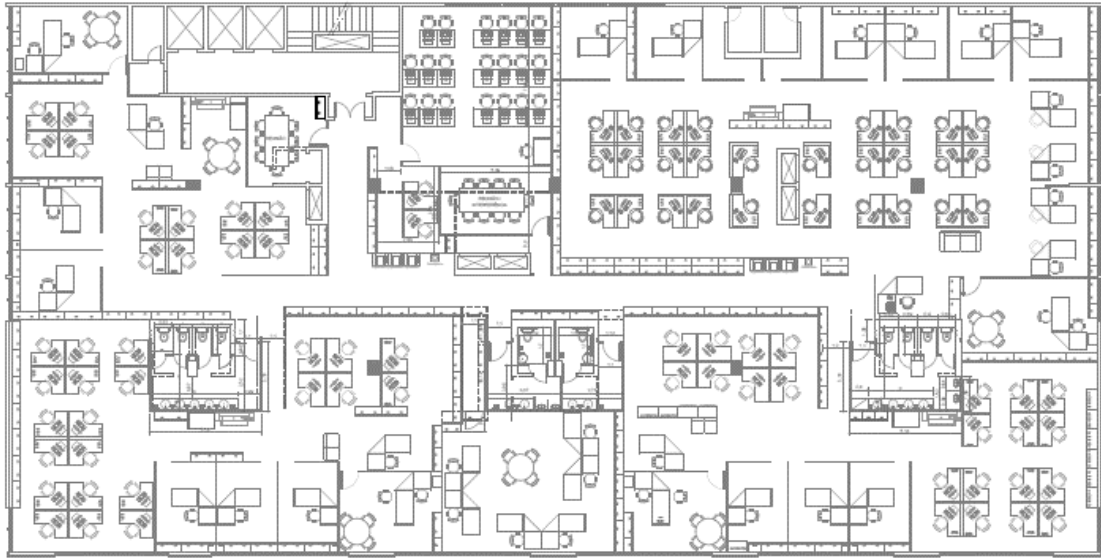
3) Média de densidade potência instalada por uso final em w/m²

Densidade de potência instalada		Em w/m ²
Usos finais	Iluminação	1º ao 5º pavimento (Fluorescentes 4x40 W) – 11W/m ² 6º Pavimento LED (6~7W/m ² - 4x14W)
	Condicionamento de ar	177W/m ² (Splits de 12.000 a 24.000 BTUs)
	Equipamentos	-

4) Dados luminotécnicos e de condicionamento de ar

Há separação de medição para iluminação e ar-condicionado? Ar-Condicionado	Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/>
Horário de funcionamento	8h às 18h/19h (salas)

5) Projeto arquitetônico (planta baixa do pavimento tipo, cortes, desenhos das fachadas e detalhes técnicos)



Planta baixa (3° pav.)



Fachada sul



Fachadas leste e oeste



Ambiente interno (3º pav.)



Ambiente interno (3º pav.)



Sistema de ar-condicionado (splits)

6) Observações

Levantamento in-loco e entrevista com o departamento de engenharia/arquitetura do edifício em 2017

Fotos tirados pelo autor.

Preenchido por: João Francisco Walter Costa

Apêndice F – Consumo energético e características morfológicas de 30 edifícios públicos na zona central de Brasília

Consumo energético e características morfológicas⁶⁰

Edifício	Consumo energético médio (entre 2013 e 2017) em kWh/m ² ano	Altura (em número de pavimentos)	PAF	Fator solar do vidro ⁶¹	Orientação da fachada principal	Proteções solares	Forma
1	130,6	2	40%	60,20%	Norte	Não	Retangular
2	70,3	2	80%	58,30%	Norte	Não	Quadrada
3	95	2	25%	58,30%	Sul	Não	Quadrada
4	97,8	3	85%		Leste	Brise Horizontal Fixo	Retangular
5	124	3	85%	58,30%	Sul	Não	Quadrada
6	115	4	50%	58,30%	Oeste	Não	Retangular
7	121,5	4	60%	60,60%	Oeste	Não	Retangular
8	123,3	4	60%	58,30%	Norte	Brise horizontal móvel	Retangular
9	96	4	60%	58,30%	Sul	Não	Quadrada
10	223,4	5	50%		Leste	Brise horizontal e vertical fixos	Retangular
11	124	5	60%	58,30%	Leste	Não	Retangular
12	130,6	6	60%	81,50%	Norte	Brise vertical fixo e horizontal fixo	Retangular
13	139	7	45%	81,50%	Oeste	Brise misto fixo	Retangular
14	146,8	8	50%	58,30%	Oeste	Não	Retangular
15	137,6	10	85%		Leste	Não	Retangular
16	148,4	10	80%	51,30%	Leste	Não	Retangular

⁶⁰ Os dados de consumo foram coletados por meio de visitas aos edifícios e entrevistas com os setores de engenharia e administração dos edifícios.

17	155,5	10	80%	51,30%	Leste	Não	Retangular
18	160,8	10	85%		Leste	Não	Retangular
19	131,3	10	85%		Leste	Não	Retangular
20	126,5	10	60%		Norte	Brise horizontal fixo	Irregular
21	98,1	11	85%		Oeste	Não	Retangular
22	97,1	11	85%		Oeste	Brise vertical móvel	Retangular
23	193,7	11	85%		Oeste	Brise vertical móvel	Retangular
24	146,5	12	65%		Sul	Não	Irregular
25	161,8	12	20%	58,30%	Sul	Brise vertical fixo	Quadrada
26	151,4	13	50%		Oeste	Não	Irregular
27	100,7	14	80%		Sul	Brise vertical fixo	Retangular
28	211,3	18	75%	58,30%	Sul	Não	Retangular
29	96,7	20	85%		Oeste	Não	Retangular
30	80,1	24	80%	58,30%	Leste	Não	Retangular

Apêndice G – Resumo dos cenários simulados

Com base no item 4.10, relativo ao método, dispõe-se, o resumo dos cenários 34 a 69 neste Apêndice.

Cenários simulados com DPI de 12W/m² e ar-condicionado (eficiência de nível “C”)

Modelo de 4 pavimentos				
DPI (Iluminação) 12W/m ² e Ar-Condicionado CoP - 2,80				
Cen.	Obstrução Externa (Ângulo máximo de incidência solar na fachada)	PAF	FS/ TL	Proteção solar
1	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	50%	FS=30%/TL=21%	Sem
2	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	32%	FS=30%/TL=21%	Com
3	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	50%	FS=43%/TL=32%	Sem
4	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	32%	FS=43%/TL=32%	Com
5	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	80%	FS=30%/TL=21%	Sem
6	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	50%	FS=30%/TL=21%	Com
7	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	80%	FS=43%/TL=32%	Sem
8	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	50%	FS=43%/TL=32%	Com
9	N(19°)/S(60°)/L(57°)/O(57°) (SCS)	50%	FS=30%/TL=21%	Sem
10	N(19°)/S(60°)/L(57°)/O(57°) (SCS)	32%	FS=30%/TL=21%	Com
11	N(19°)/S(60°)/L(57°)/O(57°) (SCS)	50%	FS=43%/TL=32%	Sem
12	N(19°)/S(60°)/L(57°)/O(57°) (SCS)	32%	FS=43%/TL=32%	Com
13	N(19°)/S(60°)/L(57°)/O(57°) (SCS)	80%	FS=30%/TL=21%	Sem
14	N(19°)/S(60°)/L(57°)/O(57°) (SCS)	50%	FS=30%/TL=21%	Com
15	N(19°)/S(60°)/L(57°)/O(57°) (SCS)	80%	FS=43%/TL=32%	Sem
16	N(19°)/S(60°)/L(57°)/O(57°) (SCS)	50%	FS=43%/TL=32%	Com
17	N(25°)/S(29°)/L(18°)/O(8°) (SBS)	50%	FS=30%/TL=21%	Sem
18	N(25°)/S(29°)/L(18°)/O(8°) (SBS)	32%	FS=30%/TL=21%	Com
19	N(25°)/S(29°)/L(18°)/O(8°) (SBS)	50%	FS=43%/TL=32%	Sem
20	N(25°)/S(29°)/L(18°)/O(8°) (SBS)	32%	FS=43%/TL=32%	Com
21	N(25°)/S(29°)/L(18°)/O(8°) (SBS)	80%	FS=30%/TL=21%	Sem
22	N(25°)/S(29°)/L(18°)/O(8°) (SBS)	50%	FS=30%/TL=21%	Com
23	N(25°)/S(29°)/L(18°)/O(8°) (SBS)	80%	FS=43%/TL=32%	Sem
24	N(25°)/S(29°)/L(18°)/O(8°) (SBS)	50%	FS=43%/TL=32%	Com
25	Sem obstrução (teórico)	50%	FS=30%/TL=21%	Sem
26	Sem obstrução (teórico)	32%	FS=30%/TL=21%	Com
27	Sem obstrução (teórico)	50%	FS=43%/TL=32%	Sem
28	Sem obstrução (teórico)	32%	FS=43%/TL=32%	Com
29	Sem obstrução (teórico)	80%	FS=30%/TL=21%	Sem
30	Sem obstrução (teórico)	50%	FS=30%/TL=21%	Com
31	Sem obstrução (teórico)	80%	FS=43%/TL=32%	Sem
32	Sem obstrução (teórico)	50%	FS=43%/TL=32%	Com
33	Sem obstrução (teórico)	80%	FS=43%/TL=32%	Sem

Cenários simulados com equipamentos de nível de eficiência “A” e ventilação natural

DPI (Iluminação) 9W/m ² e Ar-Condicionado CoP - 2,80				
34	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	32%	FS=30%/TL=21%	Com
35	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	32%	FS=43%/TL=32%	Com
36	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	50%	FS=30%/TL=21%	Com
37	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	50%	FS=43%/TL=32%	Com
38	N(19°)/S(60°)/L(57°)/O(57°) (SCS)	50%	FS=30%/TL=21%	Com
39	N(19°)/S(60°)/L(57°)/O(57°) (SCS)	50%	FS=43%/TL=32%	Com
40	Sem obstrução (teórico)	50%	FS=30%/TL=21%	Com
41	Sem obstrução (teórico)	50%	FS=43%/TL=32%	Com
DPI (Iluminação) 9W/m ² e Ar-Condicionado CoP - 3,50 (RTQ -C)				
42	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	32%	FS=30%/TL=21%	Com
43	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	32%	FS=43%/TL=32%	Com
44	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	50%	FS=30%/TL=21%	Com
45	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	50%	FS=43%/TL=32%	Com
46	N(19°)/S(60°)/L(57°)/O(57°) (SCS)	50%	FS=30%/TL=21%	Com
47	N(19°)/S(60°)/L(57°)/O(57°) (SCS)	50%	FS=43%/TL=32%	Com
48	Sem obstrução (teórico)	50%	FS=30%/TL=21%	Com
49	Sem obstrução (teórico)	50%	FS=43%/TL=32%	Com
DPI (Iluminação) 9W/m ² e Ar-Condicionado CoP - 4,50 (Catálogos DAIKIN e CARRIER)				
50	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	32%	FS=30%/TL=21%	Com
51	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	32%	FS=43%/TL=32%	Com
52	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	50%	FS=30%/TL=21%	Com
53	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	50%	FS=43%/TL=32%	Com
54	N(19°)/S(60°)/L(57°)/O(57°) (SCS)	50%	FS=30%/TL=21%	Com
55	N(19°)/S(60°)/L(57°)/O(57°) (SCS)	50%	FS=43%/TL=32%	Com
56	Sem obstrução (teórico)	50%	FS=30%/TL=21%	Com
57	Sem obstrução (teórico)	50%	FS=43%/TL=32%	Com
DPI (Iluminação) 9W/m ² e Ar-Condicionado CoP - 4,50 (Catálogos DAIKIN e CARRIER) - com ventilação noturna (massa térmica - teto)				
58	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	32%	FS=30%/TL=21%	Com
59	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	32%	FS=43%/TL=32%	Com
60	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	50%	FS=30%/TL=21%	Com
61	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	50%	FS=43%/TL=32%	Com
62	N(19°)/S(60°)/L(57°)/O(57°) (SCS)	50%	FS=30%/TL=21%	Com
63	N(19°)/S(60°)/L(57°)/O(57°) (SCS)	50%	FS=43%/TL=32%	Com
DPI (Iluminação) 9W/m ² e Ar-Condicionado CoP - 4,50 (Catálogos DAIKIN e CARRIER) - com ventilação noturna e natural (escritório)				
64	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	32%	FS=30%/TL=21%	Com
65	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	32%	FS=43%/TL=32%	Com
66	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	50%	FS=30%/TL=21%	Com
67	N(90°)/S(90°)/L(64°)/O(28°) (SAUS/SAUN)	50%	FS=43%/TL=32%	Com
68	N(19°)/S(60°)/L(57°)/O(57°) (SCS)	50%	FS=30%/TL=21%	Com
69	N(19°)/S(60°)/L(57°)/O(57°) (SCS)	50%	FS=43%/TL=32%	Com

Apêndice H – Análise da influência do vidro e da proteção solar no consumo de iluminação

Para leitura dos resultados, os valores destacados em vermelho indicam redução de consumo e os valores em verde indicam aumento do consumo energético quando comparados os cenários semelhantes com variação apenas das variáveis comparadas nas tabelas.

Comparação entre PAF 50% e PAF 80% entre os cenários 1 a 32

Comparação entre PAF 50% e PAF 80%					
		N	L	S	O
1 x 5	2 pav	-36,49%	5,51%	-53,29%	-30,74%
	4 pav	-32,41%	-43,41%	-20,09%	-9,90%
2 x 6	2 pav	-25,67%	12,88%	-51,41%	-29,96%
	4 pav	-26,04%	-43,66%	-23,88%	-14,64%
3 x 7	2 pav	-10,38%	0,40%	-56,92%	-12,57%
	4 pav	-12,42%	-39,54%	-8,33%	-13,24%
4 x 8	2 pav	-26,32%	-14,29%	-62,04%	-14,98%
	4 pav	-5,09%	-35,23%	-7,32%	-4,88%
9 x 13	2 pav	-29,07%	16,80%	-51,97%	-22,96%
	4 pav	-39,25%	-46,05%	-22,36%	-12,72%
10 x 14	2 pav	-28,96%	21,58%	-57,20%	-28,03%
	4 pav	-28,68%	-43,38%	-23,04%	-12,06%
11 x 15	2 pav	-7,04%	16,63%	-52,52%	-13,63%
	4 pav	-8,44%	-36,24%	-7,41%	-7,67%
12 x 16	2 pav	-3,79%	-8,75%	-54,69%	-16,21%
	4 pav	-23,76%	-38,62%	-10,44%	-5,46%
17 x 21	2 pav	-25,61%	7,29%	-60,23%	-32,77%
	4 pav	-31,35%	-39,89%	-24,02%	-17,37%
18 x 22	2 pav	-32,18%	10,42%	-54,24%	-26,56%
	4 pav	-20,19%	-38,38%	-27,66%	-17,79%
19 x 23	2 pav	-19,73%	-15,76%	-58,86%	-17,30%
	4 pav	-14,36%	-37,73%	-3,35%	-5,60%
20 x 24	2 pav	-6,21%	4,43%	-49,58%	-11,60%
	4 pav	-19,41%	-37,34%	-12,80%	-6,20%
25 x 29	2 pav	-31,60%	7,76%	-51,19%	-28,11%
	4 pav	-20,54%	-41,05%	-23,54%	-12,64%
26 x 30	2 pav	-35,55%	11,80%	-56,76%	-30,45%
	4 pav	-22,65%	-39,26%	-23,81%	-14,19%
27 x 31	2 pav	-10,92%	-9,79%	-57,37%	-12,42%
	4 pav	-19,26%	-36,04%	-7,62%	-6,62%
28 x 32	2 pav	-13,42%	-5,19%	-54,24%	-14,97%
	4 pav	-13,31%	-37,92%	-7,95%	-1,38%

Quantificação dos cenários que diminuem o consumo com o aumento do PAF (de 50% para 80%)

	N	L	S	O
diminui	32	21	32	32
aumenta	0	11	0	0
diminui (%)	100%	66%	100%	100%
aumenta (%)	0%	34%	0%	0%
	diminui	diminui	diminui	diminui

Diferença máxima	62,04%
Diferença média	24,41%
Diferença mínima	0,40%

Comparação entre TL 21% e TL 32%

Comparação entre TL 21% e TL 32%					
		N	L	S	O
1 x 3	2 pav	-46,77%	-48,80%	-12,96%	-3,46%
	4 pav	-32,59%	-20,16%	-3,79%	-14,92%
2 x 4	2 pav	-28,30%	-44,02%	-10,43%	2,69%
	4 pav	-32,18%	-20,73%	-4,32%	-17,71%
5 x 7	2 pav	-24,88%	-51,28%	-19,72%	21,87%
	4 pav	-12,65%	-14,70%	10,36%	-18,07%
6 x 8	2 pav	-28,92%	-57,49%	-30,03%	24,66%
	4 pav	-12,98%	-8,87%	16,50%	-8,30%
9 x 11	2 pav	-43,34%	-53,84%	-10,99%	4,37%
	4 pav	-37,73%	-18,98%	-4,49%	-17,63%
10 x 12	2 pav	-48,64%	-47,69%	-13,47%	5,92%
	4 pav	-22,16%	-16,38%	-4,17%	-20,21%
13 x 15	2 pav	-25,74%	-53,91%	-12,01%	17,02%
	4 pav	-6,15%	-4,24%	13,89%	-12,86%
14 x 16	2 pav	-30,44%	-60,74%	-8,38%	23,31%
	4 pav	-16,80%	-9,35%	11,52%	-14,21%
17 x 19	2 pav	-39,05%	-45,75%	-14,83%	-1,78%
	4 pav	-32,41%	-14,31%	-6,12%	-18,37%
18 x 20	2 pav	-37,34%	-48,79%	-15,80%	3,84%
	4 pav	-20,58%	-15,02%	-9,31%	-19,46%
21 x 23	2 pav	-34,24%	-57,41%	-11,89%	20,81%
	4 pav	-15,68%	-11,23%	19,42%	-6,73%
22 x 24	2 pav	-13,35%	-51,57%	-7,23%	24,99%
	4 pav	-19,81%	-13,59%	9,31%	-8,10%
25 x 27	2 pav	-44,01%	-49,04%	-8,65%	1,50%
	4 pav	-25,35%	-19,97%	-8,24%	-20,59%
26 x 28	2 pav	-44,87%	-44,71%	-15,56%	-4,64%

	4 pav	-25,02%	-18,91%	-5,90%	-20,10%
29 x 31	2 pav	-27,08%	-57,34%	-20,22%	23,64%
	4 pav	-24,15%	-13,17%	10,87%	-15,11%
30 x 32	2 pav	-25,94%	-53,12%	-10,64%	16,59%
	4 pav	-15,96%	-17,12%	13,68%	-8,17%

Quantificação dos cenários que diminuem o consumo com o aumento da transmissão luminosa

	N	L	S	O
diminui	32	32	24	19
aumenta	0	0	8	13
diminui (%)	100%	100%	75%	59%
aumenta (%)	0%	0%	25%	41%
	diminui	diminui	diminui	Inc.

Diferença máxima	60,74%
Diferença média	21,67%
Diferença mínima	1,50%

Comparação entre os cenários com e sem proteção solar

Comparação entre sem e com proteção solar					
		N	L	S	O
1 x 2	2 pav	-12,81%	-5,00%	-0,61%	-2,94%
	4 pav	-6,52%	1,04%	0,00%	0,35%
3 x 4	2 pav	17,44%	3,88%	2,27%	3,24%
	4 pav	-5,94%	0,33%	-0,54%	-2,95%
5 x 6	2 pav	2,04%	1,64%	3,39%	-1,86%
	4 pav	2,30%	0,59%	-4,75%	-4,93%
7 x 8	2 pav	-3,45%	-11,31%	-9,88%	0,39%
	4 pav	1,93%	7,46%	0,56%	6,41%
9 x 10	2 pav	4,12%	-0,27%	6,89%	1,35%
	4 pav	-5,90%	-3,73%	-1,67%	-2,15%
11 x 12	2 pav	-5,61%	13,02%	3,91%	2,86%
	4 pav	17,64%	-0,64%	-1,34%	-5,21%
13 x 14	2 pav	4,29%	3,81%	-4,75%	-5,31%
	4 pav	10,48%	1,03%	-2,53%	-1,41%
15 x 16	2 pav	-2,31%	-11,57%	-0,82%	-0,22%
	4 pav	-2,05%	-4,36%	-4,56%	-2,94%
17 x 18	2 pav	-4,46%	1,73%	-2,92%	-4,32%
	4 pav	-8,82%	0,42%	6,55%	2,70%
19 x 20	2 pav	-1,77%	-3,97%	-4,03%	1,16%
	4 pav	7,14%	-0,41%	2,92%	1,33%
21 x 22	2 pav	-12,90%	4,69%	11,71%	4,51%
	4 pav	6,00%	2,95%	1,44%	2,18%
23 x 24	2 pav	14,78%	19,06%	17,61%	8,12%
	4 pav	0,81%	0,22%	-7,15%	0,69%
25 x 26	2 pav	-0,68%	-5,19%	2,56%	2,65%
	4 pav	-2,25%	-2,22%	-2,73%	-2,16%
27 x 28	2 pav	-2,21%	2,87%	-5,21%	-3,56%
	4 pav	-1,81%	-0,92%	-0,24%	-1,56%
29 x 30	2 pav	-6,41%	-1,64%	-9,15%	-0,70%
	4 pav	-4,85%	0,75%	-3,06%	-3,89%
31 x 32	2 pav	-4,95%	8,11%	1,76%	-6,36%
	4 pav	5,43%	-3,83%	-0,61%	3,96%

Quantificação dos cenários que diminuem o consumo de iluminação com a adição de proteção solar

	N	L	S	O
diminui	19	14	20	17
umenta	13	18	12	15
diminui (%)	59%	44%	63%	53%
umenta (%)	41%	56%	38%	47%
	Inc.	Inc.	diminui	Inc.

Diferença máxima	19,06%
Diferença média	4,23%
Diferença mínima	0,00%

Comparação dos cenários 13 e 29 – Estudos de radiação externa refletida

Obstrução externa					
Comparação entre Obs. 2 e Obs. 4					
		N	L	S	O
13 x 29 (Comparação entre cenários com as refletâncias externas padrão – 40%)	2 pav	6%	-2%	0%	-2%
	4 pav	19%	9%	0%	9%
13.1 x 29.1 (Comparação entre cenários com as refletâncias externas de 1%)	2 pav	-4%	-1%	0%	-1%
	4 pav	-4%	-8%	0%	-8%

Autoria: Márcia Birck e João Francisco Walter Costa

Apêndice I – Análise da influência do vidro e da proteção solar no consumo de ar-condicionado

De modo semelhante à análise de iluminação, foram comparadas as variáveis de PAF, fator solar do vidro e a presença ou não de proteção solar nos cenários 1 a 32 no consumo de ar-condicionado. Foram comparados os consumos entre os cenários semelhantes. Nas tabelas deste anexo, a cor verde indica aumento do consumo e a vermelha, redução do consumo energético para ar-condicionado.

Comparação entre o PAF 50% e 80%

Comparação entre PAF 50% e PAF 80%					
		N	L	S	O
1 x 5	2 pav	7,93%	6,83%	5,38%	4,55%
	4 pav	7,39%	7,01%	5,20%	4,67%
2 x 6	2 pav	2,98%	2,36%	3,32%	2,84%
	4 pav	2,76%	2,14%	3,12%	2,61%
3 x 7	2 pav	11,01%	9,73%	7,56%	6,37%
	4 pav	10,23%	9,91%	7,31%	6,47%
4 x 8	2 pav	4,68%	3,79%	4,94%	4,22%
	4 pav	4,36%	3,53%	4,68%	3,93%
9 x 13	2 pav	6,16%	6,20%	5,27%	6,89%
	4 pav	5,88%	6,26%	5,12%	7,43%
10 x 14	2 pav	2,89%	2,40%	3,19%	2,60%
	4 pav	2,66%	2,06%	2,96%	2,40%
11 x 15	2 pav	8,66%	8,88%	7,51%	9,59%
	4 pav	8,26%	9,02%	7,32%	10,27%
12 x 16	2 pav	4,38%	3,75%	4,75%	3,97%
	4 pav	4,09%	3,35%	4,45%	3,72%
17 x 21	2 pav	7,69%	3,78%	4,04%	6,10%
	4 pav	7,04%	3,27%	3,26%	5,63%
18 x 22	2 pav	2,76%	2,33%	2,75%	2,80%
	4 pav	2,50%	2,06%	2,63%	2,63%
19 x 23	2 pav	10,74%	5,84%	5,84%	8,48%
	4 pav	9,84%	5,18%	5,00%	7,87%
20 x 24	2 pav	4,36%	3,74%	4,09%	4,18%
	4 pav	4,01%	3,37%	3,92%	3,93%
25 x 29	2 pav	8,30%	7,62%	5,81%	8,60%
	4 pav	7,63%	7,04%	5,44%	8,17%
26 x 30	2 pav	2,95%	2,47%	3,31%	2,79%
	4 pav	2,69%	2,14%	3,08%	2,49%
27 x 31	2 pav	11,57%	22,09%	8,18%	11,83%
	4 pav	10,61%	9,98%	7,66%	11,17%

28 x 32	2 pav	4,69%	4,00%	4,98%	4,32%
	4 pav	4,33%	3,55%	4,66%	3,91%

Quantificação dos cenários que aumentam o consumo de ar-condicionado com o aumento do PAF

	N	L	S	O
diminui	0	0	0	0
aumenta	32	32	32	32
diminui (%)	0%	0%	0%	0%
aumenta (%)	100%	100%	100%	100%
	aumenta	aumenta	aumenta	aumenta

Diferença máxima	22,09%
Diferença média	5,51%
Diferença mínima	2,06%

Comparação entre FS 30% e FS 43%

Comparação entre FS 30% e FS 43%					
		N	L	S	O
1 x 3	2 pav	6,68%	6,51%	4,85%	3,97%
	4 pav	6,22%	6,29%	4,63%	4,04%
2 x 4	2 pav	3,30%	2,77%	2,99%	2,65%
	4 pav	3,15%	2,71%	2,89%	2,54%
5 x 7	2 pav	9,73%	9,40%	7,02%	5,78%
	4 pav	9,04%	9,17%	6,72%	5,83%
6 x 8	2 pav	4,99%	4,21%	4,61%	4,03%
	4 pav	4,76%	4,11%	4,44%	3,86%
9 x 11	2 pav	5,23%	5,62%	4,80%	6,00%
	4 pav	5,07%	5,87%	4,67%	6,41%
10 x 12	2 pav	2,92%	2,62%	2,90%	2,61%
	4 pav	2,83%	2,61%	2,81%	2,62%
13 x 15	2 pav	7,71%	8,29%	7,03%	8,68%
	4 pav	7,43%	8,62%	6,86%	9,22%
14 x 16	2 pav	4,42%	3,98%	4,45%	3,98%
	4 pav	4,27%	3,91%	4,30%	3,94%
17 x 19	2 pav	6,44%	5,99%	3,79%	4,96%
	4 pav	5,99%	5,51%	3,59%	4,70%
18 x 20	2 pav	3,10%	2,68%	2,53%	2,61%
	4 pav	2,95%	2,56%	2,44%	2,53%
21 x 23	2 pav	9,45%	8,10%	5,60%	7,31%
	4 pav	8,76%	7,47%	5,33%	6,93%
22 x 24	2 pav	4,71%	4,09%	3,86%	3,99%
	4 pav	4,47%	3,88%	3,73%	3,83%
25 x 27	2 pav	7,17%	-2,95%	5,24%	7,21%

	4 pav	6,57%	6,34%	4,89%	6,76%
26 x 28	2 pav	3,33%	2,85%	3,02%	2,83%
	4 pav	3,16%	2,71%	2,88%	2,70%
29 x 31	2 pav	10,40%	10,10%	7,60%	10,39%
	4 pav	9,51%	9,26%	7,09%	9,72%
30 x 32	2 pav	5,07%	4,39%	4,68%	4,37%
	4 pav	4,80%	4,12%	4,46%	4,13%

Quantificação dos cenários que aumentam ou diminuem com o aumento do fator solar de 30% para 43%

	N	L	S	O
diminui	0	1	0	0
aumenta	32	31	32	32
diminui (%)	0%	3%	0%	0%
aumenta (%)	100%	97%	100%	100%
	aumenta	aumenta	aumenta	aumenta

Diferença máxima	10,40%
Diferença média	5,17%
Diferença mínima	2,44%

Comparação entre os cenários sem e com proteção solar

Comparação entre sem e com proteção solar					
		N	L	S	O
1 x 2	2 pav	-12,62%	-12,09%	-5,10%	-4,63%
	4 pav	-11,54%	-11,68%	-4,93%	-5,22%
3 x 4	2 pav	-15,39%	-15,18%	-6,78%	-5,83%
	4 pav	-14,10%	-14,66%	-6,51%	-6,58%
5 x 6	2 pav	-16,62%	-15,78%	-6,95%	-6,19%
	4 pav	-15,36%	-15,70%	-6,81%	-7,09%
7 x 8	2 pav	-20,22%	-19,77%	-9,05%	-7,74%
	4 pav	-18,68%	-19,61%	-8,80%	-8,82%
9 x 10	2 pav	-9,00%	-10,16%	-5,36%	-11,13%
	4 pav	-8,62%	-10,88%	-5,39%	-12,23%
11 x 12	2 pav	-10,99%	-12,71%	-7,08%	-13,96%
	4 pav	-10,56%	-13,63%	-7,07%	-15,36%
13 x 14	2 pav	-11,80%	-13,38%	-7,24%	-14,69%
	4 pav	-11,39%	-14,41%	-7,33%	-16,34%
15 x 16	2 pav	-14,49%	-16,82%	-9,47%	-18,37%
	4 pav	-14,01%	-18,12%	-9,55%	-20,38%
17 x 18	2 pav	-12,71%	-11,88%	-4,23%	-7,71%

	4 pav	-11,78%	-11,01%	-4,53%	-7,41%
19 x 20	2 pav	-15,44%	-14,63%	-5,40%	-9,77%
	4 pav	-14,31%	-13,51%	-5,59%	-9,33%
21 x 22	2 pav	-16,71%	-13,12%	-5,41%	-10,57%
	4 pav	-15,52%	-12,05%	-5,12%	-10,04%
23 x 24	2 pav	-20,32%	-16,33%	-6,96%	-13,34%
	4 pav	-18,86%	-14,99%	-6,56%	-12,65%
25 x 26	2 pav	-13,76%	-12,93%	-6,16%	-13,98%
	4 pav	-12,40%	-11,81%	-5,66%	-12,87%
27 x 28	2 pav	-16,85%	-7,72%	-8,14%	-17,49%
	4 pav	-15,21%	-14,82%	-7,46%	-16,18%
29 x 30	2 pav	-18,02%	-17,09%	-8,38%	-18,59%
	4 pav	-16,42%	-15,84%	-7,77%	-17,44%
31 x 32	2 pav	-21,98%	-21,40%	-10,86%	-23,03%
	4 pav	-20,02%	-19,80%	-10,04%	-21,65%

Quantificação dos cenários que aumentam ou diminuem o consumo de ar-condicionado com a presença de proteção solar

	N	L	S	O
diminui	32	32	32	32
aumenta	0	0	0	0
diminui (%)	100%	100%	100%	100%
aumenta (%)	0%	0%	0%	0%
	diminui	diminui	diminui	diminui

Diferença máxima	23,03%
Diferença média	12,17%
Diferença mínima	4,23%

Autoria: Márcia Birck e João Francisco Walter Costa

Apêndice J – Estimativa de produção de energia nos cenários 34 a 69

Cálculo de produção de energia nos cenários 34 a 69

Cálculo da produção do edifício (kWh/ano)						
Cenário	Obstrução externa	Fachada N	Fachada L	Fachada O	Cobertura (flat roof)	Total
34	1	24.673	28.516	31.582	143.208	227.979
35	1	24.673	28.516	31.582	143.208	227.979
36	1	37.009	40.992	45.400	143.208	266.609
37	1	37.009	40.992	45.400	143.208	266.609
38	2	30.329	37.164	27.710	120.399	215.602
39	2	30.329	37.164	27.710	120.399	215.602
40	4 (sem)	30.266	40.362	37.105	175.465	283.198
41	4 (sem)	30.266	40.362	37.105	175.465	283.198
42	1	24.673	28.516	31.582	143.208	227.979
43	1	24.673	28.516	31.582	143.208	227.979
44	1	37.009	40.992	45.400	143.208	266.609
45	1	37.009	40.992	45.400	143.208	266.609
46	2	30.329	37.164	27.710	120.399	215.602
47	2	30.329	37.164	27.710	120.399	215.602
48	4 (sem)	30.266	40.362	37.105	175.465	283.198
49	4 (sem)	30.266	40.362	37.105	175.465	283.198
50	1	24.673	28.516	31.582	143.208	227.979
51	1	24.673	28.516	31.582	143.208	227.979
52	1	37.009	40.992	45.400	143.208	266.609
53	1	37.009	40.992	45.400	143.208	266.609
54	2	30.329	37.164	27.710	120.399	215.602
55	2	30.329	37.164	27.710	120.399	215.602
56	4 (sem)	30.266	40.362	37.105	175.465	283.198
57	4 (sem)	30.266	40.362	37.105	175.465	283.198
58	1	24.673	28.516	31.582	143.208	227.979
59	1	24.673	28.516	31.582	143.208	227.979
60	1	37.009	40.992	45.400	143.208	266.609
61	1	37.009	40.992	45.400	143.208	266.609
62	2	30.329	37.164	27.710	120.399	215.602
63	2	30.329	37.164	27.710	120.399	215.602
64	1	24.673	28.516	31.582	143.208	227.979
65	1	24.673	28.516	31.582	143.208	227.979
66	1	37.009	40.992	45.400	143.208	266.609
67	1	37.009	40.992	45.400	143.208	266.609
68	2	30.329	37.164	27.710	120.399	215.602
69	2	30.329	37.164	27.710	120.399	215.602

Anexo A – Resumo dos resultados de consumo energético

Modelo de 4 pavimentos									
Cenário	Pavimento	Iluminação (kWh/m ² ano)				Ar-Condicionado (kWh/m ² ano)			
		N	L	S	O	N	L	S	O
		kWh/m ² ano							
1	2	20,85	24,02	33,91	33,32	45,08	44,12	40,70	40,18
	4	20,48	32,99	37,30	38,60	53,61	53,06	48,93	48,34
2	2	18,18	22,82	33,70	32,34	39,39	38,79	38,62	38,32
	4	19,15	33,33	37,30	38,74	47,42	46,86	46,51	45,82
3	2	11,10	12,30	29,52	32,17	48,09	47,00	42,67	41,77
	4	13,81	26,34	35,89	32,84	56,95	56,40	51,19	50,30
4	2	13,03	12,78	30,19	33,21	40,69	39,86	39,78	39,33
	4	12,98	26,42	35,69	31,87	48,92	48,13	47,86	46,98
5	2	13,24	25,35	15,84	23,08	48,65	47,14	42,89	42,00
	4	13,84	18,67	29,81	34,78	57,57	56,78	51,47	50,60
6	2	13,51	25,76	16,38	22,65	40,57	39,70	39,91	39,40
	4	14,16	18,78	28,39	33,06	48,73	47,86	47,97	47,01
7	2	9,95	12,35	12,72	28,13	53,39	51,57	45,90	44,43
	4	12,09	15,93	32,90	28,49	62,78	61,99	54,93	53,55
8	2	9,60	10,95	11,46	28,24	42,59	41,37	41,75	40,99
	4	12,32	17,11	33,08	30,32	51,05	49,83	50,10	48,83
9	2	18,12	22,82	31,53	30,83	42,57	42,88	40,74	43,24
	4	20,97	33,17	37,23	39,96	50,89	52,32	49,28	52,84
10	2	18,86	22,76	33,70	31,25	38,74	38,53	38,56	38,43
	4	19,73	31,94	36,61	39,10	46,51	46,62	46,62	46,38
11	2	10,27	10,54	28,07	32,18	44,79	45,30	42,70	45,83
	4	13,06	26,88	35,56	32,92	53,47	55,39	51,58	56,23
12	2	9,69	11,91	29,16	33,10	39,87	39,54	39,68	39,43
	4	15,36	26,71	35,08	31,20	47,82	47,84	47,93	47,60
13	2	12,85	26,66	15,14	23,75	45,19	45,55	42,89	46,22
	4	12,74	17,90	28,91	34,88	53,88	55,59	51,80	56,77
14	2	13,40	27,67	14,42	22,49	39,86	39,45	39,79	39,43
	4	14,07	18,08	28,18	34,39	47,74	47,58	48,00	47,50
15	2	9,54	12,29	13,33	27,80	48,67	49,32	45,91	50,23
	4	11,96	17,14	32,92	30,39	57,89	60,38	55,36	62,01
16	2	9,32	10,87	13,22	27,73	41,62	41,02	41,56	41,00
	4	11,71	16,39	31,42	29,50	49,78	49,44	50,07	49,37
17	2	18,13	23,35	33,81	32,30	44,96	43,97	39,92	41,56
	4	20,82	31,75	36,89	39,42	53,68	52,47	47,49	49,13
18	2	17,32	23,75	32,82	30,91	39,25	38,75	38,23	38,36
	4	18,99	31,89	39,30	40,49	47,35	46,69	45,34	45,49
19	2	11,05	12,67	28,80	31,73	47,86	46,60	41,43	43,62
	4	14,07	27,21	34,63	32,18	56,89	55,36	49,20	51,44

20	2	10,85	12,16	27,64	32,10	40,47	39,78	39,19	39,36
	4	15,08	27,10	35,64	32,61	48,75	47,88	46,44	46,64
21	2	13,49	25,05	13,45	21,72	48,42	45,63	41,53	44,10
	4	14,30	19,09	28,03	32,57	57,46	54,18	49,04	51,90
22	2	11,75	26,23	15,02	22,70	40,33	39,65	39,28	39,43
	4	15,15	19,65	28,43	33,28	48,54	47,65	46,53	46,68
23	2	8,87	10,67	11,85	26,24	53,00	49,33	43,85	47,32
	4	12,05	16,94	33,47	30,38	62,49	58,23	51,65	55,49
24	2	10,18	12,70	13,94	28,37	42,23	41,27	40,80	41,01
	4	12,15	16,98	31,08	30,59	50,71	49,50	48,26	48,47
25	2	19,84	24,30	33,87	31,86	45,82	44,74	41,26	45,13
	4	19,08	33,13	38,05	39,63	54,56	53,25	49,55	53,67
26	2	19,71	23,04	34,74	32,71	39,52	38,96	38,72	38,82
	4	18,66	32,39	37,01	38,77	47,79	46,96	46,74	46,76
27	2	11,11	12,39	30,95	32,34	49,11	43,43	43,43	48,38
	4	14,25	26,51	34,91	31,47	58,15	56,62	51,97	57,29
28	2	10,87	12,74	29,33	31,19	40,83	40,07	39,89	39,92
	4	13,99	26,26	34,83	30,98	49,30	48,23	48,09	48,02
29	2	13,57	26,19	16,53	22,91	49,62	48,15	43,66	49,01
	4	15,16	19,53	29,09	34,62	58,72	56,99	52,25	58,05
30	2	12,70	25,76	15,02	22,75	40,68	39,92	40,00	39,90
	4	14,43	19,67	28,20	33,27	49,08	47,96	48,19	47,93
31	2	9,90	11,17	13,19	28,32	54,79	53,02	46,98	54,10
	4	11,50	16,95	32,25	29,39	64,31	62,27	55,95	63,70
32	2	9,41	12,08	13,42	26,52	42,75	41,67	41,87	41,64
	4	12,13	16,31	32,06	30,55	51,44	49,94	50,34	49,90
33	2	28,66	29,20	29,20	29,62	54,79	53,02	46,98	54,10
	4	28,66	29,20	29,20	29,62	64,31	62,27	55,95	63,70
34	2	15,70	17,91	24,38	22,30	38,74	38,53	38,56	38,43
	4	14,41	25,29	28,20	29,36	46,51	46,62	46,62	46,38
35	2	7,47	9,12	22,06	24,06	39,87	39,54	39,68	39,43
	4	11,37	19,64	26,08	23,64	47,82	47,84	47,93	47,60
36	2	9,58	19,74	10,84	17,60	39,86	39,45	39,79	39,43
	4	10,68	13,69	21,20	24,99	47,74	47,58	48,00	47,50
37	2	5,71	8,57	9,50	20,60	41,62	41,02	41,56	41,00
	4	10,23	13,70	24,40	22,39	49,78	49,44	50,07	49,37
38	2	10,02	18,77	11,17	16,90	40,33	39,65	39,28	39,43
	4	9,80	14,28	21,00	25,13	48,54	47,65	46,53	46,68
39	2	6,74	9,02	9,95	19,83	42,23	41,27	40,80	41,01
	4	10,43	12,56	23,31	22,32	50,71	49,50	48,26	48,47
40	2	13,43	17,82	25,09	22,85	54,56	53,25	49,55	53,67
	4	15,41	24,55	27,70	29,73	39,52	38,96	38,72	38,82
41	2	9,64	9,33	21,35	23,70	40,83	40,07	39,89	39,92
	4	10,66	20,13	26,18	23,48	49,30	48,23	48,09	48,02
42	2	15,70	17,91	24,38	22,30	31,51	31,03	30,90	30,65

	4	14,41	25,29	28,20	29,36	37,94	37,49	37,21	36,66
43	2	7,47	9,12	22,06	24,06	32,55	31,89	31,82	31,47
	4	11,37	19,64	26,08	23,64	39,13	38,51	38,29	37,59
44	2	9,58	19,74	10,84	17,60	32,45	31,76	31,92	31,52
	4	10,68	13,69	21,20	24,99	38,99	38,29	38,37	37,61
45	2	5,71	8,57	9,50	20,60	34,07	33,10	33,40	32,79
	4	10,23	13,70	24,40	22,39	40,84	39,87	40,08	39,06
46	2	10,02	18,77	11,17	16,90	31,89	31,56	31,83	31,54
	4	9,80	14,28	21,00	25,13	38,20	38,07	38,40	38,00
47	2	6,74	9,02	9,95	19,83	33,30	32,82	33,25	32,80
	4	10,43	12,56	23,31	22,32	39,83	39,55	40,05	39,49
48	2	13,43	17,82	25,09	22,85	31,61	31,17	30,98	31,05
	4	15,41	24,55	27,70	29,73	38,23	37,57	37,40	37,41
49	2	9,64	9,33	21,35	23,70	32,66	32,06	31,91	31,93
	4	10,66	20,13	26,18	23,48	39,44	38,58	38,47	38,42
50	2	15,70	17,91	24,38	22,30	24,51	24,13	24,03	23,84
	4	14,41	25,29	28,20	29,36	29,51	29,16	28,94	28,51
51	2	7,47	9,12	22,06	24,06	25,32	24,80	24,75	24,47
	4	11,37	19,64	26,08	23,64	30,44	29,95	29,78	29,23
52	2	9,58	19,74	10,84	17,60	25,24	24,70	24,83	24,52
	4	10,68	13,69	21,20	24,99	30,32	29,78	29,85	29,25
53	2	5,71	8,57	9,50	20,60	26,50	25,74	25,97	25,51
	4	10,23	13,70	24,40	22,39	31,77	31,01	31,17	30,38
54	2	10,02	18,77	11,17	16,90	24,80	24,55	24,76	24,53
	4	9,80	14,28	21,00	25,13	29,71	29,61	29,87	29,55
55	2	6,74	9,02	9,95	19,83	25,90	25,53	25,86	25,51
	4	10,43	12,56	23,31	22,32	30,98	30,76	31,15	30,72
56	2	13,43	17,82	25,09	22,85	24,59	24,24	24,09	24,15
	4	15,41	24,55	27,70	29,73	29,74	29,22	29,09	29,10
57	2	9,64	9,33	21,35	23,70	25,41	24,93	24,82	24,84
	4	10,66	20,13	26,18	23,48	30,68	30,01	29,92	29,88
58	2	15,70	17,91	24,38	22,30	16,64	16,92	17,64	16,76
	4	14,41	25,29	28,20	29,36	20,44	21,00	21,61	20,42
59	2	7,47	9,12	22,06	24,06	17,28	17,49	18,26	17,28
	4	11,37	19,64	26,08	23,64	21,20	21,70	22,36	21,04
60	2	9,58	19,74	10,84	17,60	16,50	16,47	17,17	16,47
	4	10,68	13,69	21,20	24,99	20,25	20,47	21,03	19,93
61	2	5,71	8,57	9,50	20,60	17,46	17,31	18,08	17,23
	4	10,23	13,70	24,40	22,39	21,38	21,48	22,14	20,84
62	2	10,02	18,77	11,17	16,90	16,23	16,39	17,14	16,51
	4	9,80	14,28	21,00	25,13	19,88	20,40	21,08	20,19
63	2	6,74	9,02	9,95	19,83	17,06	17,15	17,99	17,24
	4	10,43	12,56	23,31	22,32	20,86	21,33	22,11	21,09
64	2	15,70	17,91	24,38	22,30	19,31	19,72	21,02	19,85
	4	14,41	25,29	28,20	29,36	23,91	24,73	25,88	24,21

65	2	7,47	9,12	22,06	24,06	20,06	20,39	21,76	20,47
	4	11,37	19,64	26,08	23,64	24,81	25,52	26,75	24,94
66	2	9,58	19,74	10,84	17,60	18,84	18,90	20,00	19,09
	4	10,68	13,69	21,20	24,99	23,38	23,75	24,73	23,25
67	2	5,71	8,57	9,50	20,60	19,95	19,86	21,07	19,96
	4	10,23	13,70	24,40	22,39	24,69	24,95	26,04	24,30
68	2	10,02	18,77	11,17	16,90	18,52	18,77	19,93	19,09
	4	9,80	14,28	21,00	25,13	22,93	23,63	24,73	23,51
69	2	6,74	9,02	9,95	19,83	19,49	19,67	20,96	19,97
	4	10,43	12,56	23,31	22,32	24,11	24,75	26,01	24,59

Anexo B – Análise estatística de consumo energético final para iluminação e ar-condicionado

Consumo de iluminação

Iluminação Norte.....	223
Iluminação Leste	230
Iluminação Sul	238
Iluminação Oeste	246

Consumo de ar-condicionado

Ar Condicionado Norte.....	254
Ar Condicionado Leste	263
Ar Condicionado Sul	272
Ar Condicionado Oeste	281

INSTRUÇÕES DE LEITURA DOS RESULTADOS

As comparações foram feitas entre médias das variáveis por categoria de OBSTRUÇÃO E PAVI, utilizando testes de média t-Student (para comparar duas médias) ou ANOVA (Analysis of Variance) para comparar três ou mais médias.

A diferença entre duas ou mais médias será significativa se o valor de Sig (ou P-value) for menor do que 0,05. Caso contrário, os valores são considerados estatisticamente equivalentes, mesmo que o resultado numérico não seja idêntico.

A representação gráfica Box-Plot demonstra a distribuição dos dados das variáveis, indicando a mediana (o traço no box) e as dispersões (altura do Box, primeiro e terceiros quartis), além dos traços superior e inferior, indicando um intervalo de confiança da média. A principal utilidade do Box-Plot é a comparação visual de estatísticas descritivas.

Quanto menor o Box, menor a dispersão.

Autora: Maria Inez Walter

Brasília, 12 de julho de 2018

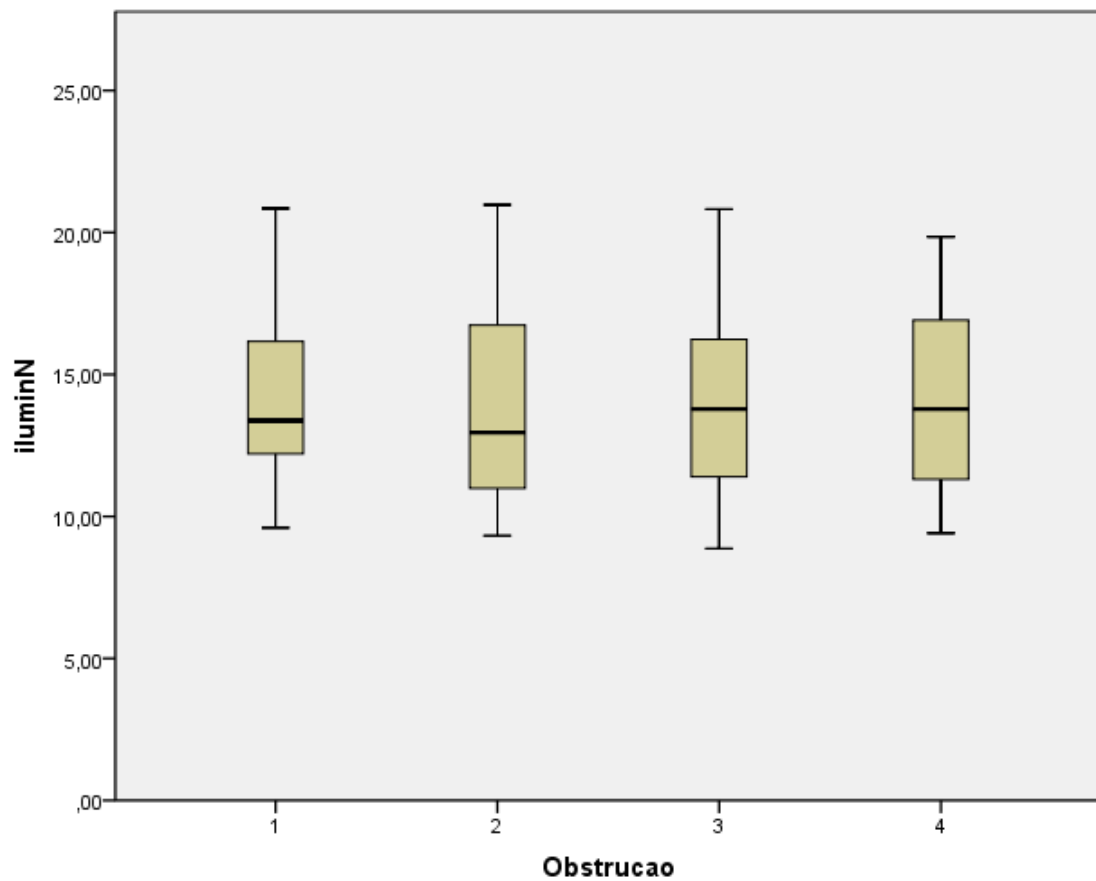
Iluminação Norte

Comparação por OBSTRUÇÃO (Categorias 1 a 4)

Estatísticas Descritivas

Obstrução	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
1	16	14,268427	3,5137000	,8784250
2	16	13,853468	3,7545943	,9386486
3	16	14,015782	3,4075558	,8518890
4	16	14,144398	3,4952623	,8738156
Total	64	14,070519	3,4631533	,4328942

Gráfico Box-Plot



Análise de Variância (ANOVA) para comparação das médias

ANOVA

iluminN

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1,516	3	,505	,040	,989
Within Groups	754,070	60	12,568		
Total	755,586	63			

P-Value (Sig.) > 0,05

Conclusão: não há diferença entre as médias devido a Obstrução.

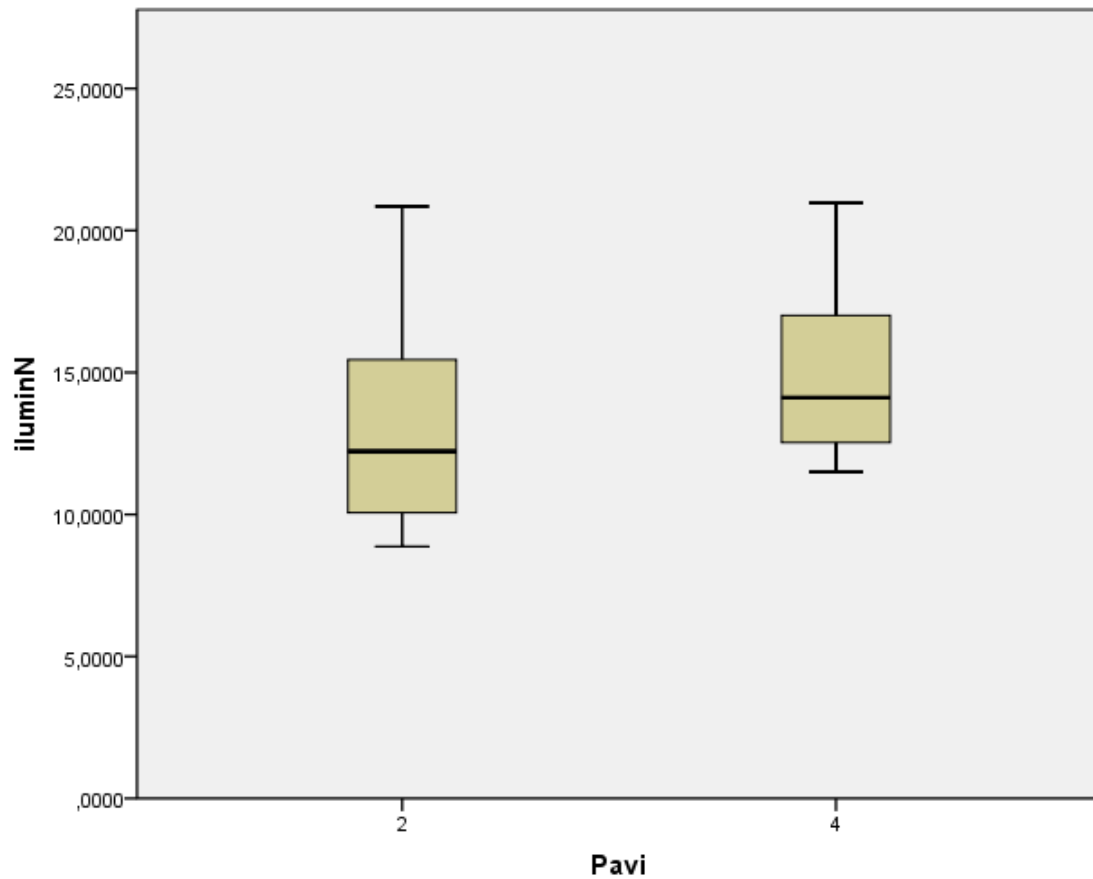
Comparação por PAVIMENTOS (Categorias 2 e 4)

Group Statistics

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
iluminN	2	32	13,133050	3,6828535	,6510427
	4	32	15,007987	2,9993235	,5302105

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
iluminN	Equal variances assumed	1,340	,251	-2,233	62	,029
	Equal variances not assumed			-2,233	59,559	,029

Conclusão: considerando todas as obstruções, a média de iluminN é menor para o caso de 2 pavimentos (média = 13,13) do que o caso de 4 pavimentos (média = 15,01) ao nível de 5%



Comparação de PAVIMENTOS por OBSTRUÇÃO

Obstrução = 1

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
iluminN	2	8	13,682743	3,9547098	1,3982011
	4	8	14,854110	3,1673513	1,1198278

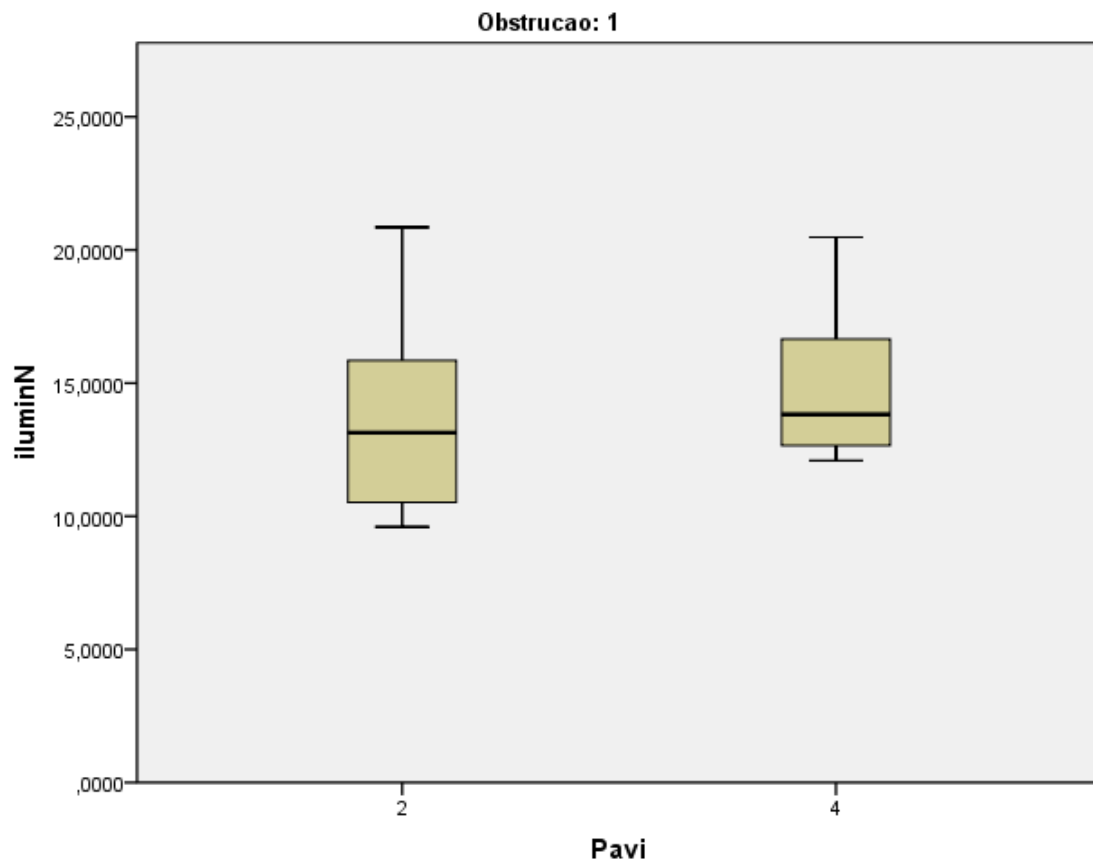
a. Obstrucao = 1

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
iluminN	Equal variances assumed	,170	,686	-,654	14	,524
	Equal variances not assumed			-,654	13,362	,524

a. Obstrucao = 1

Conclusão: não há diferença significativas entre as médias de ilumN devido a PAVI para o caso de Obstrução = 1.



Obstrução = 2

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
iluminN	2	8	12,756378	3,8582245	1,3640884
	4	8	14,950557	3,5455347	1,2535358

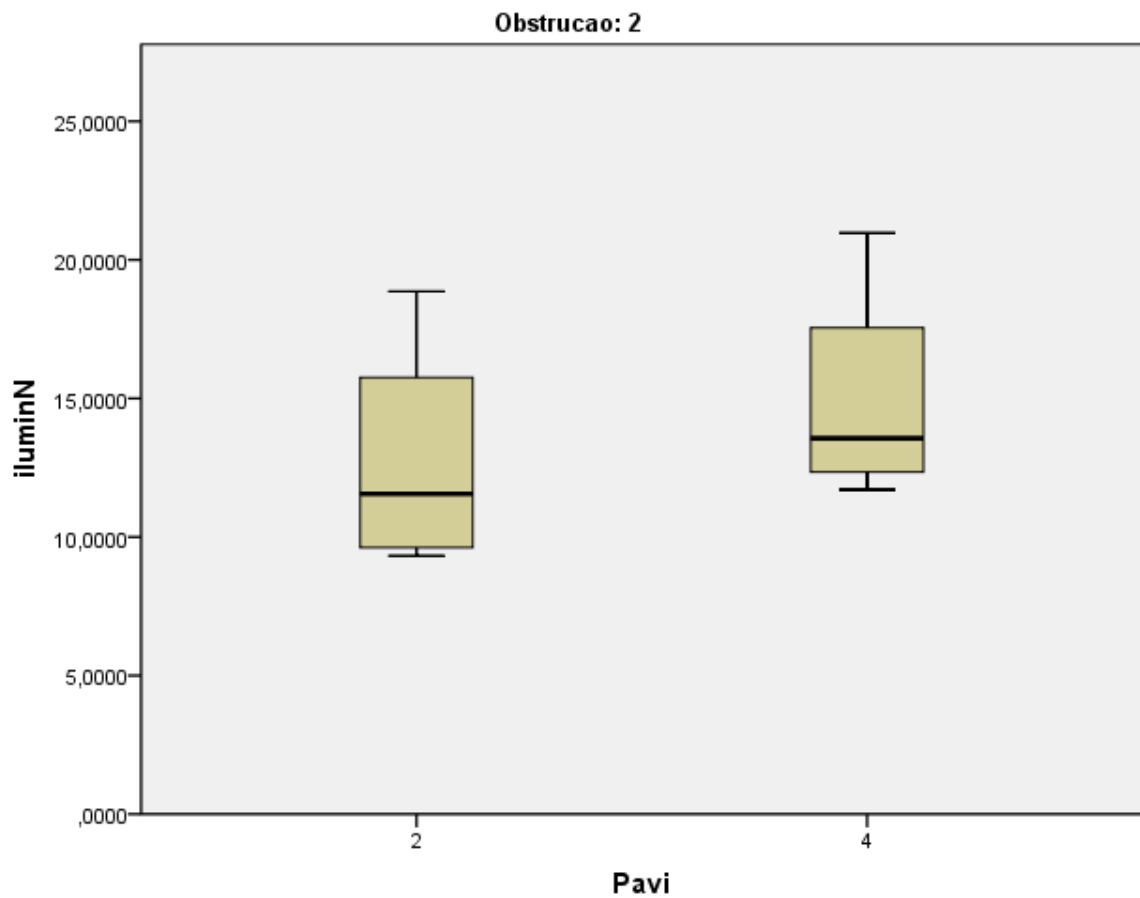
a. Obstrucao = 2

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
iluminN	Equal variances assumed	,063	,806	-1,184	14	,256
	Equal variances not assumed			-1,184	13,901	,256

a. Obstrucao = 2

Conclusão: não há diferença significativas entre as médias de ilumN devido a PAVI para o caso de Obstrução = 2.



Obstrução = 3

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
iluminN	2	8	12,704331	3,3705041	1,1916532
	4	8	15,327232	3,0967963	1,0948828

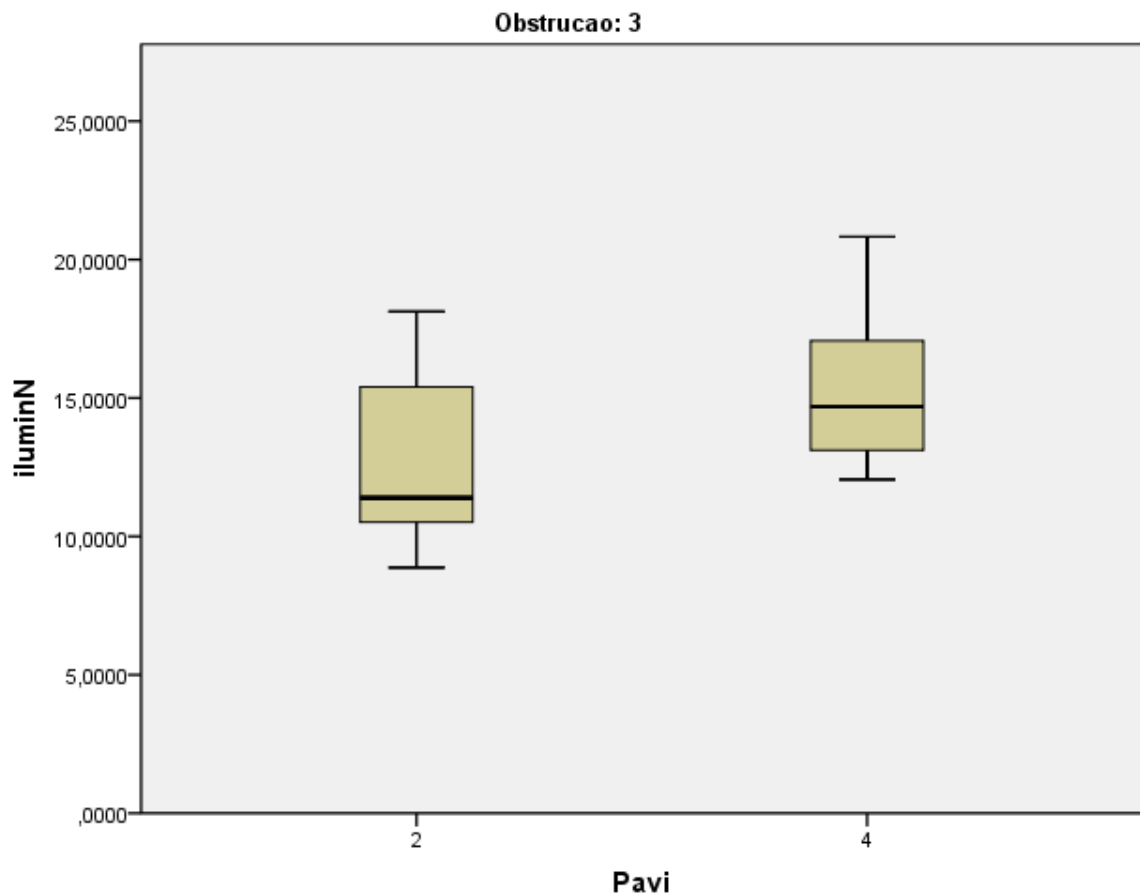
a. Obstrucao = 3

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
iluminN	Equal variances assumed	,211	,653	-1,621	14	,127
	Equal variances not assumed			-1,621	13,901	,128

a. Obstrucao = 3

Conclusão: não há diferença significativas entre as médias de ilumN devido a PAVI para o caso de Obstrução = 3.



Obstrução = 4

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
iluminN	2	8	13,388746	4,1699340	1,4742943
	4	8	14,900050	2,7359584	,9673074

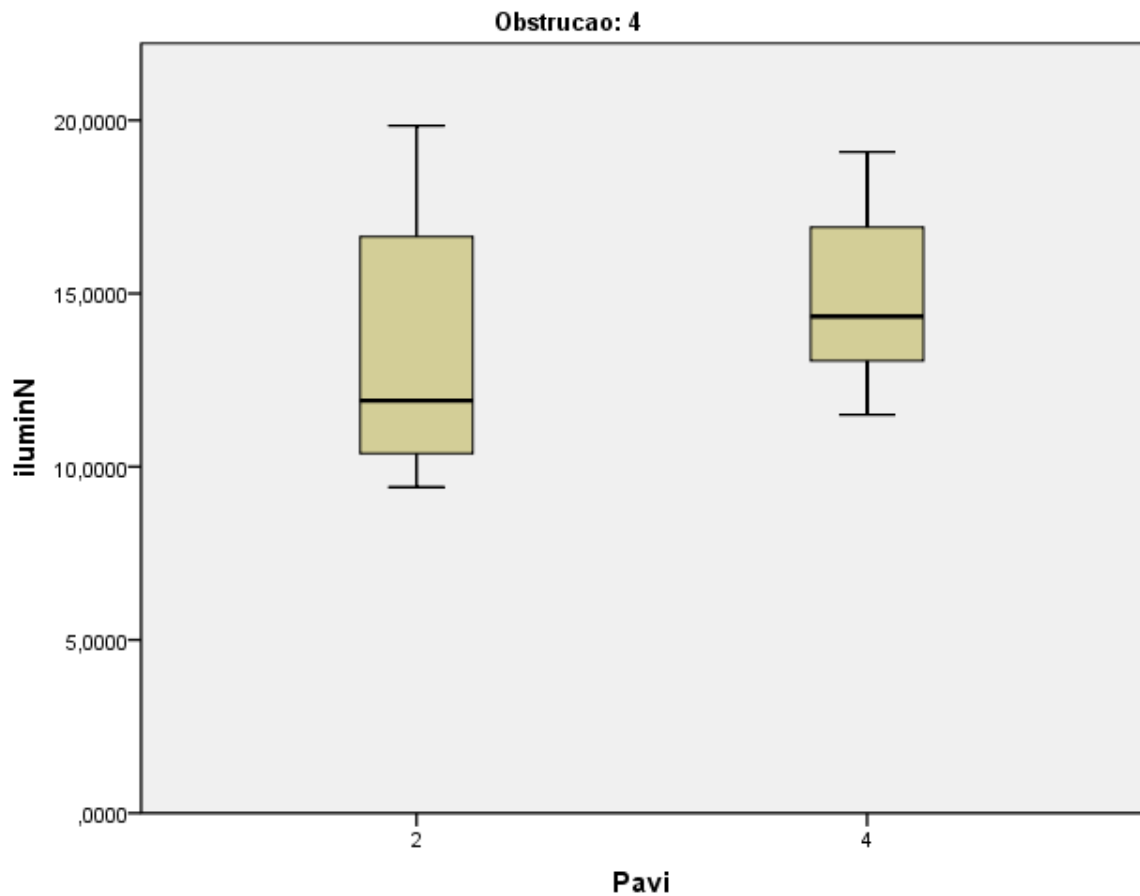
a. Obstrucao = 4

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
iluminN	Equal variances assumed	1,401	,256	-,857	14	,406
	Equal variances not assumed			-,857	12,085	,408

a. Obstrucao = 4

Conclusão: não há diferença significativas entre as médias de ilumN devido a PAVI para o caso de Obstrução = 4.



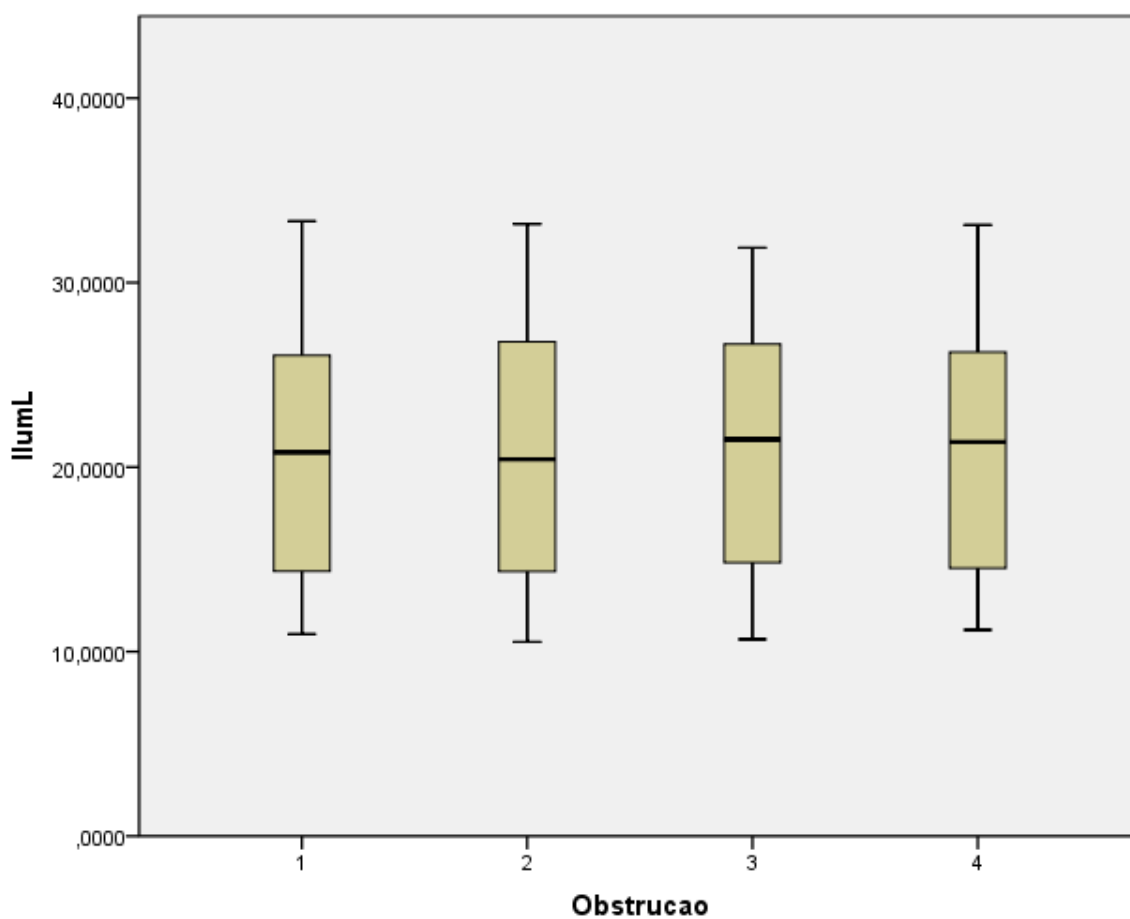
Iluminação Leste

Comparação por OBSTRUÇÃO (Categorias 1 a 4)

Estatísticas Descritivas

Obstrução	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
1	16	20,994081	7,2027101	1,8006775
2	16	20,857030	7,4951612	1,8737903
3	16	21,074475	6,9657890	1,7414472
4	16	21,151806	7,1187023	1,7796756
Total	64	21,019348	7,0255546	,8781943

Gráfico Box-Plot



Análise de Variância (ANOVA) para comparação das médias

ANOVA

lumL

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,761	3	,254	,005	1,000
Within Groups	3108,819	60	51,814		
Total	3109,580	63			

P-Value (Sig.) > 0,05

Conclusão: não há diferença entre as médias devido a Obstrução.

Comparação por PAVIMENTOS (Categorias 2 e 4)

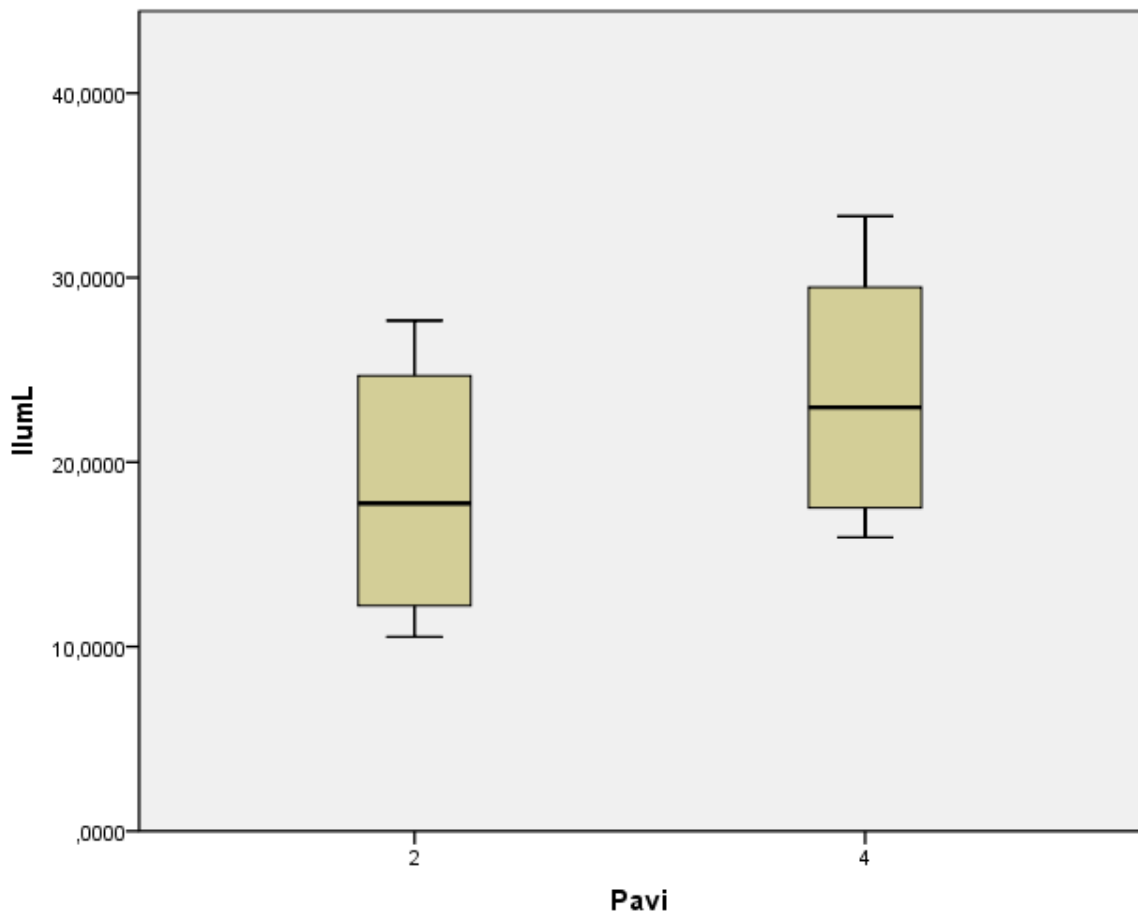
Group Statistics

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
IllumL	2	32	18,315814	6,6225976	1,1707209
	4	32	23,722882	6,4312128	1,1368885

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
IllumL	Equal variances assumed	1,176	,282	-3,313	62	,002
	Equal variances not assumed			-3,313	61,947	,002

Conclusão: considerando todas as obstruções, a média de iluminL é menor para o caso de 2 pavimentos (média = 18,32) do que o caso de 4 pavimentos (média = 23,72) ao nível de 1%



Comparação de PAVIMENTOS por OBSTRUÇÃO

Obstrução = 1

Group Statistics^a

Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
IlumL 2	8	18,291313	6,7026018	2,3697276
4	8	23,696848	7,0389950	2,4886605

a. Obstrucao = 1

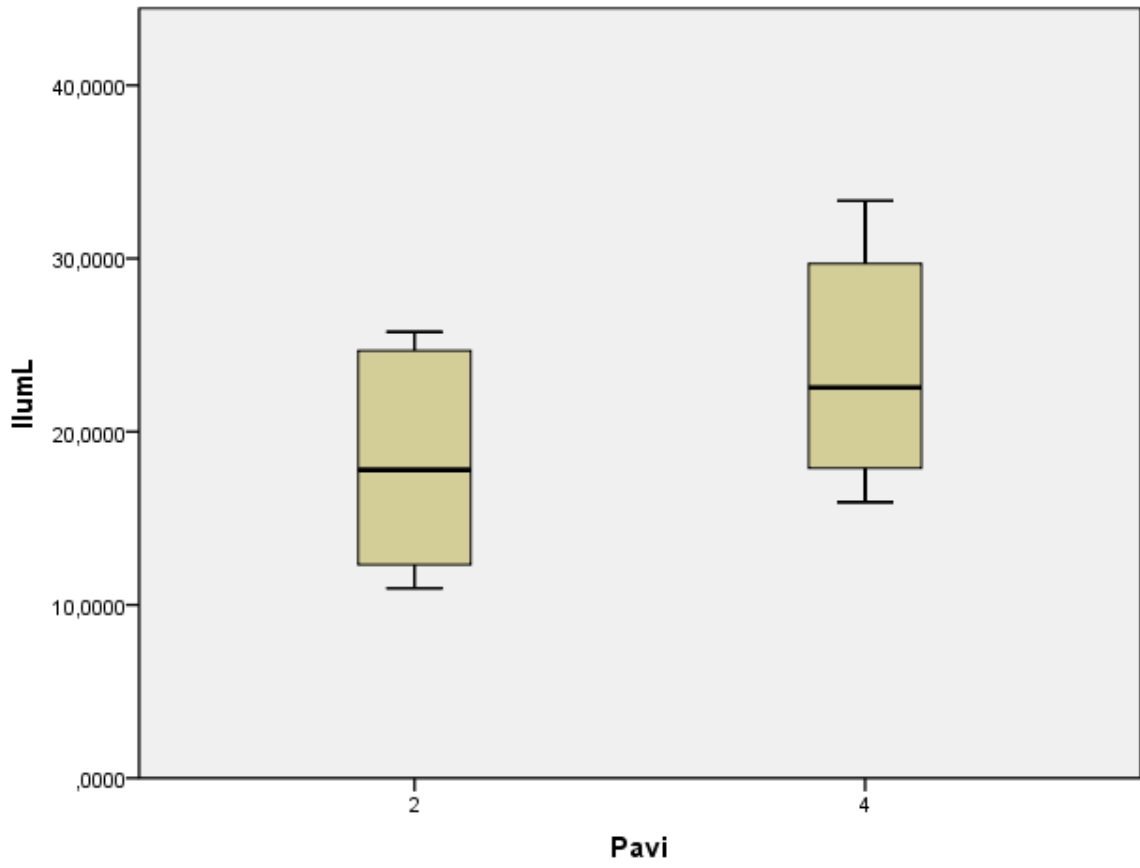
Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
IlumL	Equal variances assumed	,014	,907	-1,573	14	,138
	Equal variances not assumed			-1,573	13,967	,138

a. Obstrucao = 1

Conclusão: não há diferença significativas entre as médias de ilumL devido a PAVI para o caso de Obstrução = 1.

Obstrucao: 1



Obstrução = 2

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
IllumL	2	8	18,188716	7,4693540	2,6408154
	4	8	23,525343	6,9508942	2,4575122

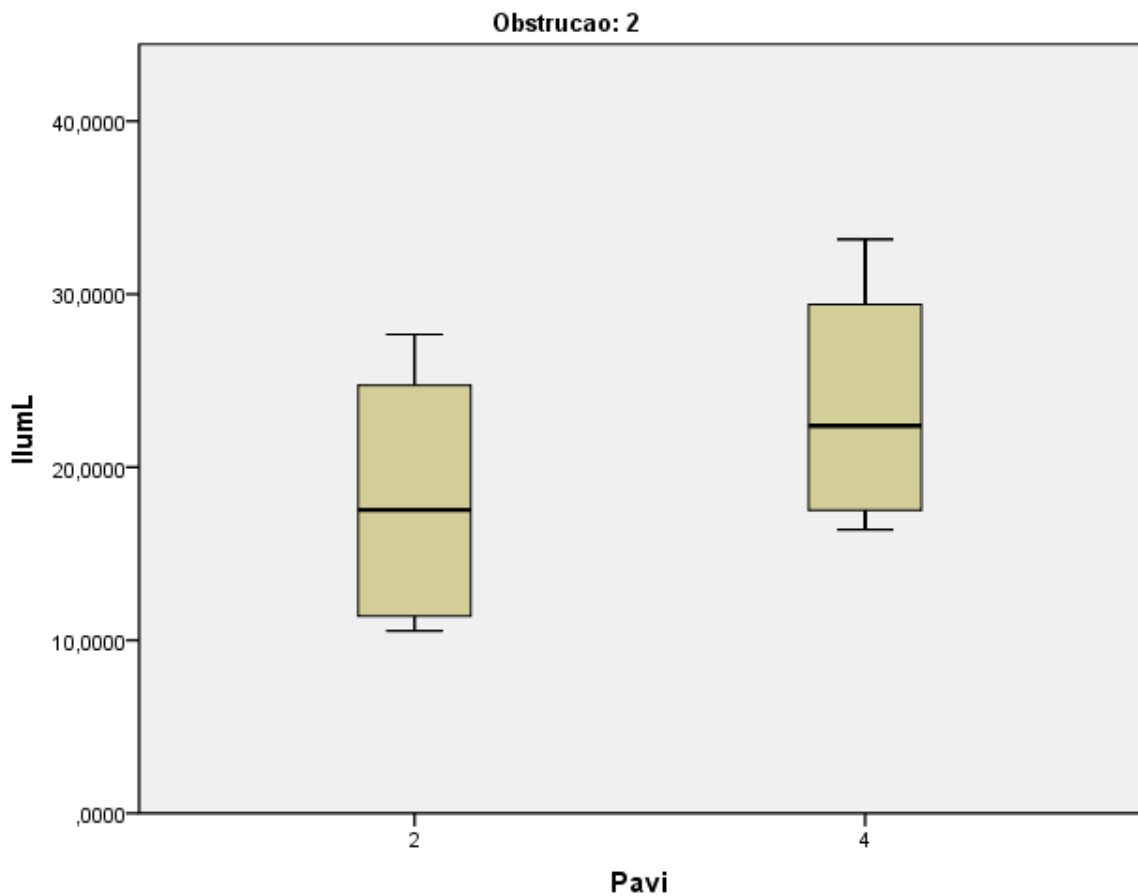
a. Obstrucao = 2

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
IllumL	Equal variances assumed	,401	,537	-1,479	14	,161
	Equal variances not assumed			-1,479	13,928	,161

a. Obstrucao = 2

Conclusão: não há diferença significativas entre as médias de illumL devido a PAVI para o caso de Obstrução = 2.



Obstrução = 3

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
IlumL	2	8	18,323470	6,7885519	2,4001155
	4	8	23,825479	6,3712945	2,2525928

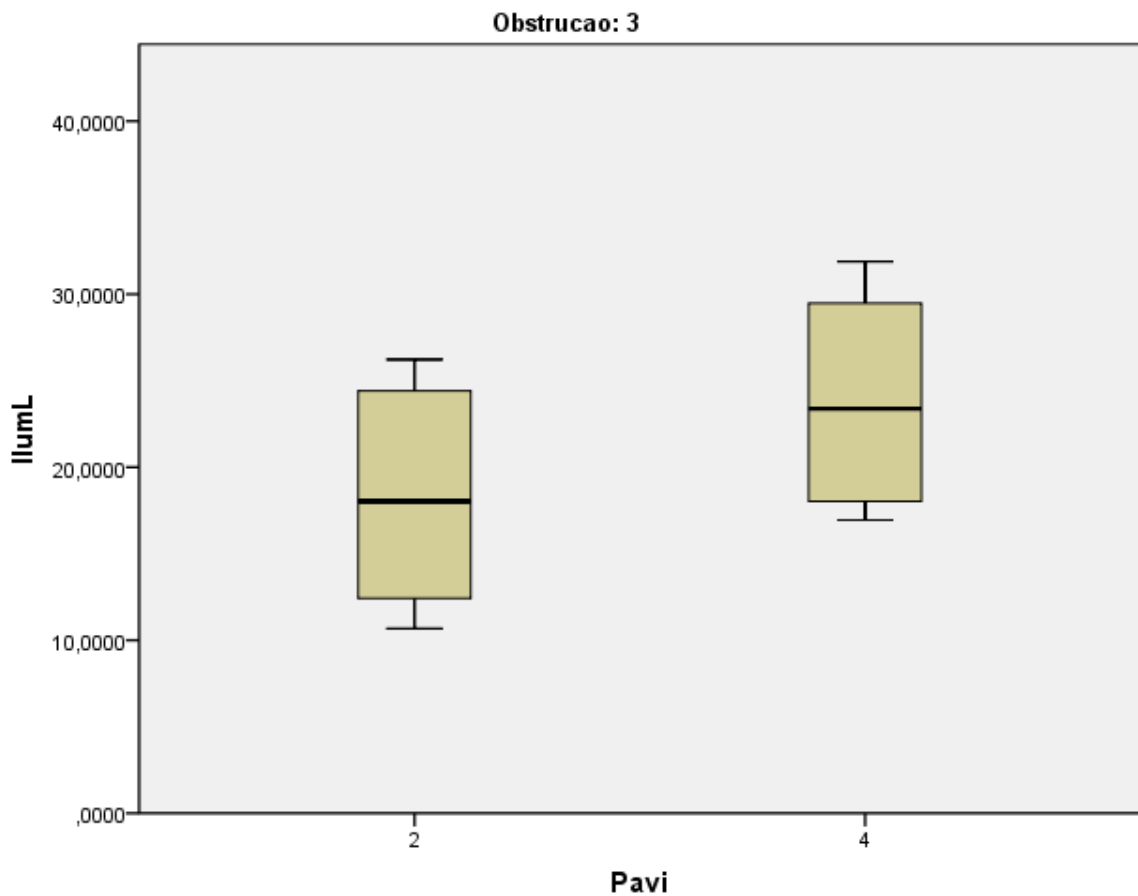
a. Obstrucao = 3

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
IlumL	Equal variances assumed	,587	,456	-1,672	14	,117
	Equal variances not assumed			-1,672	13,944	,117

a. Obstrucao = 3

Conclusão: não há diferença significativas entre as médias de ilumL devido a PAVI para o caso de Obstrução = 3.



Obstrução = 4

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
IlumL	2	8	18,459756	6,8839212	2,4338337
	4	8	23,843855	6,6811690	2,3621499

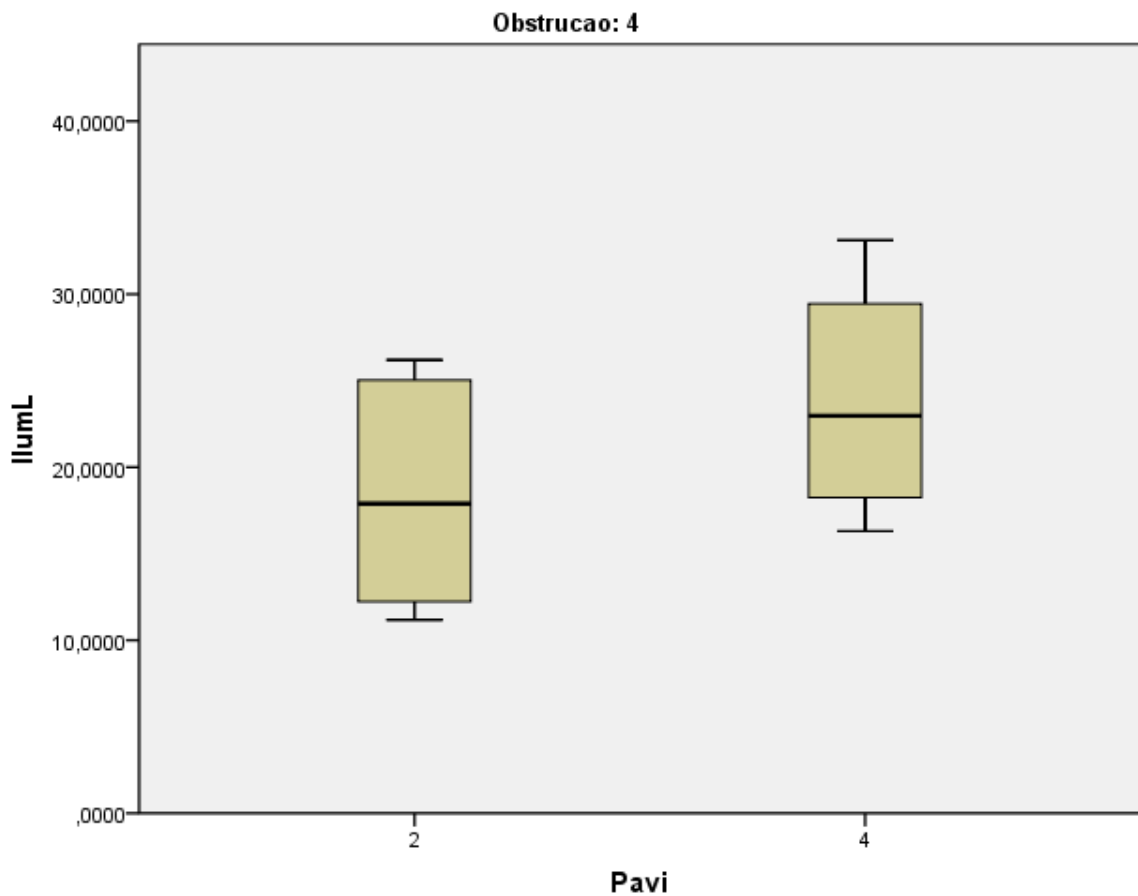
a. Obstrucao = 4

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
IlumL	Equal variances assumed	,395	,540	-1,587	14	,135
	Equal variances not assumed			-1,587	13,988	,135

a. Obstrucao = 4

Conclusão: não há diferença significativas entre as médias de ilumL devido a PAVI para o caso de Obstrução = 4.

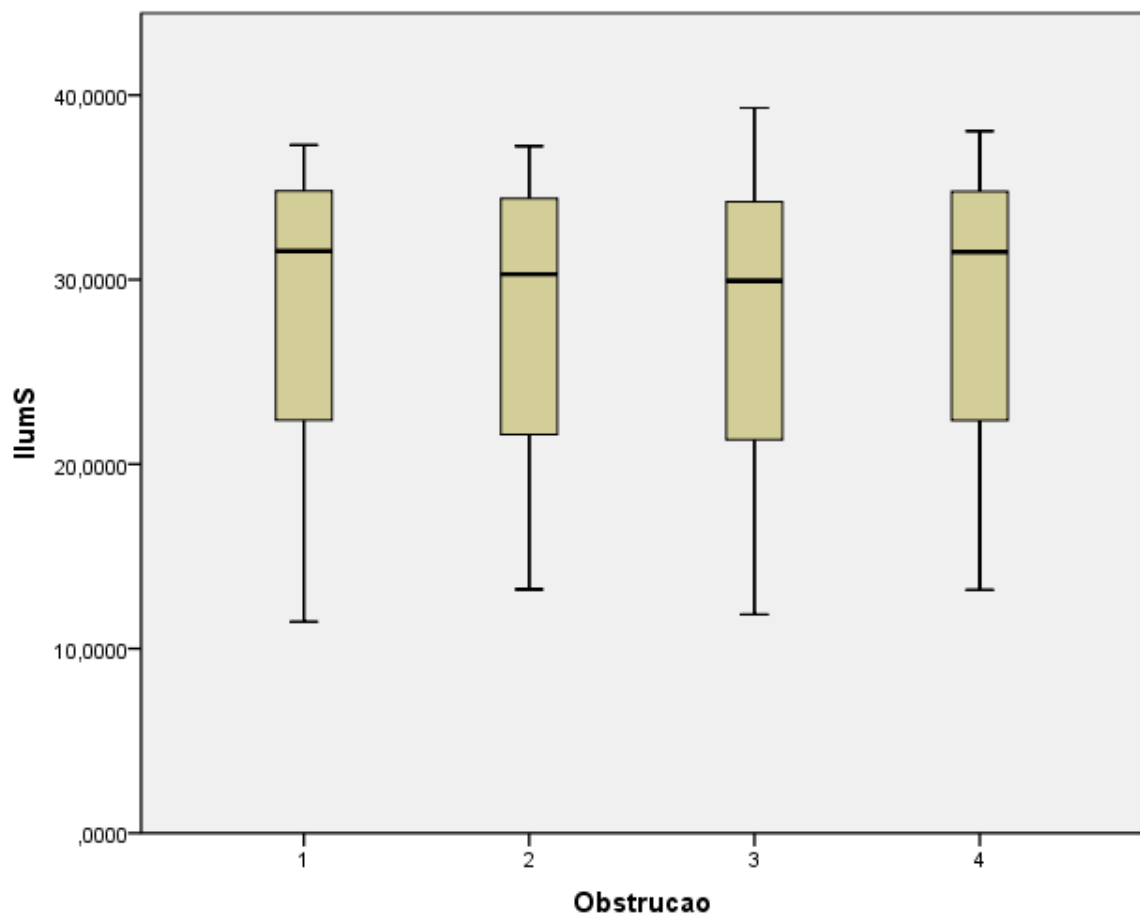


Iluminação Sul

Comparação por OBSTRUÇÃO (Categorias 1 a 4)

Estatísticas Descritivas

Obstrução	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
1	16	28,380077	8,9824677	2,2456169
2	16	27,779820	8,6890794	2,1722699
3	16	27,800428	9,1101423	2,2775356
4	16	28,341172	8,6891258	2,1722815
Total	64	28,075374	8,6606476	1,0825809



Análise de Variância (ANOVA) para comparação das médias

ANOVA

IlumS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5,223	3	1,741	,022	,995
Within Groups	4720,206	60	78,670		
Total	4725,429	63			

P-Value (Sig.) > 0,05

Conclusão: não há diferença entre as médias devido a Obstrução.

Comparação por PAVIMENTOS (Categorias 2 e 4)

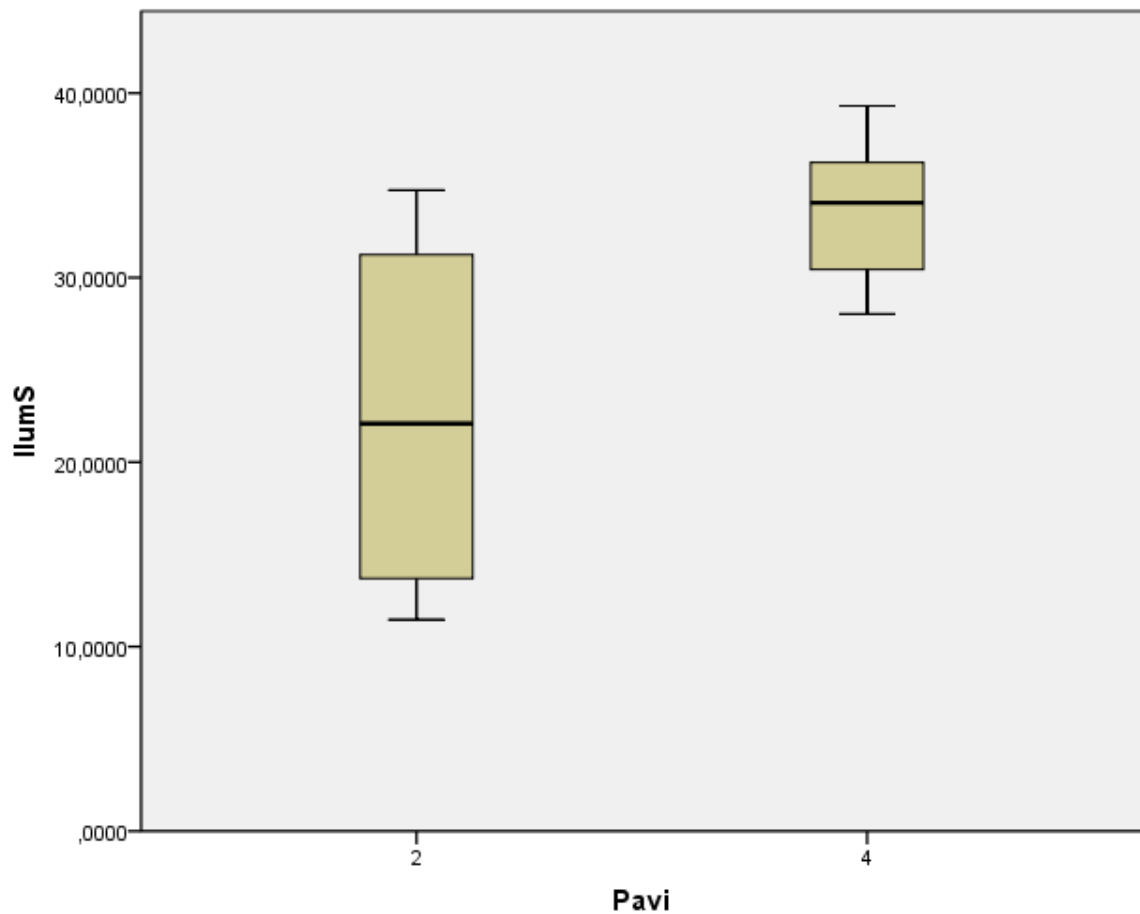
Group Statistics

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
IllumS	2	32	22,708511	9,0117768	1,5930721
	4	32	33,442237	3,4287570	,6061243

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
IllumS	Equal variances assumed	152,909	,000	-6,297	62	,000
	Equal variances not assumed			-6,297	39,791	,000

Conclusão: considerando todas as obstruções, a média de iluminS é menor para o caso de 2 pavimentos (média = 22,71) do que o caso de 4 pavimentos (média = 33,44) ao nível de 1%



Comparação de PAVIMENTOS por OBSTRUÇÃO

Obstrução = 1

Group Statistics^a

Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
IlumS 2	8	22,963628	9,7241288	3,4379987
4	8	33,796526	3,3584306	1,1873845

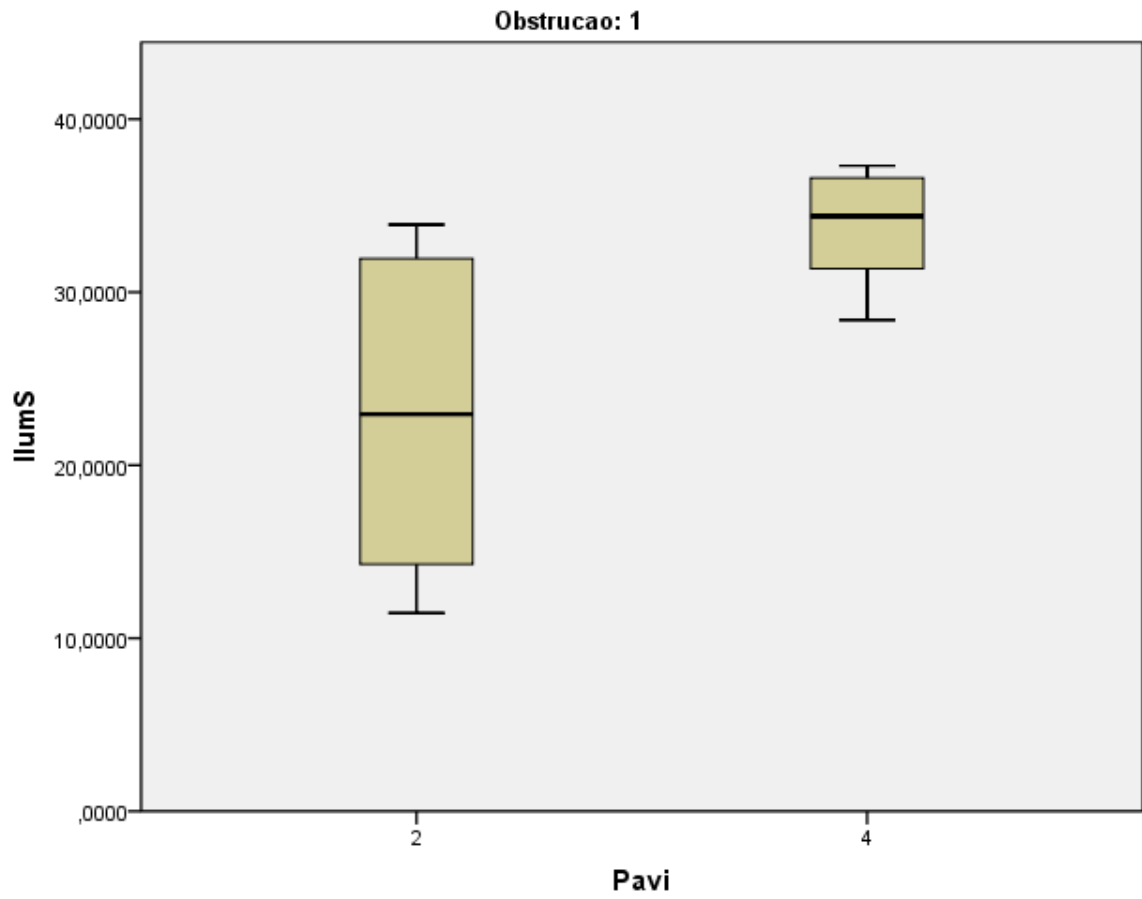
a. Obstrucao = 1

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
IlumS	Equal variances assumed	40,742	,000	-2,978	14	,010
	Equal variances not assumed			-2,978	8,647	,016

a. Obstrucao = 1

Conclusão: há diferença significativa entre as médias de ilumS ao nível de 5% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 1.



Obstrução = 2

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
IllumS	2	8	22,321433	9,0390455	3,1957852
	4	8	33,238207	3,4613643	1,2237771

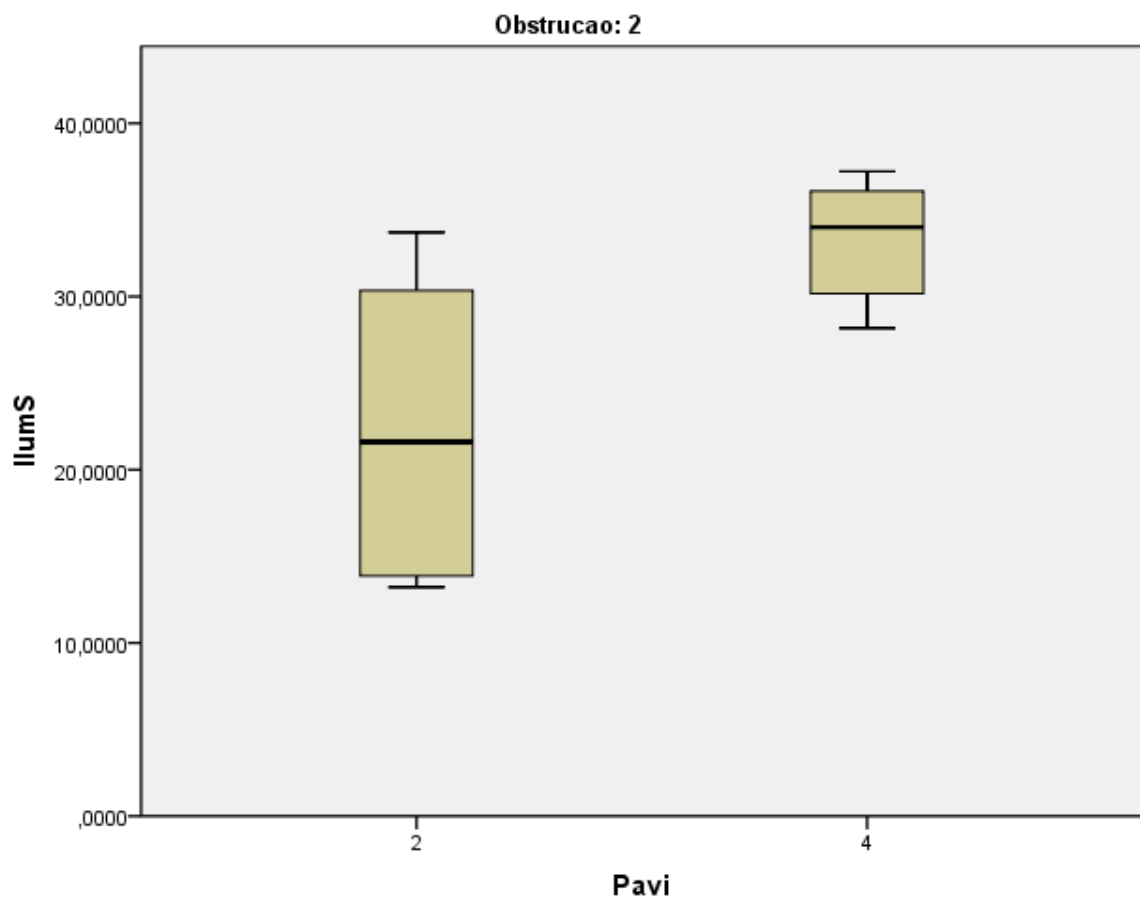
a. Obstrucao = 2

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
IllumS	Equal variances assumed	42,095	,000	-3,190	14	,007
	Equal variances not assumed			-3,190	9,010	,011

a. Obstrucao = 2

Conclusão: há diferença significativa entre as médias de illumS ao nível de 1% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 2.



Obstrução = 3

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
IllumS	2	8	22,165865	9,4448968	3,3392753
	4	8	33,434991	4,0090074	1,4173981

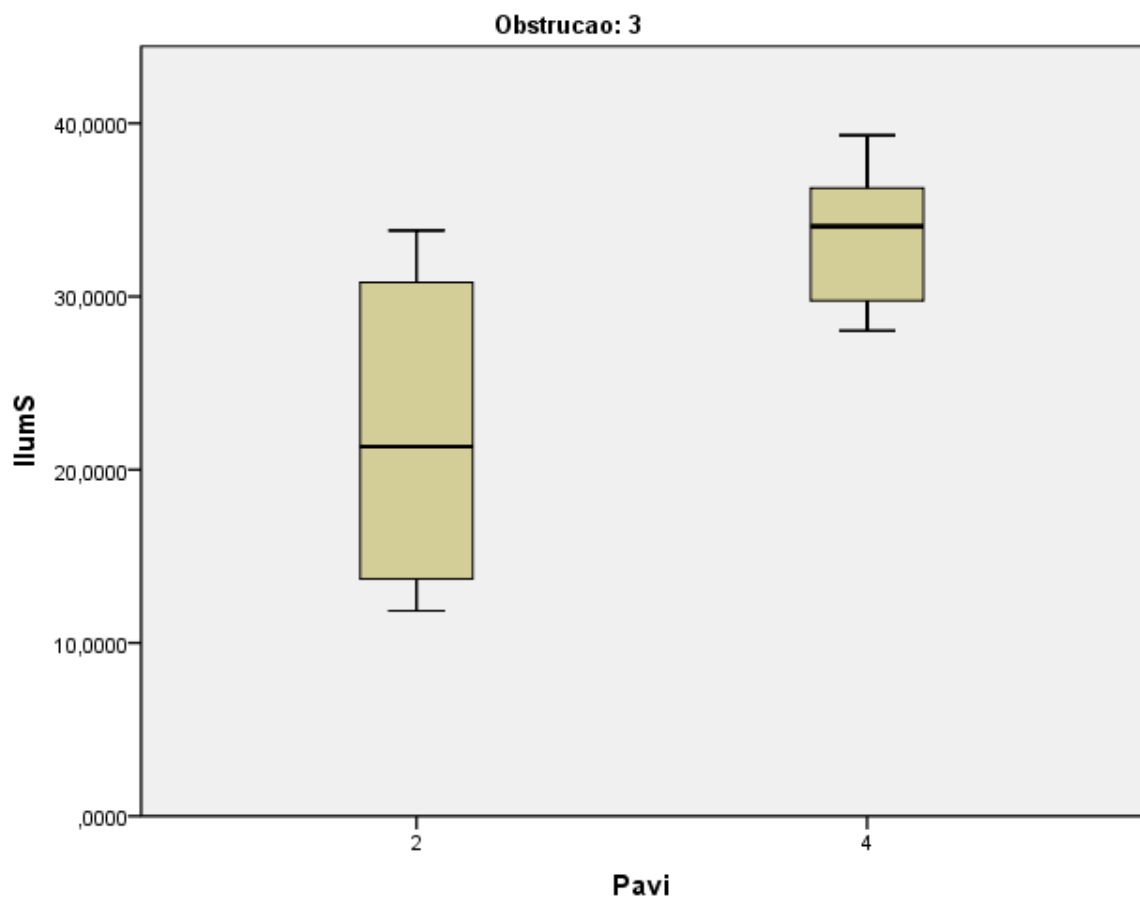
a. Obstrucao = 3

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
IllumS	Equal variances assumed	25,852	,000	-3,106	14	,008
	Equal variances not assumed			-3,106	9,443	,012

a. Obstrucao = 3

Conclusão: há diferença significativa entre as médias de illumS ao nível de 1% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 3.



Obstrução = 4

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
IlumS	2	8	23,383119	9,6479180	3,4110541
	4	8	33,299225	3,5379718	1,2508619

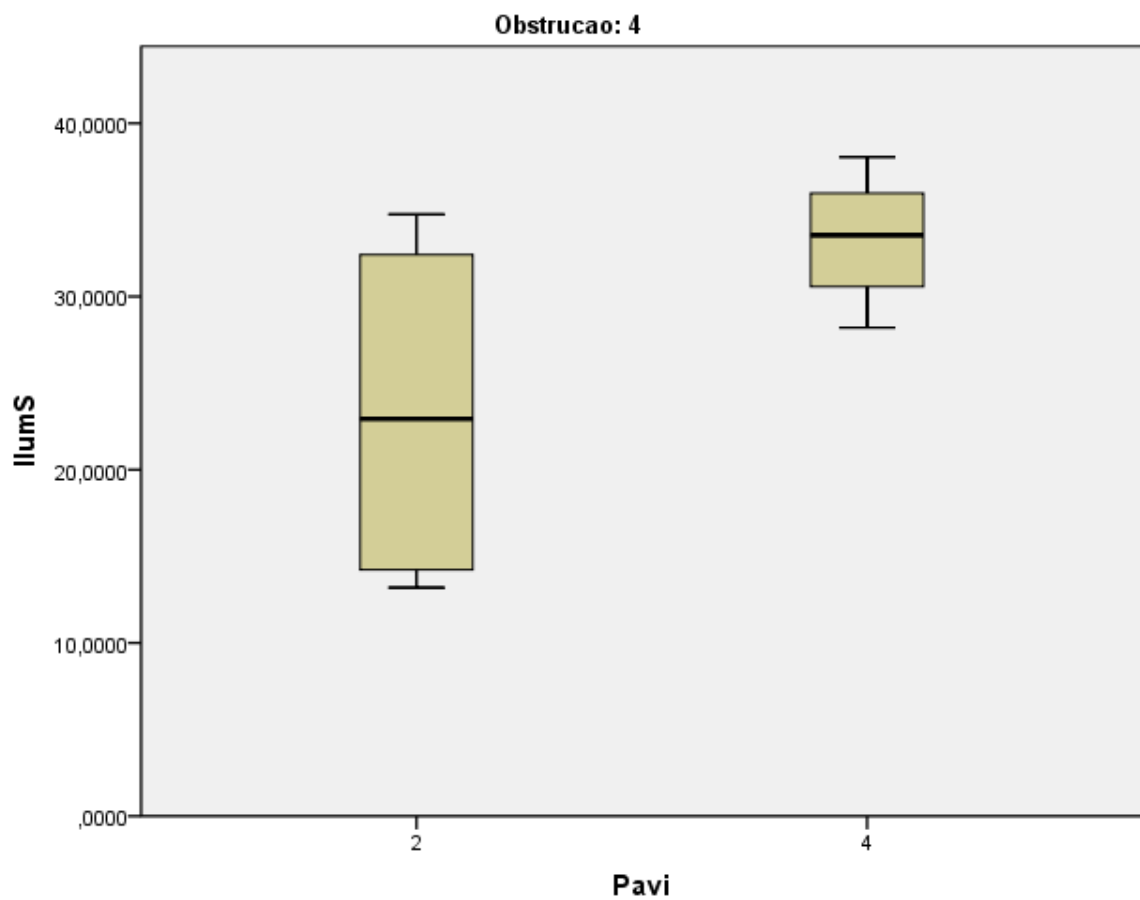
a. Obstrucao = 4

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
IlumS	Equal variances assumed	42,354	,000	-2,729	14	,016
	Equal variances not assumed			-2,729	8,849	,024

a. Obstrucao = 4

Conclusão: há diferença significativa entre as médias de ilumS ao nível de 5% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 4.

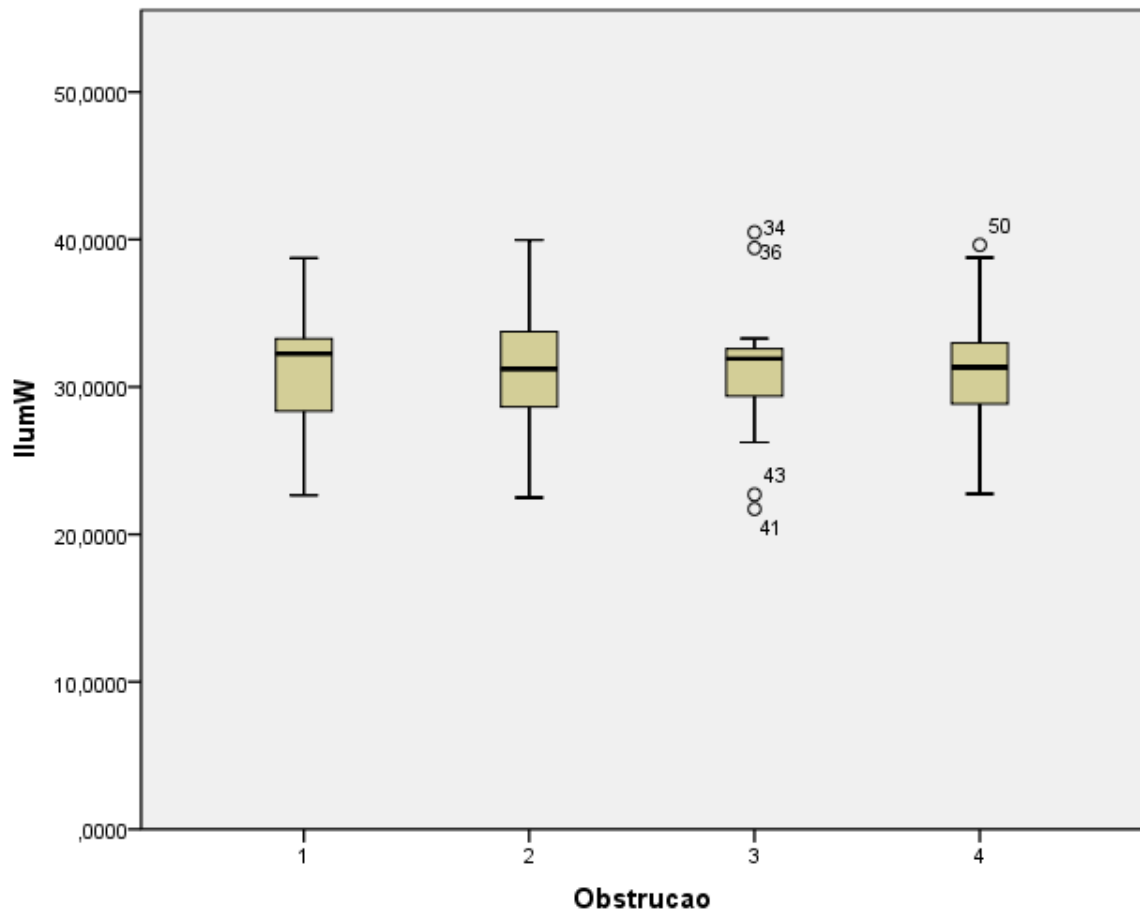


Iluminação Oeste

Comparação por OBSTRUÇÃO (Categorias 1 a 4)

Estatísticas Descritivas

Obstrução	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
1	16	31,364952	4,5217555	1,1304389
2	16	31,341982	4,6808155	1,1702039
3	16	31,099269	4,9060292	1,2265073
4	16	31,080128	4,6357062	1,1589265
Total	64	31,221583	4,5771141	,5721393



Obs.: no caso das obstruções 3 e 4, há casos de outliers (fora do intervalo esperado), indicando maior dispersão.

Análise de Variância (ANOVA) para comparação das médias

ANOVA

IlumW

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1,120	3	,373	,017	,997
Within Groups	1318,728	60	21,979		
Total	1319,848	63			

P-Value (Sig.) > 0,05

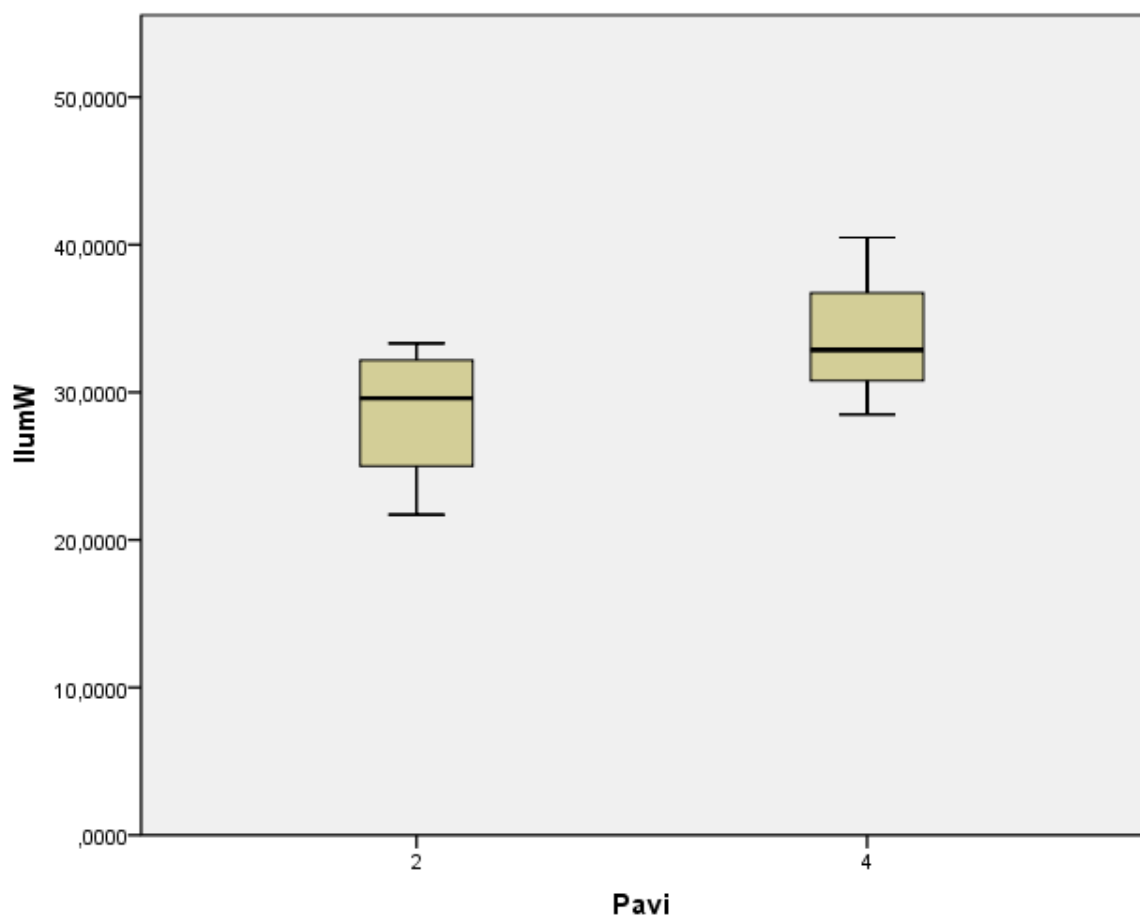
Conclusão: não há diferença entre as médias devido a Obstrução.

Comparação por PAVIMENTOS (Categorias 2 e 4)

Group Statistics					
	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
IllumW	2	32	28,654144	3,9829968	,7041010
	4	32	33,789021	3,6197701	,6398910

Independent Samples Test						
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
IllumW	Equal variances assumed	,859	,358	-5,397	62	,000
	Equal variances not assumed			-5,397	61,442	,000

Conclusão: considerando todas as obstruções, a média de iluminW é menor para o caso de 2 pavimentos (média = 28,65) do que o caso de 4 pavimentos (média = 33,79) ao nível de 1%



Comparação de PAVIMENTOS por OBSTRUÇÃO

Obstrução = 1

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
IllumW	2	8	29,141485	4,3777965	1,5477848
	4	8	33,588420	3,6535200	1,2917144

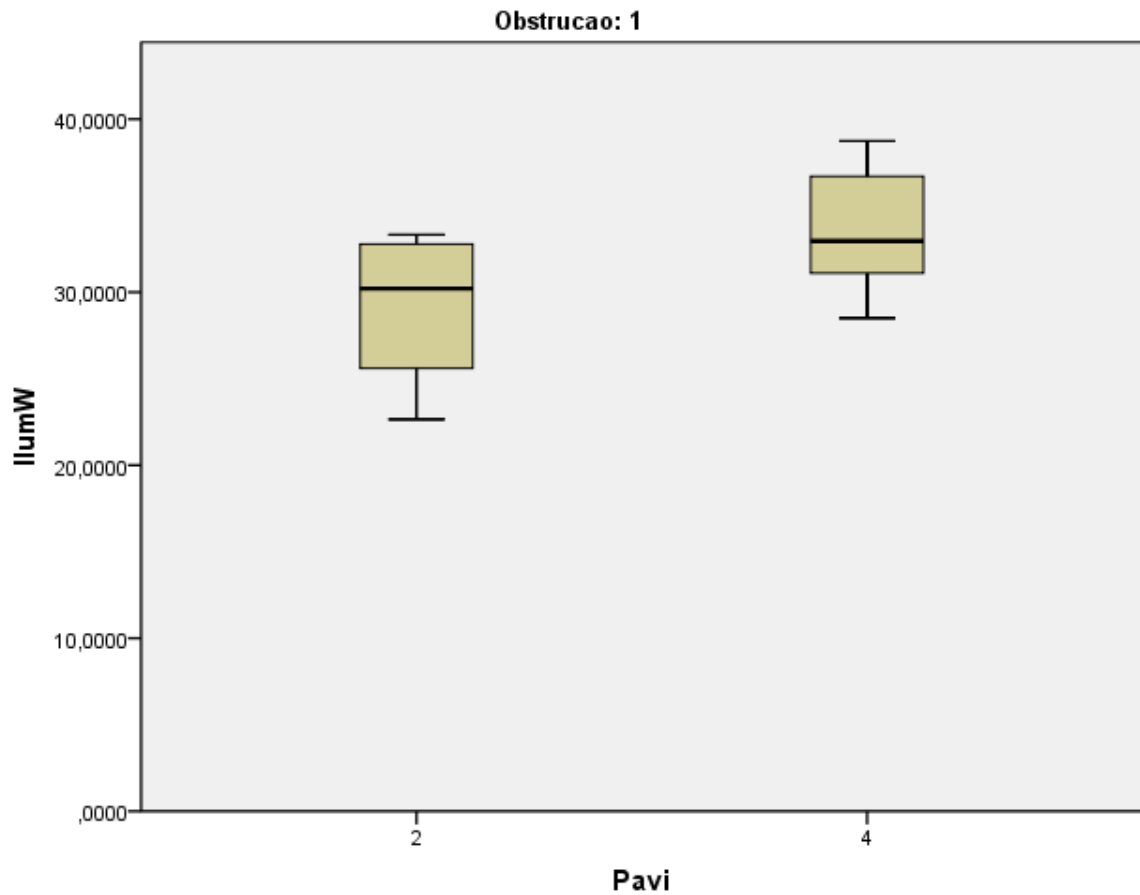
a. Obstrucao = 1

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
IllumW	Equal variances assumed	,585	,457	-2,206	14	,045
	Equal variances not assumed			-2,206	13,566	,045

a. Obstrucao = 1

Conclusão: não há diferença significativa entre as médias de illumW devido a PAVI para o caso de Obstrução = 1.



Obstrução = 2

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
IllumW	2	8	28,642277	3,9148781	1,3841184
	4	8	34,041688	3,8684086	1,3676890

a. Obstrucao = 2

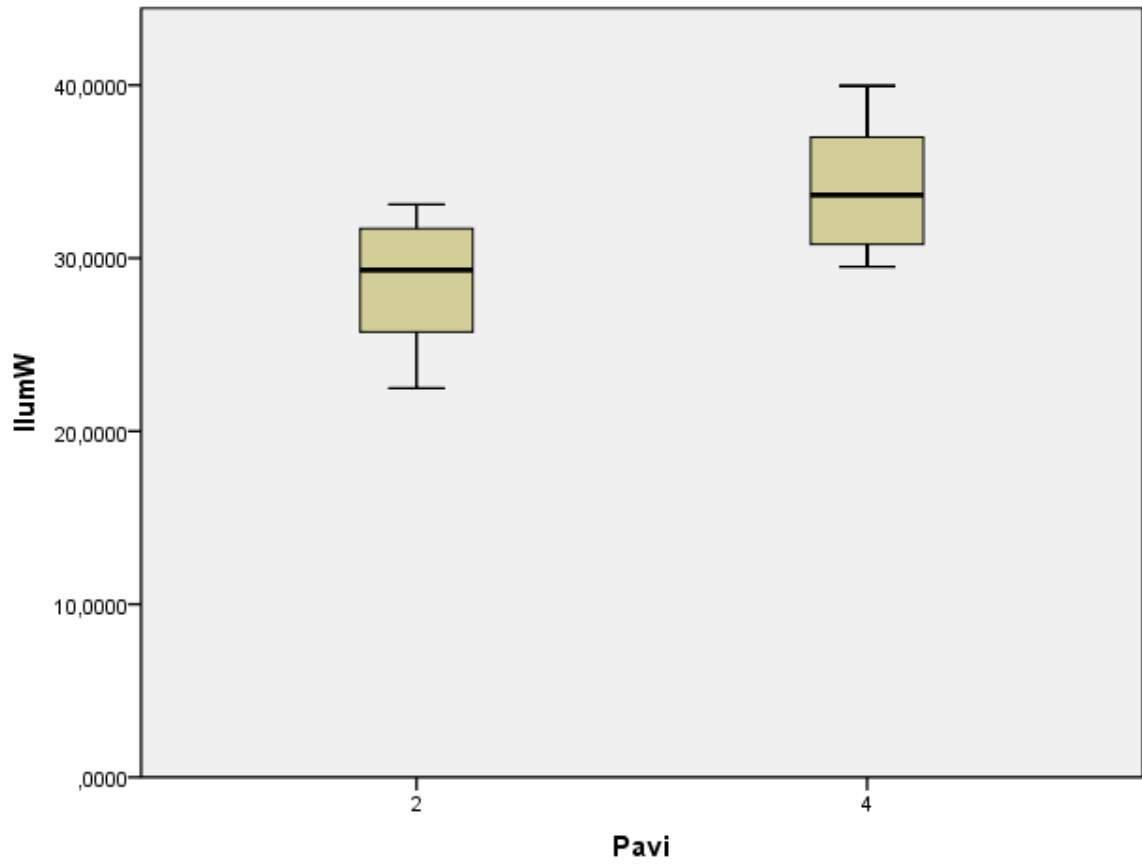
Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
IllumW	Equal variances assumed	,025	,876	-2,775	14	,015
	Equal variances not assumed			-2,775	13,998	,015

a. Obstrucao = 2

Conclusão: há diferença significativa entre as médias de illumW ao nível de 5% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 2.

Obstrucao: 2



Obstrução = 3

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
IllumW	2	8	28,257917	4,2743876	1,5112242
	4	8	33,940621	3,8539704	1,3625843

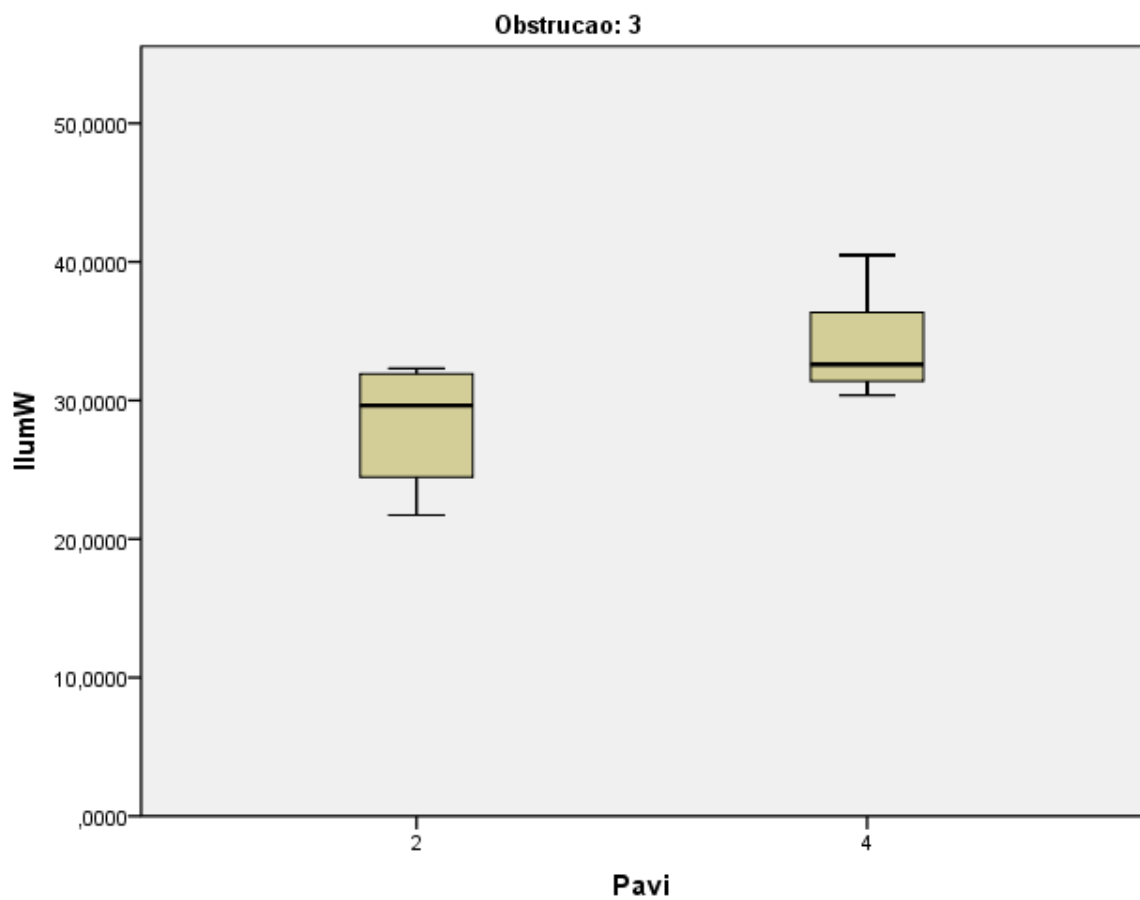
a. Obstrucao = 3

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
IllumW	Equal variances assumed	,255	,622	-2,793	14	,014
	Equal variances not assumed			-2,793	13,853	,015

a. Obstrucao = 3

Conclusão: há diferença significativa entre as médias de illumW ao nível de 5% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 3.



Obstrução = 4

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
IllumW	2	8	28,574898	4,1274775	1,4592836
	4	8	33,585357	3,8298693	1,3540633

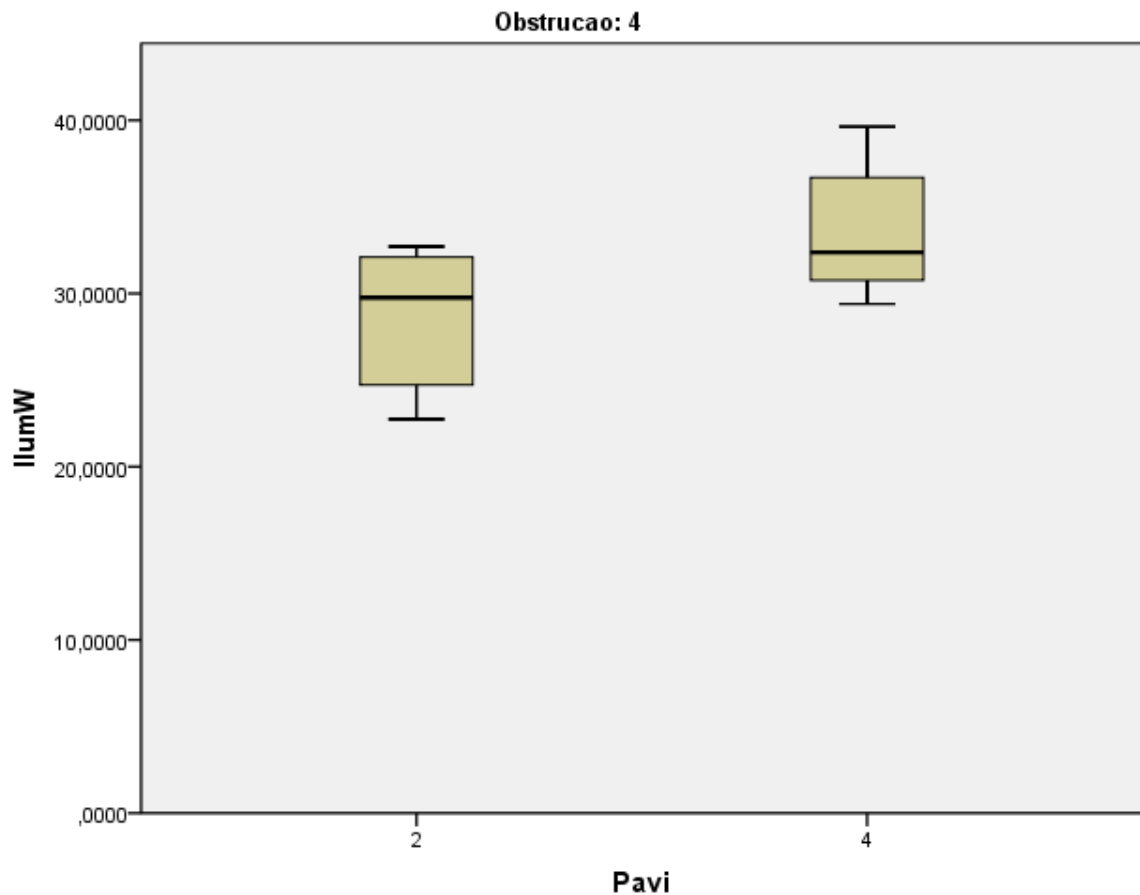
a. Obstrucao = 4

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
IllumW	Equal variances assumed	,160	,695	-2,517	14	,025
	Equal variances not assumed			-2,517	13,922	,025

a. Obstrucao = 4

Conclusão: há diferença significativa entre as médias de illumW ao nível de 5% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 4.

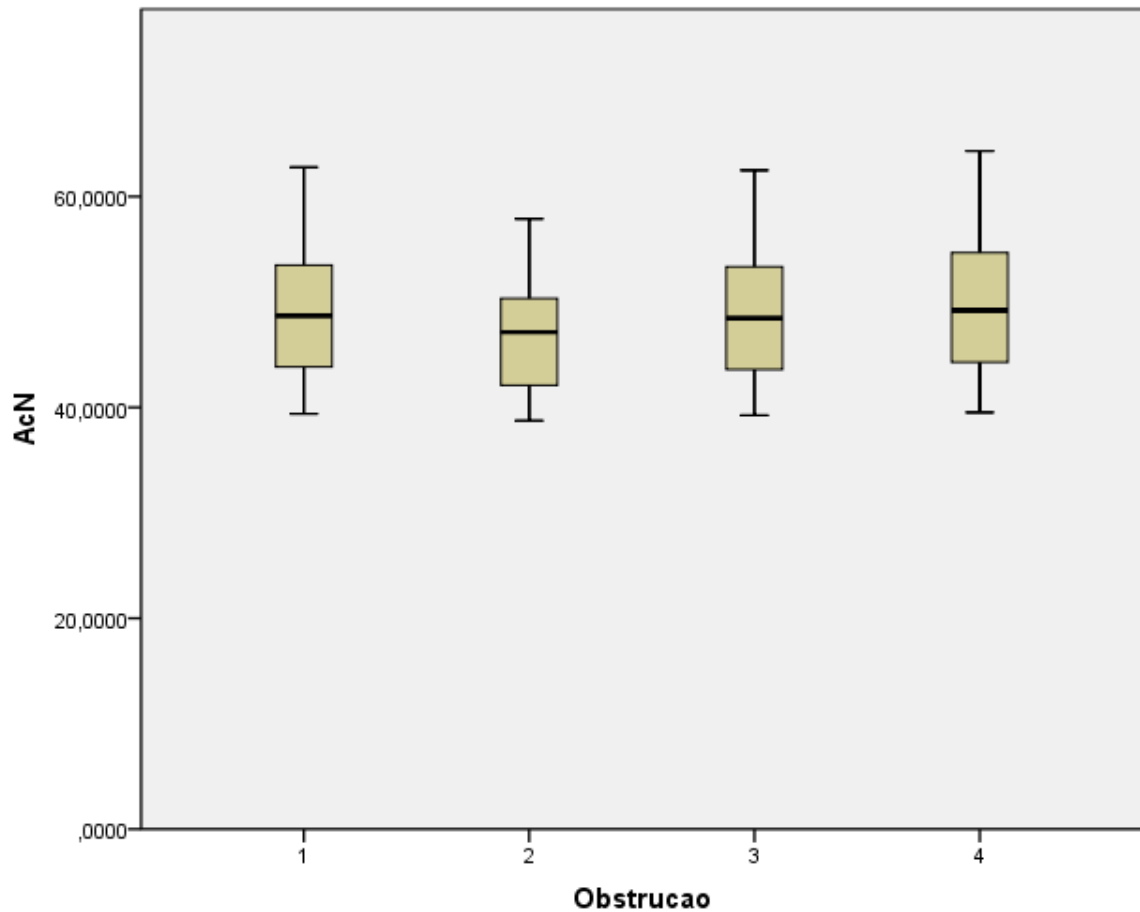


Ar Condicionado Norte

Comparação por OBSTRUÇÃO (Categorias 1 a 4)

Estatísticas Descritivas

Obstrução	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
1	16	49,091666	6,6512179	1,6628045
2	16	46,831548	5,5458754	1,3864688
3	16	48,897878	6,6648190	1,6662047
4	16	49,779243	7,0726572	1,7681643
Total	64	48,650084	6,4475680	,8059460



Análise de Variância (ANOVA) para comparação das médias

ANOVA

AcN

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	77,415	3	25,805	,609	,612
Within Groups	2541,566	60	42,359		
Total	2618,981	63			

P-Value (Sig.) > 0,05

Conclusão: não há diferença entre as médias devido a Obstrução.

Comparação por PAVIMENTOS (Categorias 2 e 4)

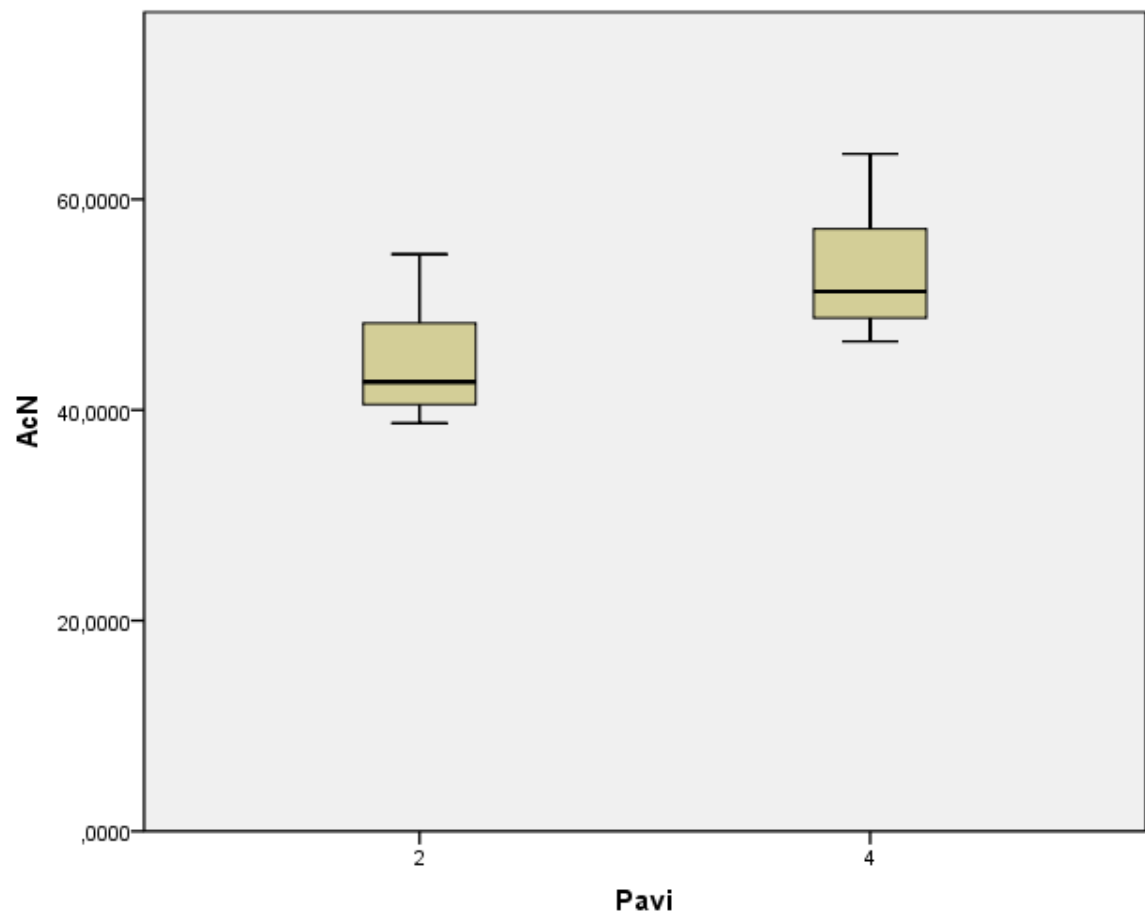
Group Statistics

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AcN	2	32	44,355090	4,5828609	,8101430
	4	32	52,945077	5,0395033	,8908667

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
AcN	Equal variances assumed	,390	,535	-7,134	62	,000
	Equal variances not assumed			-7,134	61,449	,000

Conclusão: considerando todas as obstruções, a média de AcN é menor para o caso de 2 pavimentos (média = 44,35) do que o caso de 4 pavimentos (média = 52,95) ao nível de 1%



Comparação de PAVIMENTOS por OBSTRUÇÃO

Obstrução = 1

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AcN	2	8	44,804238	4,9050559	1,7341991
	4	8	53,379094	5,3592489	1,8947806

a. Obstrucao = 1

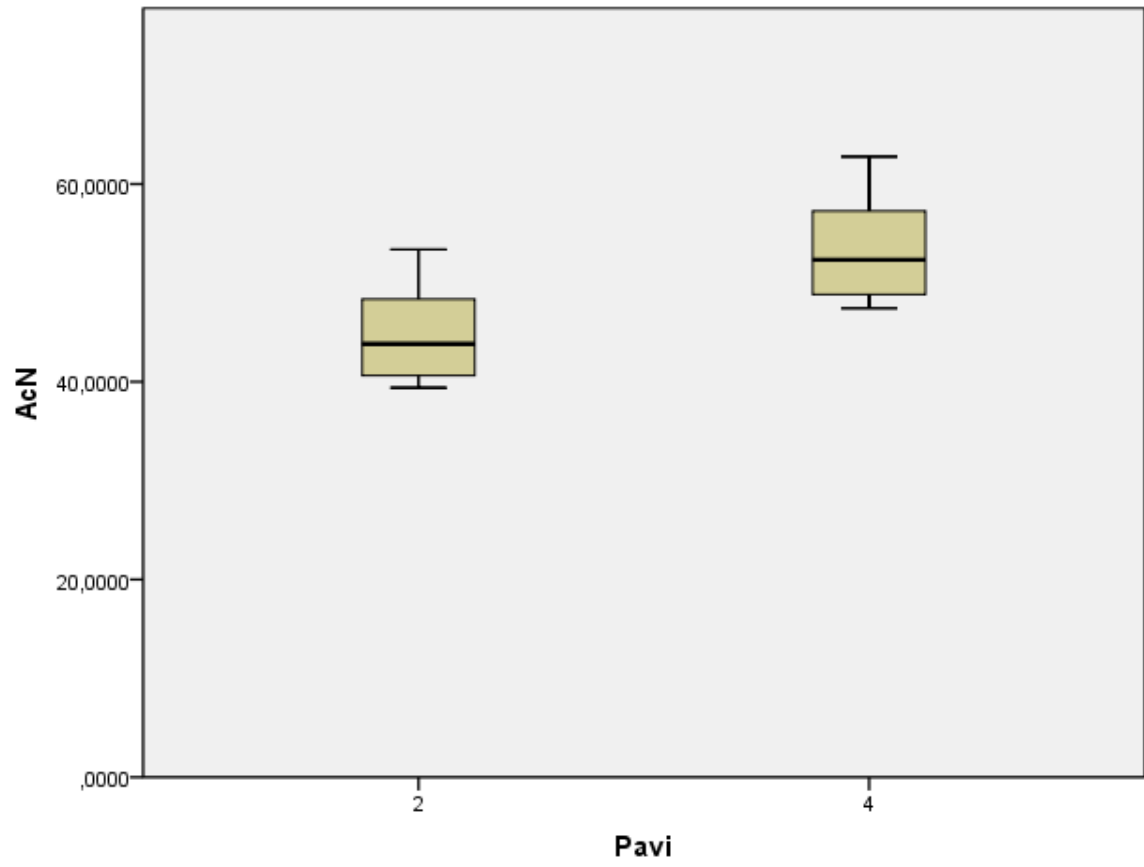
Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
AcN	Equal variances assumed	,077	,786	-3,338	14	,005
	Equal variances not assumed			-3,338	13,892	,005

a. Obstrucao = 1

Conclusão: há diferença significativa entre as médias de AcN ao nível de 1% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 1.

Obstrucao: 1



Obstrução = 2

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AcN	2	8	42,664173	3,3639176	1,1893245
	4	8	50,998924	3,8594431	1,3645192

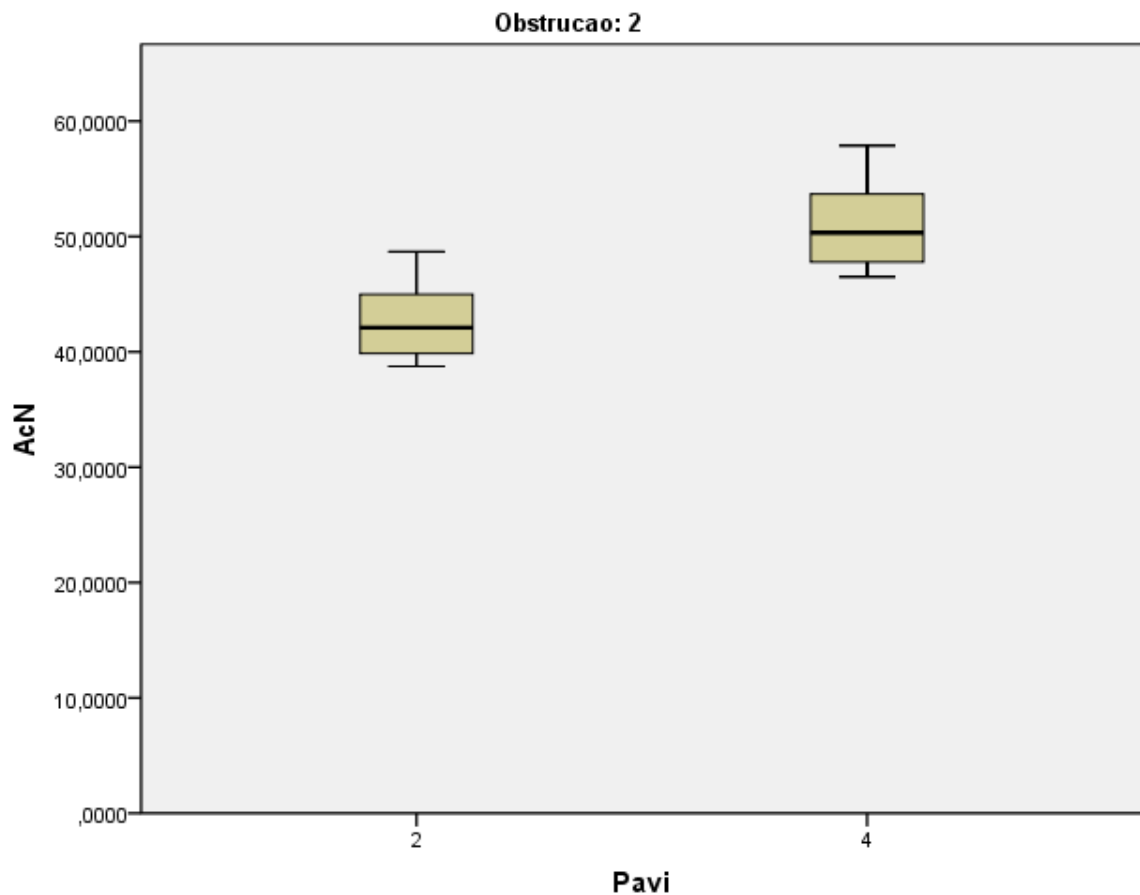
a. Obstrucao = 2

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
AcN	Equal variances assumed	,170	,686	-4,605	14	,000
	Equal variances not assumed			-4,605	13,744	,000

a. Obstrucao = 2

Conclusão: há diferença significativa entre as médias de AcN ao nível de 1% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 2.



Obstrução = 3

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AcN	2	8	44,562842	4,8609182	1,7185941
	4	8	53,232913	5,3481235	1,8908472

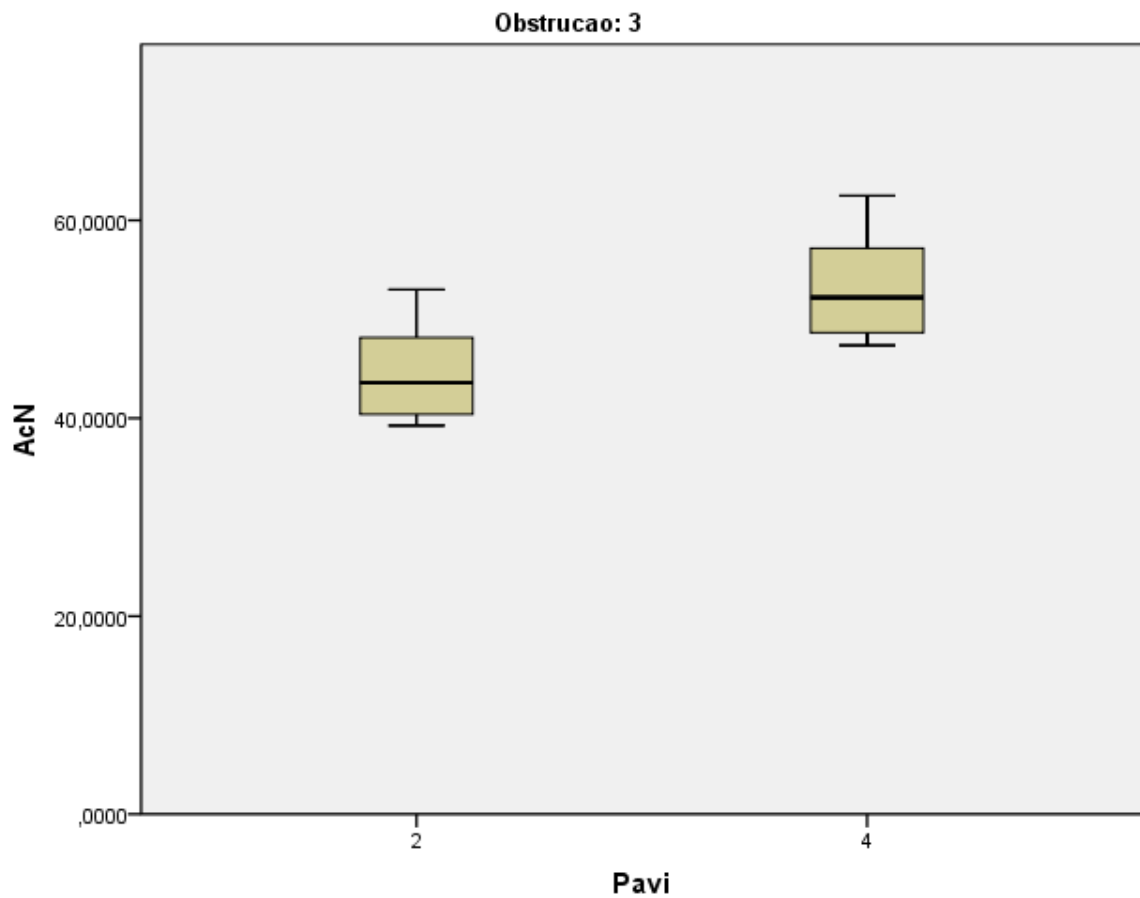
a. Obstrucao = 3

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
AcN	Equal variances assumed	,108	,747	-3,393	14	,004
	Equal variances not assumed			-3,393	13,874	,004

a. Obstrucao = 3

Conclusão: há diferença significativa entre as médias de AcN ao nível de 1% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 3.



Obstrução = 4

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AcN	2	8	45,389108	5,4072229	1,9117420
	4	8	54,169377	5,8223500	2,0585116

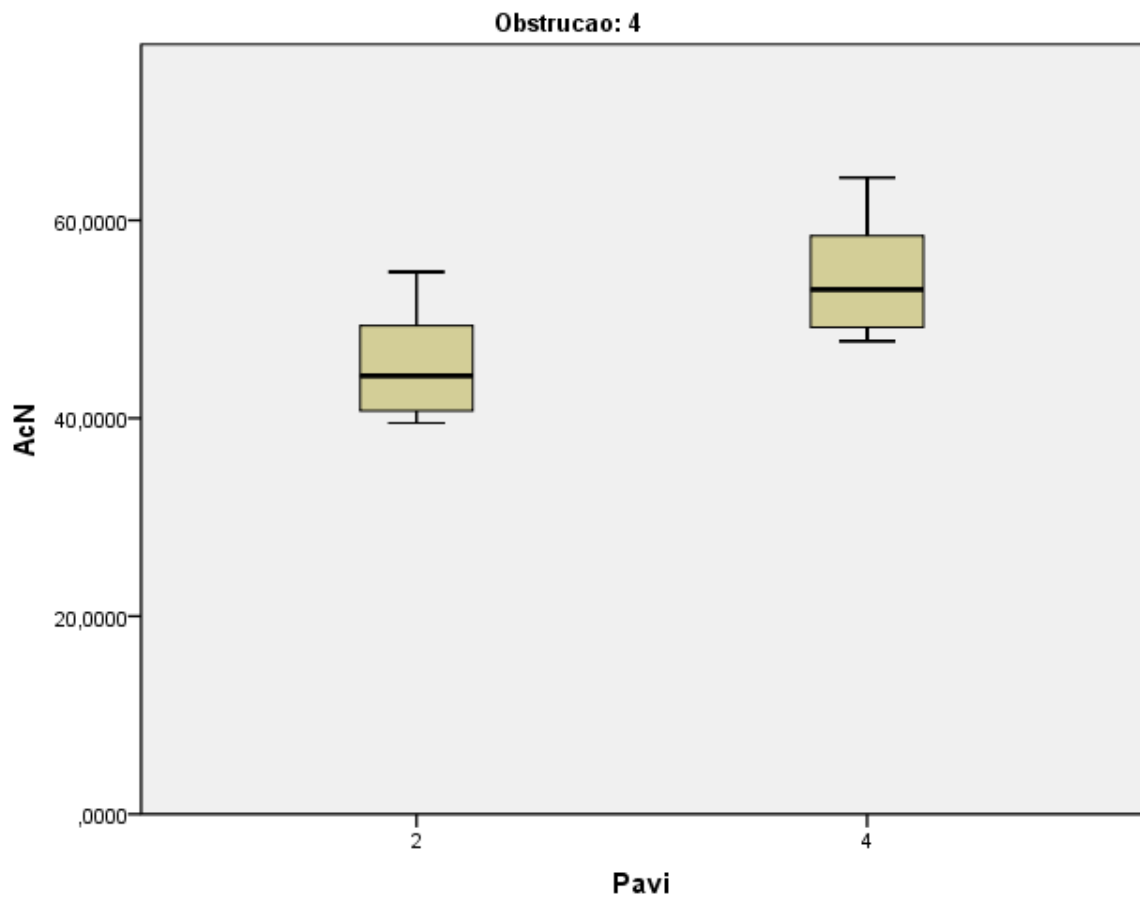
a. Obstrucao = 4

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
AcN	Equal variances assumed	,057	,816	-3,125	14	,007
	Equal variances not assumed			-3,125	13,924	,007

a. Obstrucao = 4

Conclusão: há diferença significativa entre as médias de AcN ao nível de 1% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 4.

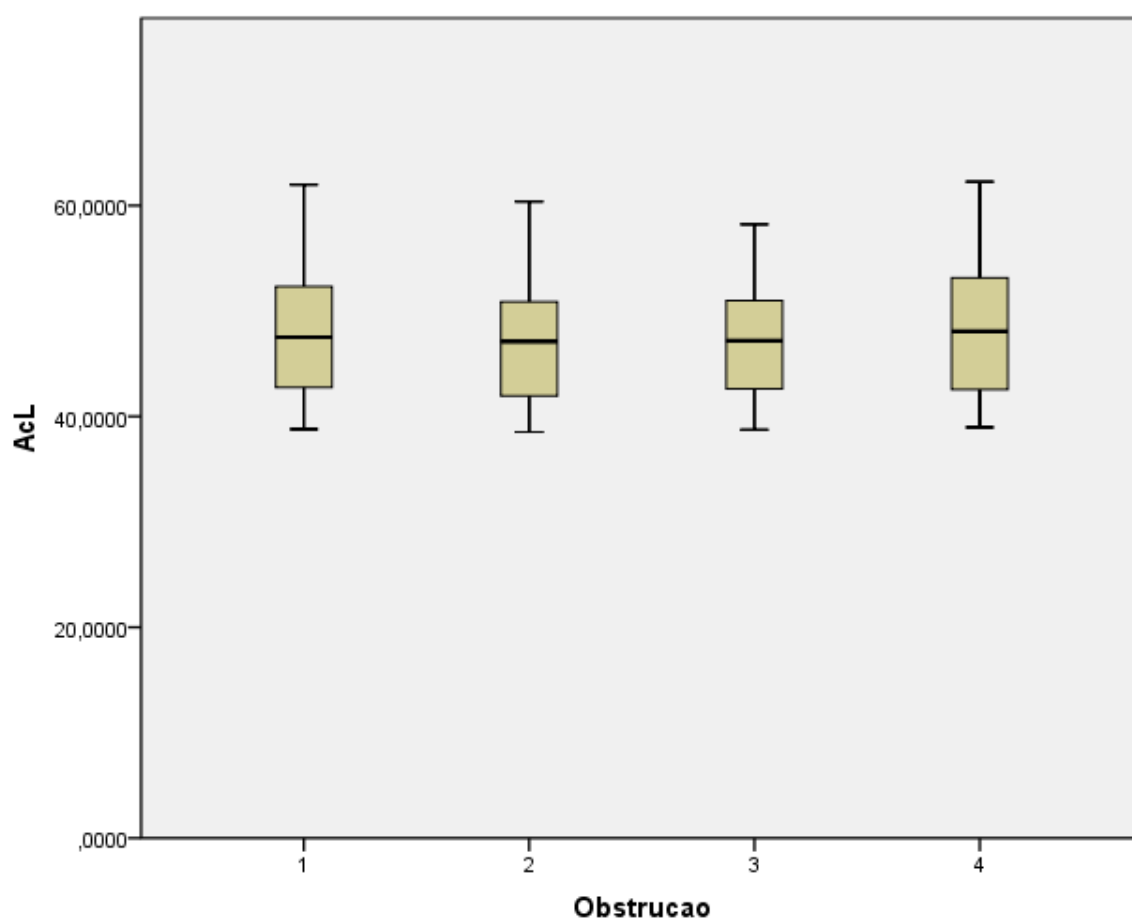


Ar Condicionado Leste

Comparação por OBSTRUÇÃO (Categorias 1 a 4)

Estatísticas Descritivas

Obstrução	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
1	16	48,154764	6,6666888	1,6666722
2	16	47,296956	6,3495017	1,5873754
3	16	47,307777	5,8142677	1,4535669
4	16	48,262329	6,8159721	1,7039930
Total	64	47,755457	6,2850206	,7856276



Análise de Variância (ANOVA) para comparação das médias

ANOVA

AcL

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	13,232	3	4,411	,107	,956
Within Groups	2475,361	60	41,256		
Total	2488,594	63			

P-Value (Sig.) > 0,05

Conclusão: não há diferença entre as médias devido a Obstrução.

Comparação por PAVIMENTOS (Categorias 2 e 4)

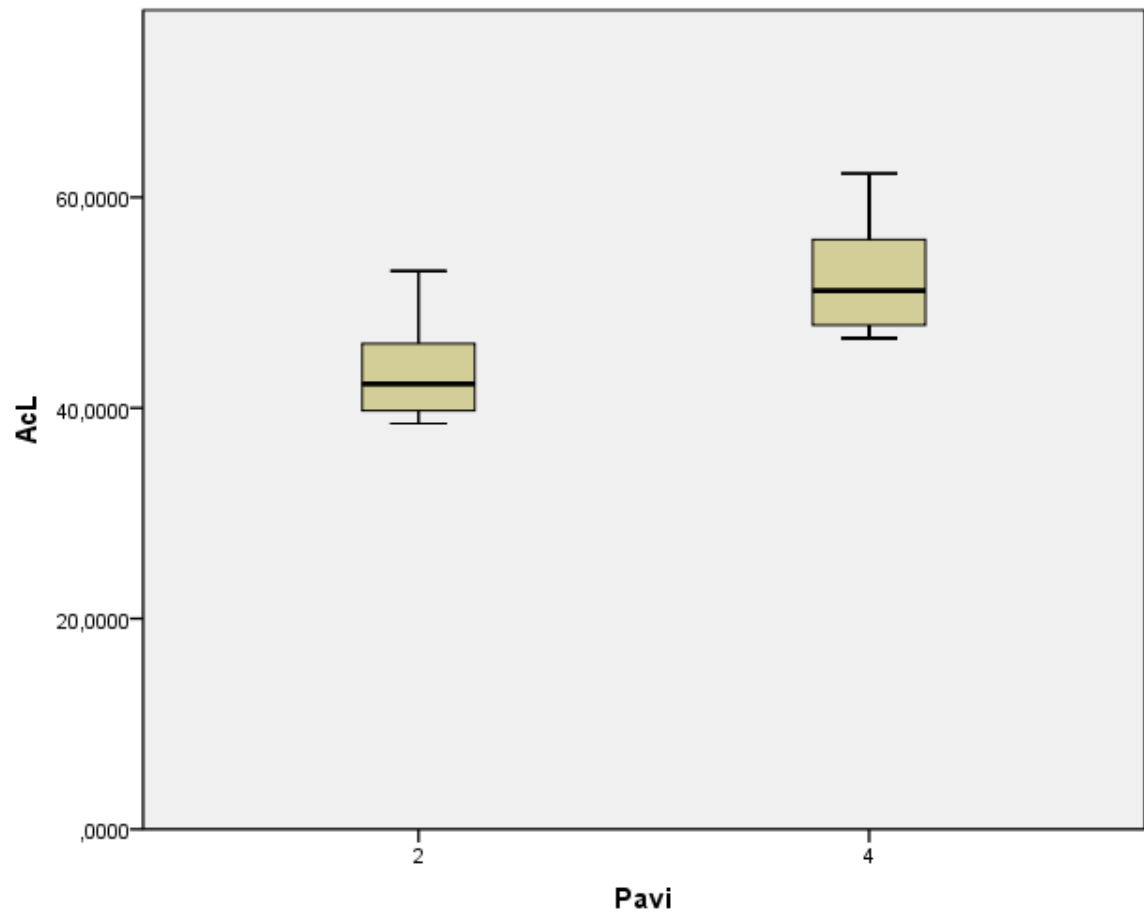
Group Statistics

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AcL	2	32	43,315075	4,0787975	,7210364
	4	32	52,195838	4,7890070	,8465848

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
AcL	Equal variances assumed	1,566	,216	-7,986	62	,000
	Equal variances not assumed			-7,986	60,468	,000

Conclusão: considerando todas as obstruções, a média de AcL é menor para o caso de 2 pavimentos (média = 43,31) do que o caso de 4 pavimentos (média = 52,19) ao nível de 1%



Comparação de PAVIMENTOS por OBSTRUÇÃO

Obstrução = 1

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AcL	2	8	43,694279	4,5525442	1,6095674
	4	8	52,615249	5,3885680	1,9051465

a. Obstrucao = 1

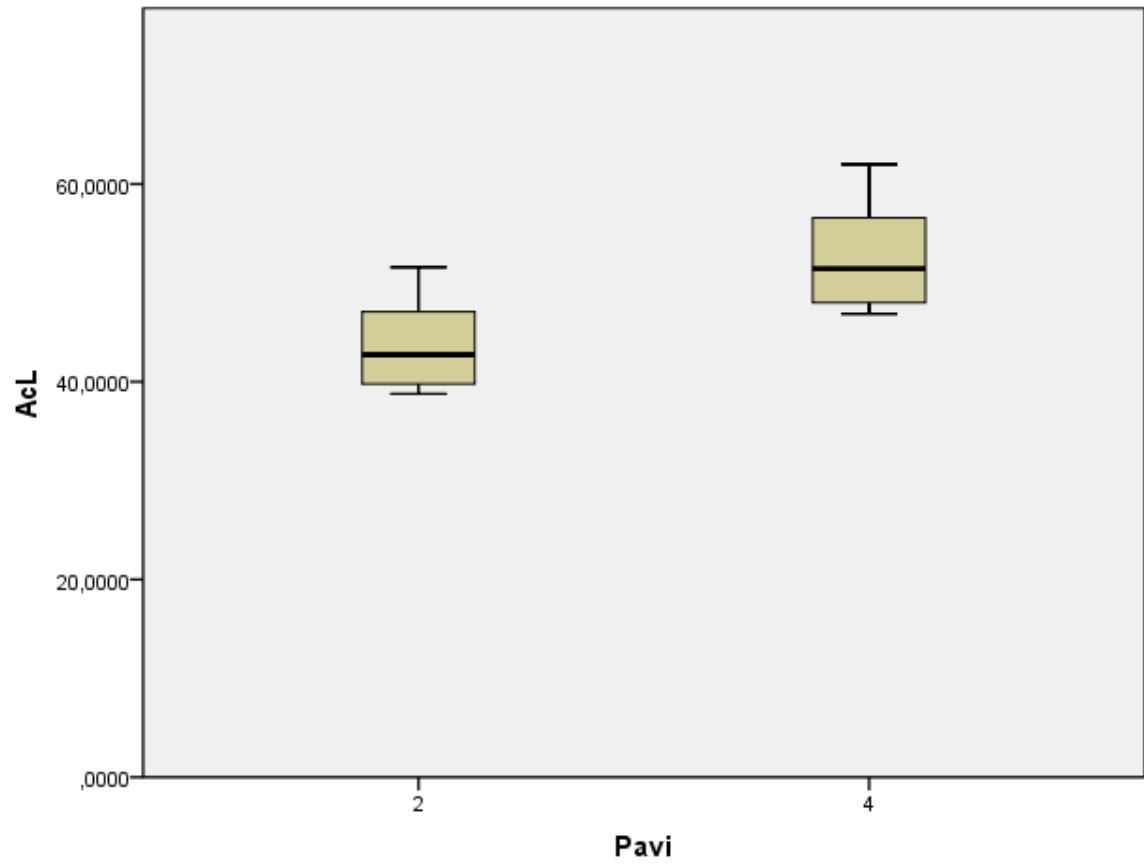
Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
AcL	Equal variances assumed	,335	,572	-3,577	14	,003
	Equal variances not assumed			-3,577	13,620	,003

a. Obstrucao = 1

Conclusão: há diferença significativa entre as médias de AcL ao nível de 1% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 1.

Obstrucao: 1



Obstrução = 2

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AcL	2	8	42,698324	3,7691470	1,3325947
	4	8	51,895588	4,8834808	1,7265712

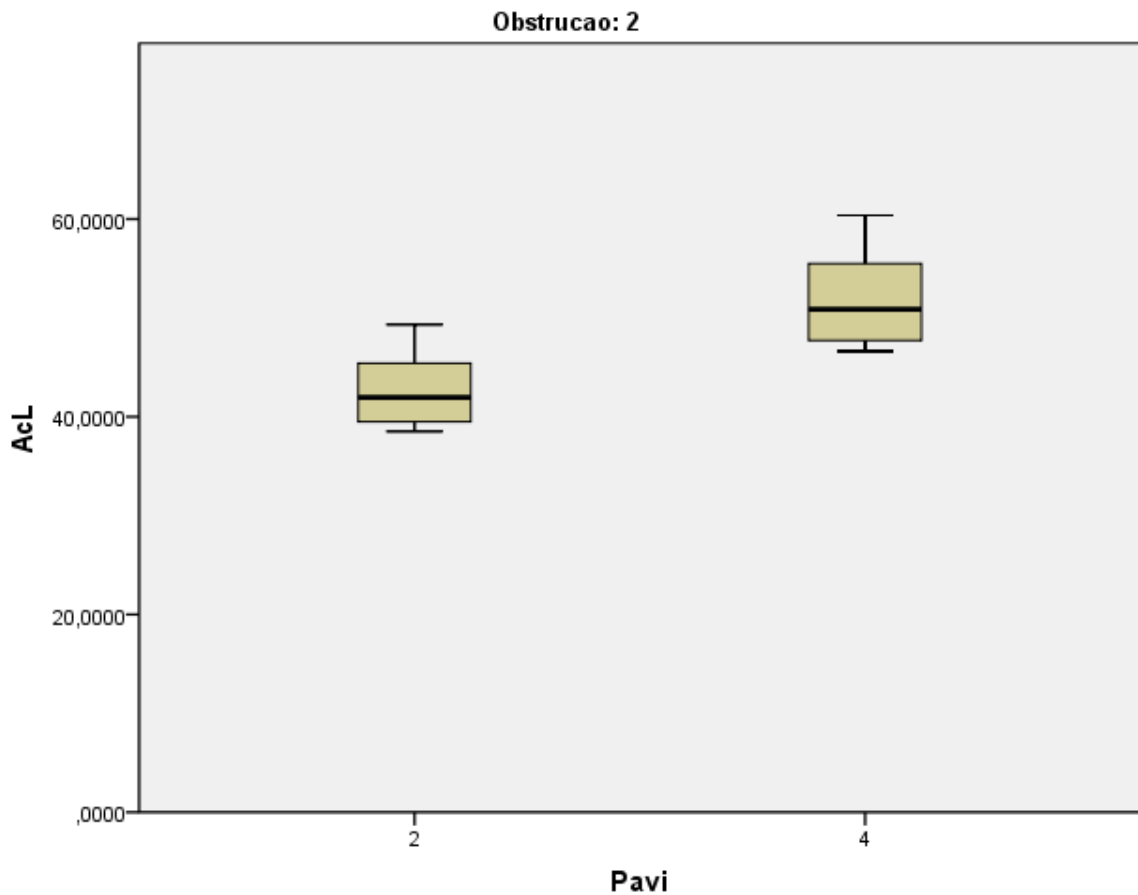
a. Obstrucao = 2

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
AcL	Equal variances assumed	,836	,376	-4,217	14	,001
	Equal variances not assumed			-4,217	13,155	,001

a. Obstrucao = 2

Conclusão: há diferença significativa entre as médias de AcL ao nível de 1% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 2



Obstrução = 3

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AcL	2	8	43,121964	3,8438844	1,3590184
	4	8	51,493591	4,1972938	1,4839675

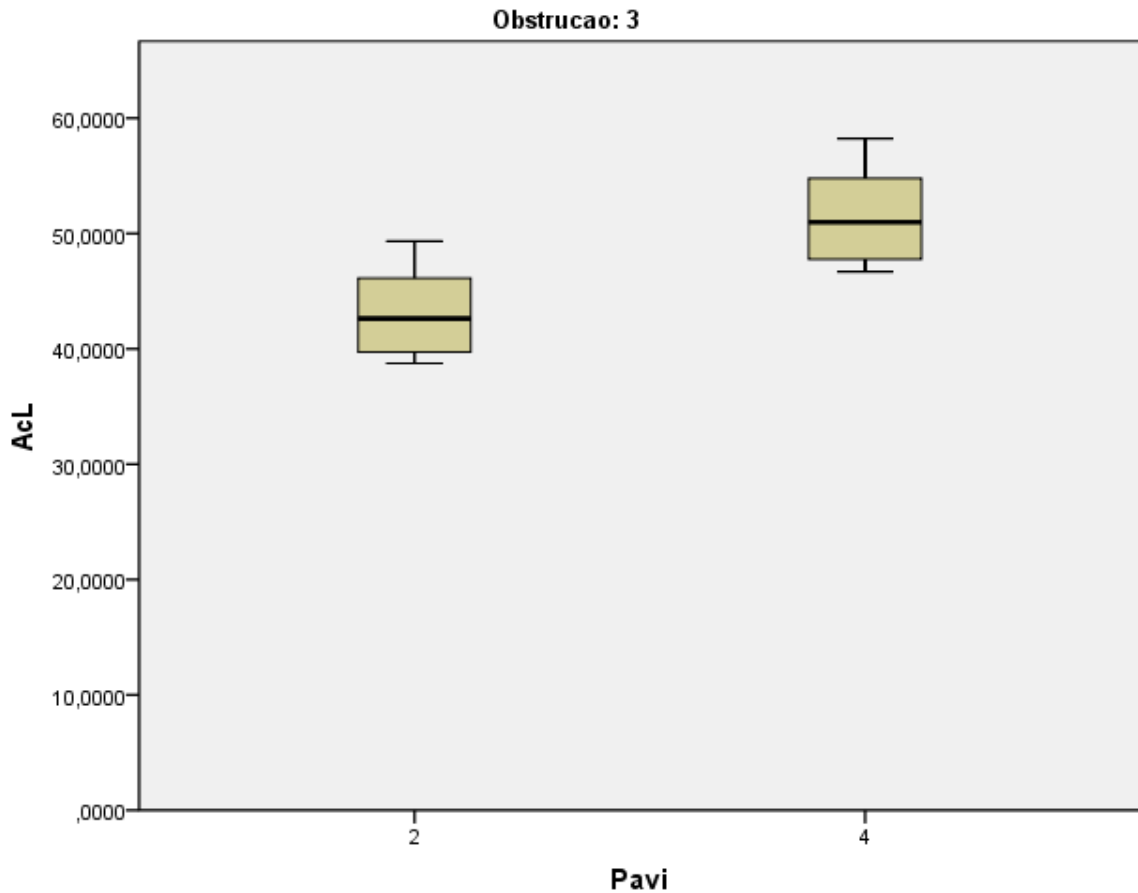
a. Obstrucao = 3

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
AcL	Equal variances assumed	,129	,725	-4,160	14	,001
	Equal variances not assumed			-4,160	13,893	,001

a. Obstrucao = 3

Conclusão: há diferença significativa entre as médias de AcL ao nível de 1% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 3



Obstrução = 4

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AcL	2	8	43,745734	4,8078174	1,6998201
	4	8	52,778923	5,4597540	1,9303146

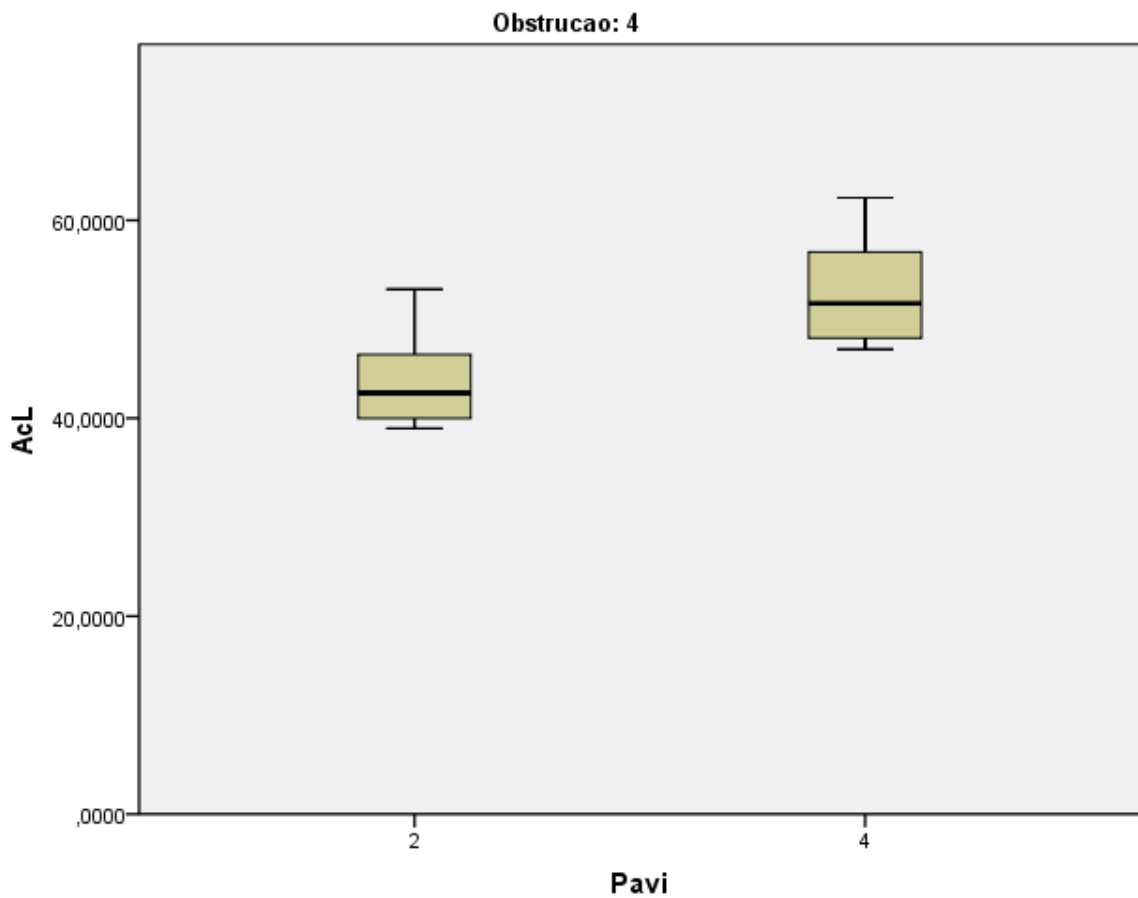
a. Obstrucao = 4

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
AcL	Equal variances assumed	,389	,543	-3,512	14	,003
	Equal variances not assumed			-3,512	13,780	,004

a. Obstrucao = 4

Conclusão: há diferença significativa entre as médias de AcL ao nível de 1% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 4

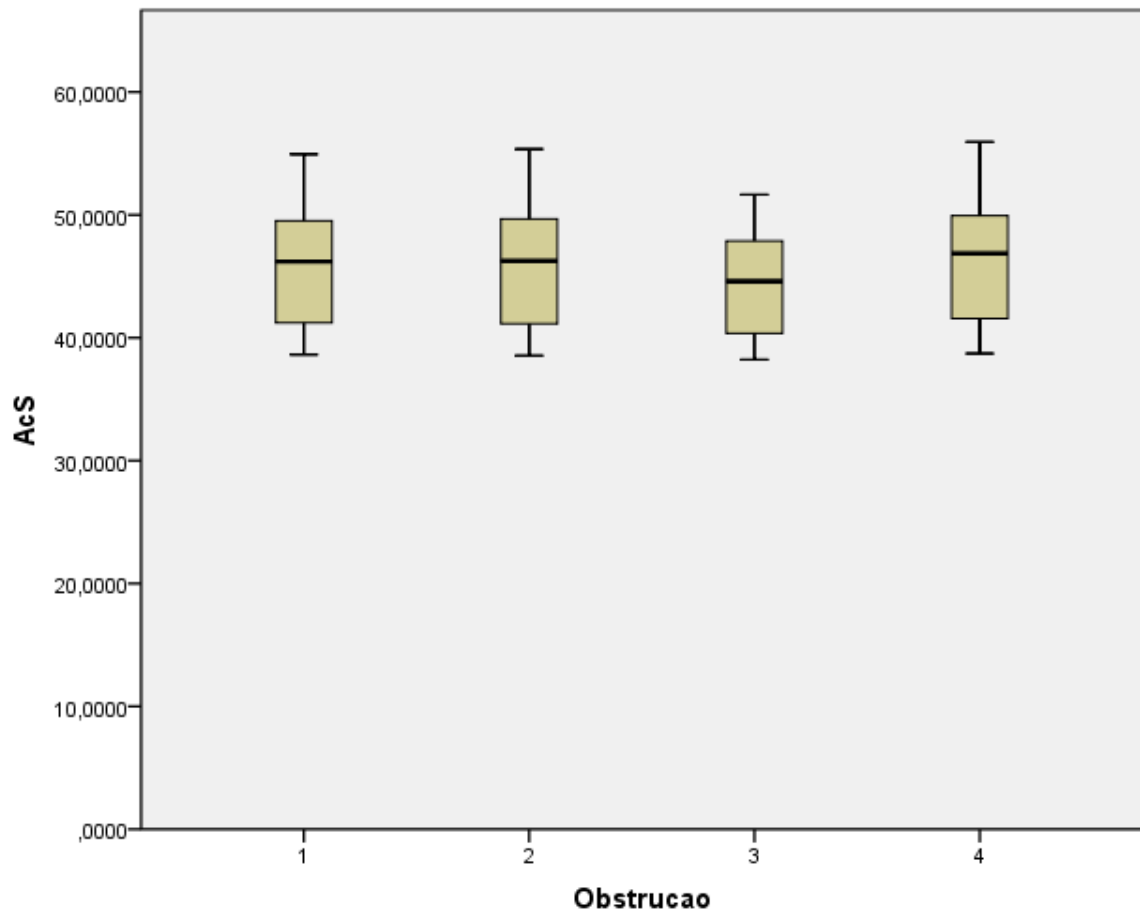


Ar Condicionado Sul

Comparação por OBSTRUÇÃO (Categorias 1 a 4)

Estatísticas Descritivas

Obstrução	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
1	16	45,697539	4,9347961	1,2336990
2	16	45,778530	5,0914294	1,2728573
3	16	44,260387	4,2645368	1,0661342
4	16	46,180842	5,1193993	1,2798498
Total	64	45,479324	4,8039039	,6004880



Análise de Variância (ANOVA) para comparação das médias

ANOVA

AcS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	33,841	3	11,280	,477	,700
Within Groups	1420,041	60	23,667		
Total	1453,882	63			

P-Value (Sig.) > 0,05

Conclusão: não há diferença entre as médias devido a Obstrução.

Comparação por PAVIMENTOS (Categorias 2 e 4)

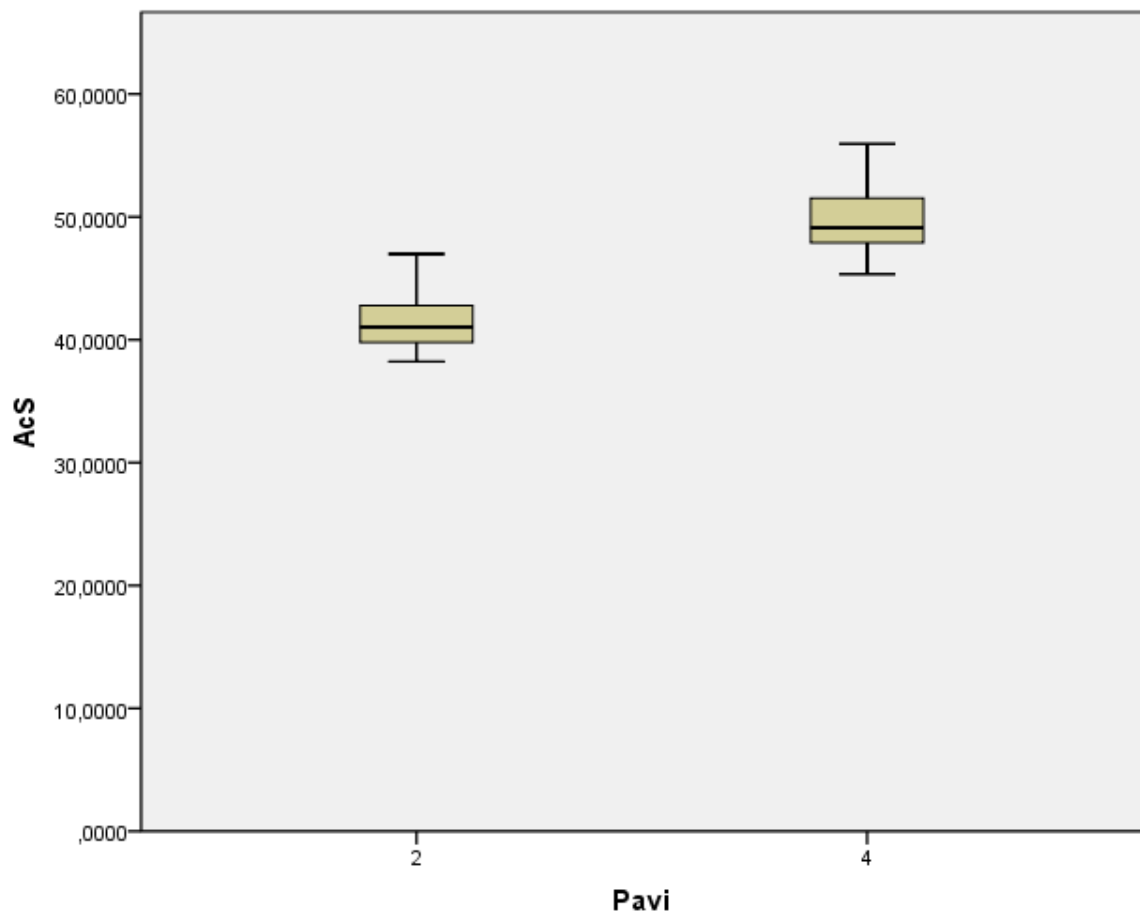
Group Statistics

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AcS	2	32	41,376907	2,2401864	,3960128
	4	32	49,581742	2,6712427	,4722135

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
AcS	Equal variances assumed	,972	,328	-13,313	62	,000
	Equal variances not assumed			-13,313	60,174	,000

Conclusão: considerando todas as obstruções, a média de AcS é menor para o caso de 2 pavimentos (média = 41,37) do que o caso de 4 pavimentos (média = 49,58) ao nível de 1%



Comparação de PAVIMENTOS por OBSTRUÇÃO

Obstrução = 1

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AcS	2	8	41,526318	2,3029158	,8142037
	4	8	49,868759	2,6665636	,9427726

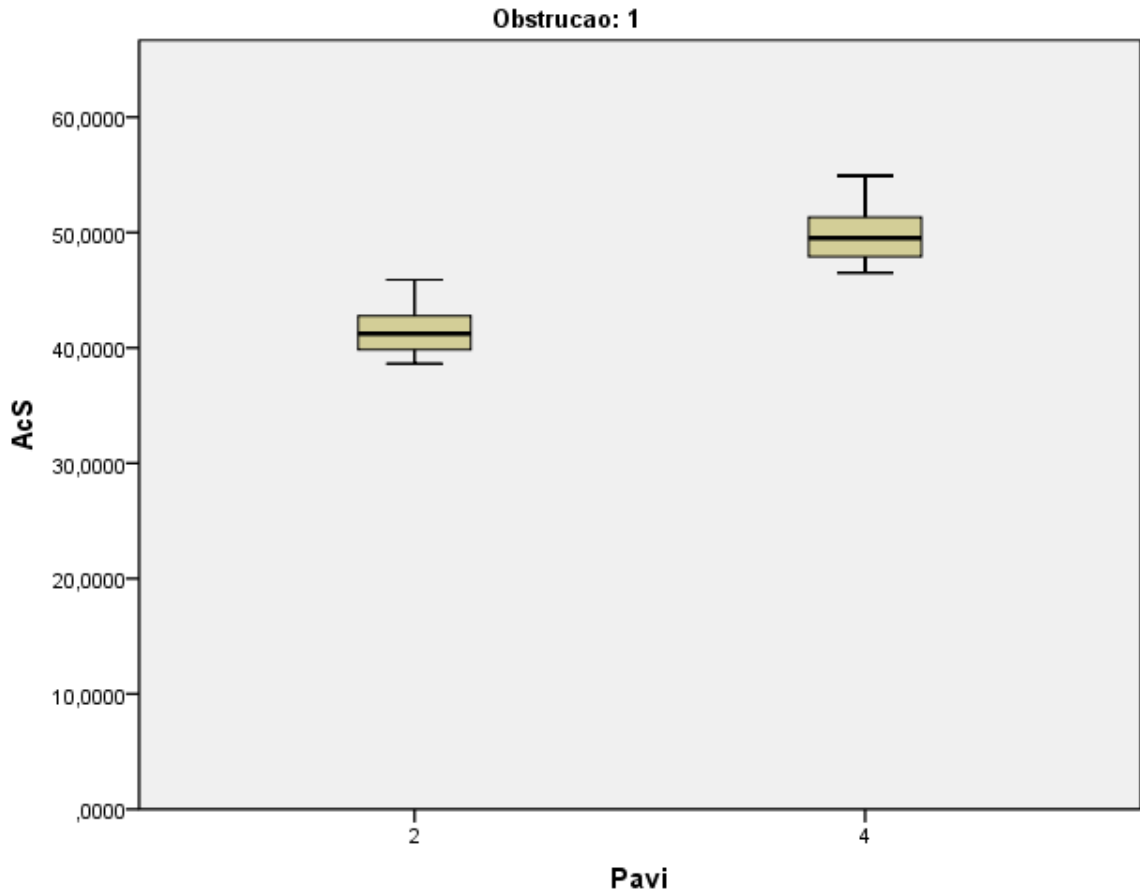
a. Obstrucao = 1

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
AcS	Equal variances assumed	,155	,700	-6,697	14	,000
	Equal variances not assumed			-6,697	13,709	,000

a. Obstrucao = 1

Conclusão: há diferença significativa entre as médias de AcS ao nível de 1% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 1



Obstrução = 2

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AcS	2	8	41,477364	2,3385922	,8268172
	4	8	50,079697	2,7917267	,9870244

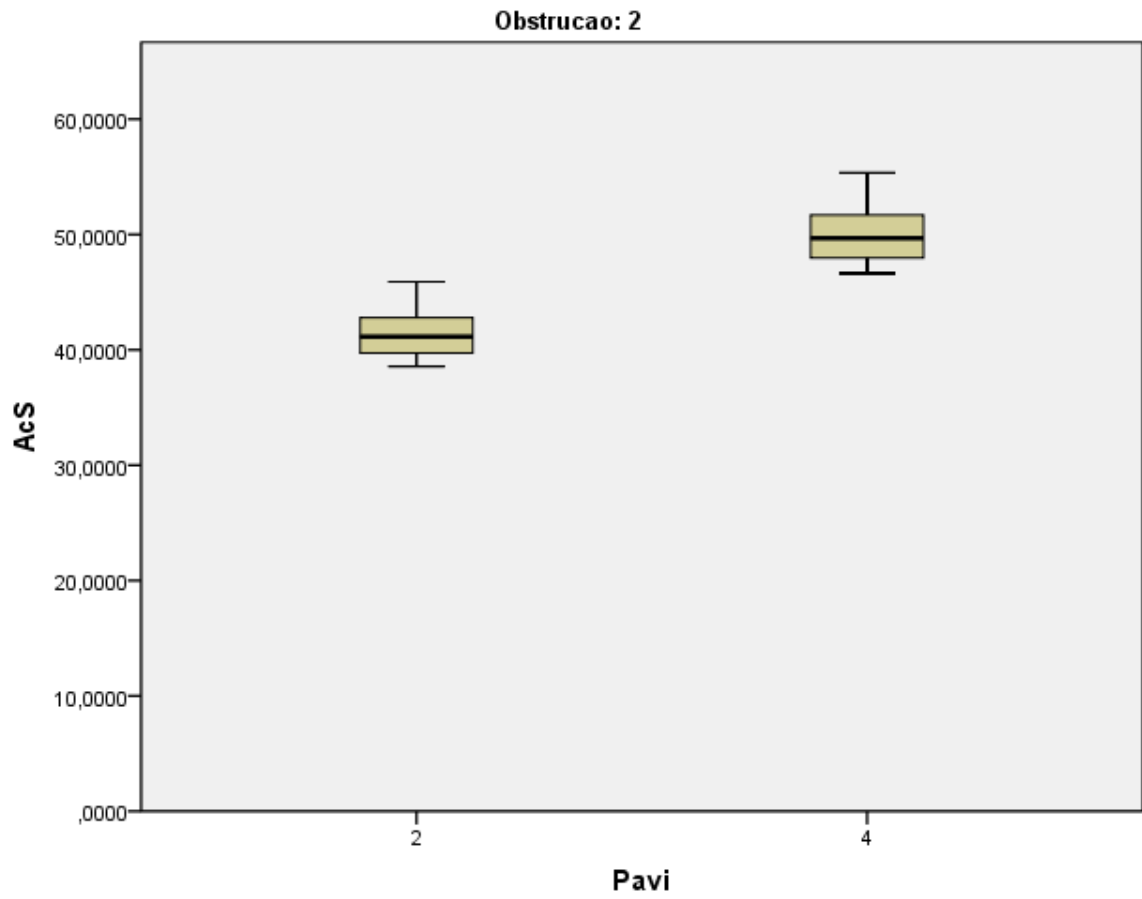
a. Obstrucao = 2

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
AcS	Equal variances assumed	,204	,658	-6,681	14	,000
	Equal variances not assumed			-6,681	13,583	,000

a. Obstrucao = 2

Conclusão: há diferença significativa entre as médias de AcS ao nível de 1% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 2



Obstrução = 3

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AcS	2	8	40,527131	1,7702142	,6258652
	4	8	47,993643	1,9951124	,7053787

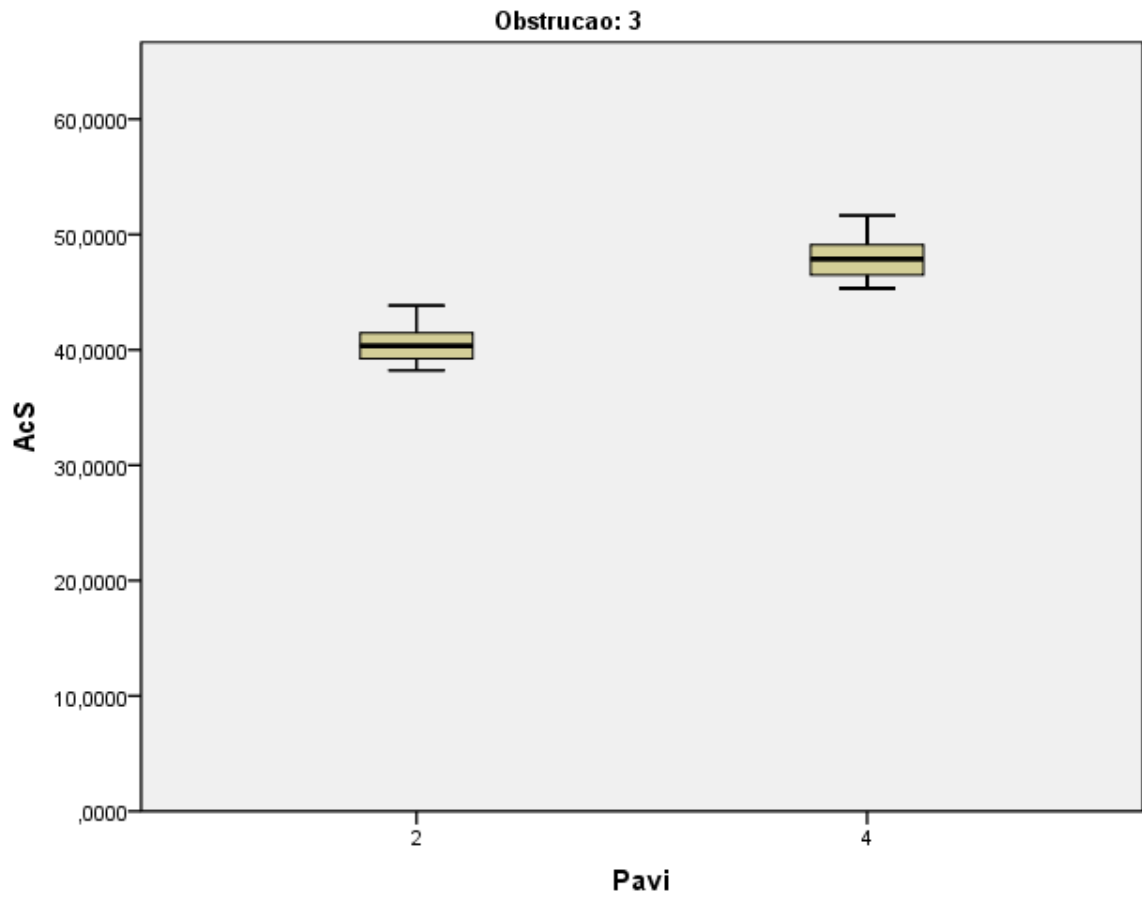
a. Obstrucao = 3

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
AcS	Equal variances assumed	,104	,752	-7,918	14	,000
	Equal variances not assumed			-7,918	13,804	,000

a. Obstrucao = 3

Conclusão: há diferença significativa entre as médias de AcS ao nível de 1% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 3



Obstrução = 4

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AcS	2	8	41,976816	2,6541999	,9384014
	4	8	50,384867	2,9526988	1,0439367

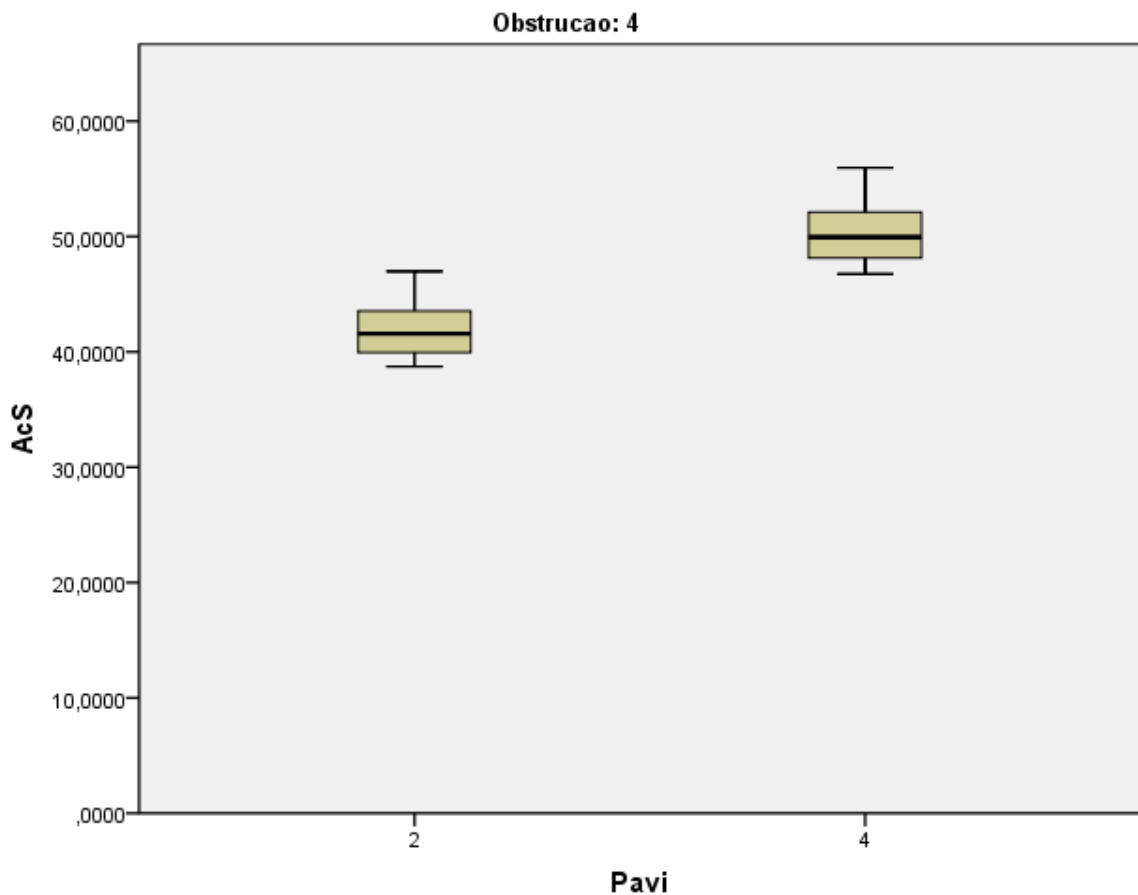
a. Obstrucao = 4

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
AcS	Equal variances assumed	,075	,789	-5,990	14	,000
	Equal variances not assumed			-5,990	13,844	,000

a. Obstrucao = 4

Conclusão: há diferença significativa entre as médias de AcS ao nível de 1% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 4

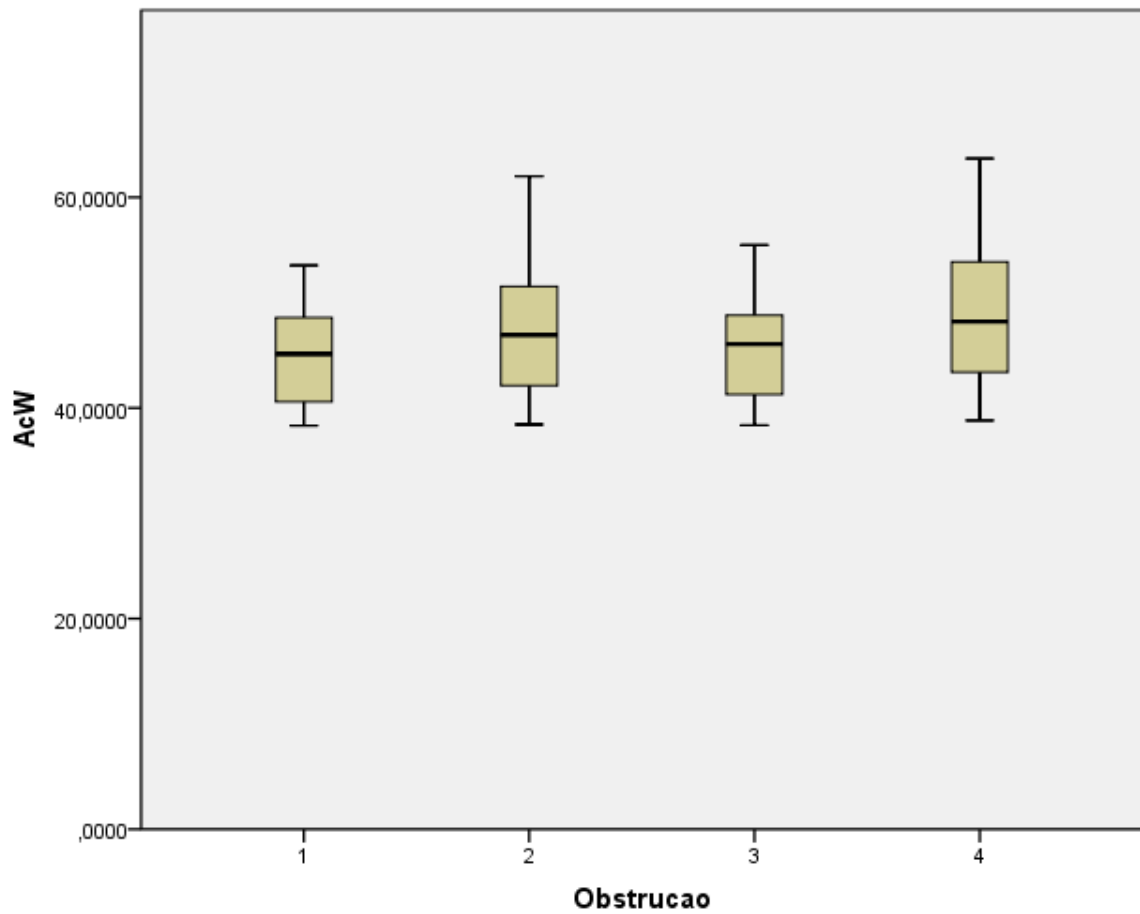


Ar Condicionado Oeste

Comparação por OBSTRUÇÃO (Categorias 1 a 4)

Estatísticas Descritivas

Obstrução	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
1	16	44,866305	4,7179719	1,1794930
2	16	47,657412	6,7839285	1,6959821
3	16	45,625555	4,9694061	1,2423515
4	16	48,888737	7,1217650	1,7804413
Total	64	46,759502	6,0668116	,7583515



Análise de Variância (ANOVA) para comparação das médias

ANOVA

AcW

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	163,359	3	54,453	1,516	,220
Within Groups	2155,432	60	35,924		
Total	2318,791	63			

P-Value (Sig.) > 0,05

Conclusão: não há diferença entre as médias devido a Obstrução.

Comparação por PAVIMENTOS (Categorias 2 e 4)

Group Statistics

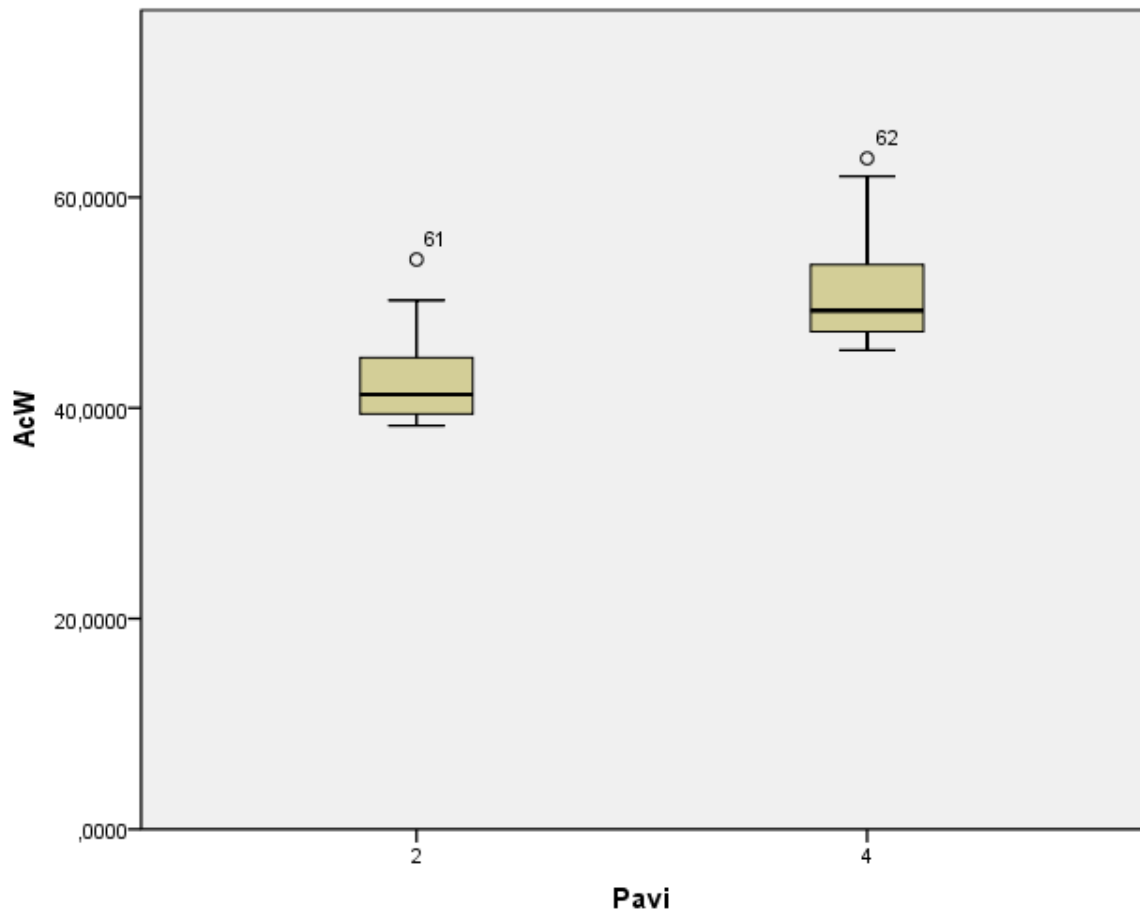
	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AcW	2	32	42,559472	3,9544464	,6990540
	4	32	50,959532	4,7690113	,8430501

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
AcW	Equal variances assumed	1,091	,300	-7,670	62	,000
	Equal variances not assumed			-7,670	59,945	,000

Conclusão: considerando todas as obstruções, a média de AcS é menor para o caso de 2 pavimentos (média = 42,55) do que o caso de 4 pavimentos (média = 50,95) ao nível de 1%

Obs.: a distribuição de AcW possui *outliers* (pontos fora do esperado) para as duas categorias, 2 e 4 pavimentos.



Comparação de PAVIMENTOS por OBSTRUÇÃO

Obstrução = 1

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AcW	2	8	40,803186	1,9364228	,6846288
	4	8	48,929425	2,4927826	,8813317

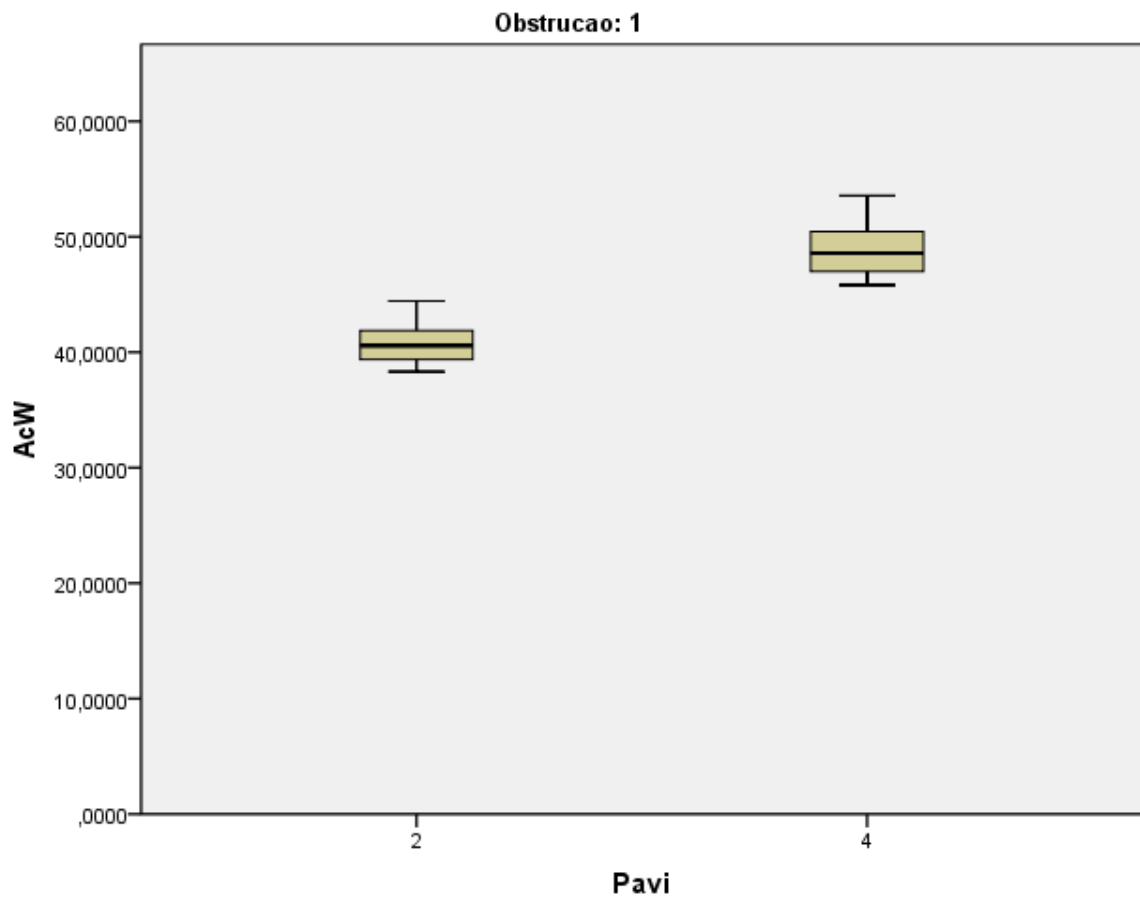
a. Obstrucao = 1

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
AcW	Equal variances assumed	,437	,520	-7,282	14	,000
	Equal variances not assumed			-7,282	13,193	,000

a. Obstrucao = 1

Conclusão: há diferença significativa entre as médias de AcS ao nível de 1% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 1



Obstrução = 2

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AcW	2	8	42,977024	4,1583299	1,4701917
	4	8	52,337800	5,5906410	1,9765901

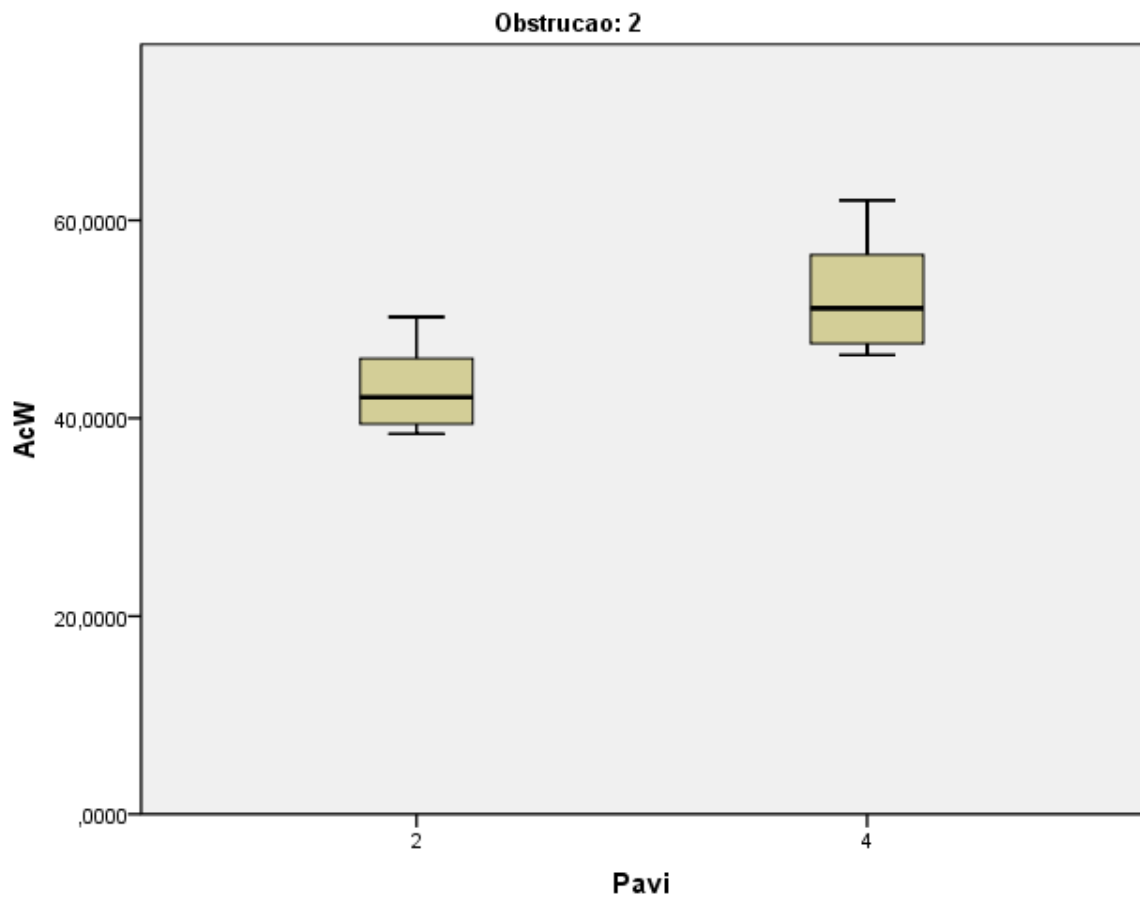
a. Obstrucao = 2

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
AcW	Equal variances assumed	1,103	,311	-3,800	14	,002
	Equal variances not assumed			-3,800	12,930	,002

a. Obstrucao = 2

Conclusão: há diferença significativa entre as médias de AcS ao nível de 1% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 2



Obstrução = 3

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AcW	2	8	41,845643	3,0027201	1,0616219
	4	8	49,405467	3,3531836	1,1855294

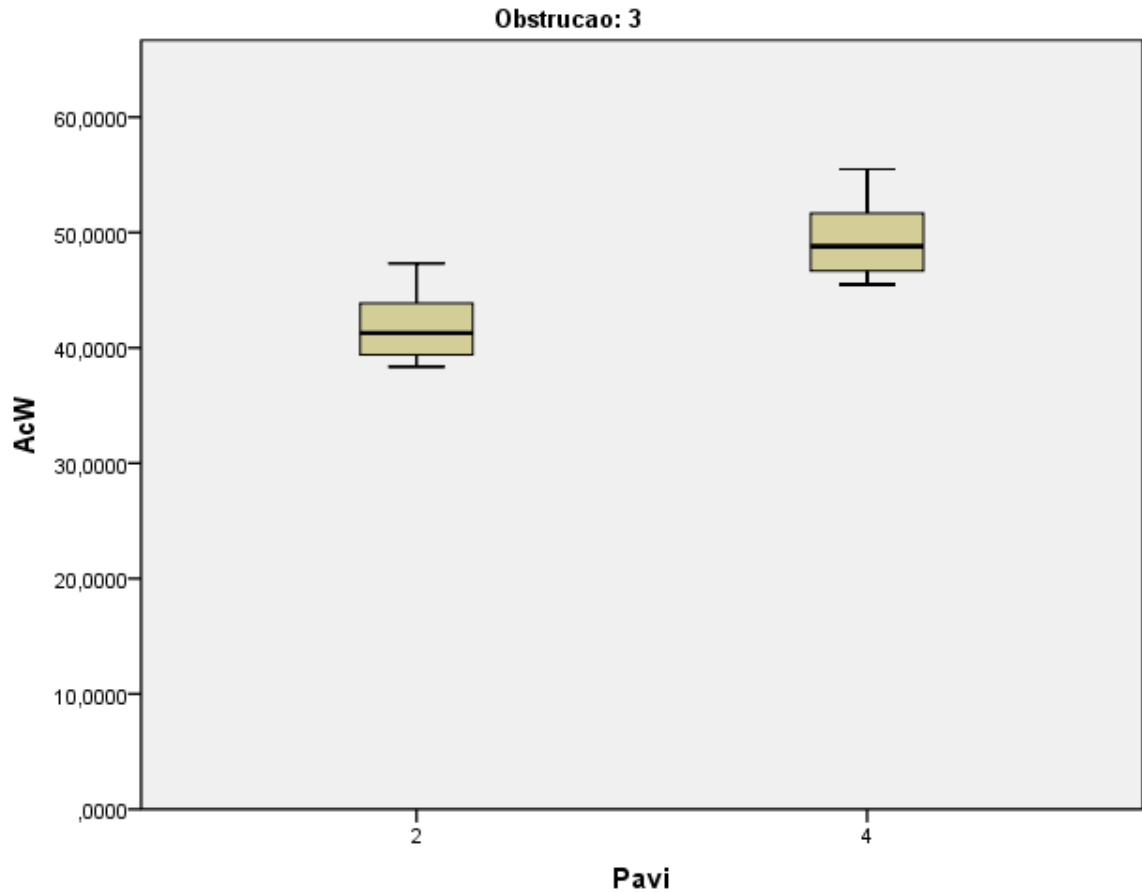
a. Obstrucao = 3

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
AcW	Equal variances assumed	,107	,749	-4,750	14	,000
	Equal variances not assumed			-4,750	13,833	,000

a. Obstrucao = 3

Conclusão: há diferença significativa entre as médias de AcS ao nível de 1% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 3



Obstrução = 4

Group Statistics^a

	Pavi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AcW	2	8	44,612035	5,4838853	1,9388462
	4	8	53,165438	6,0667624	2,1449244

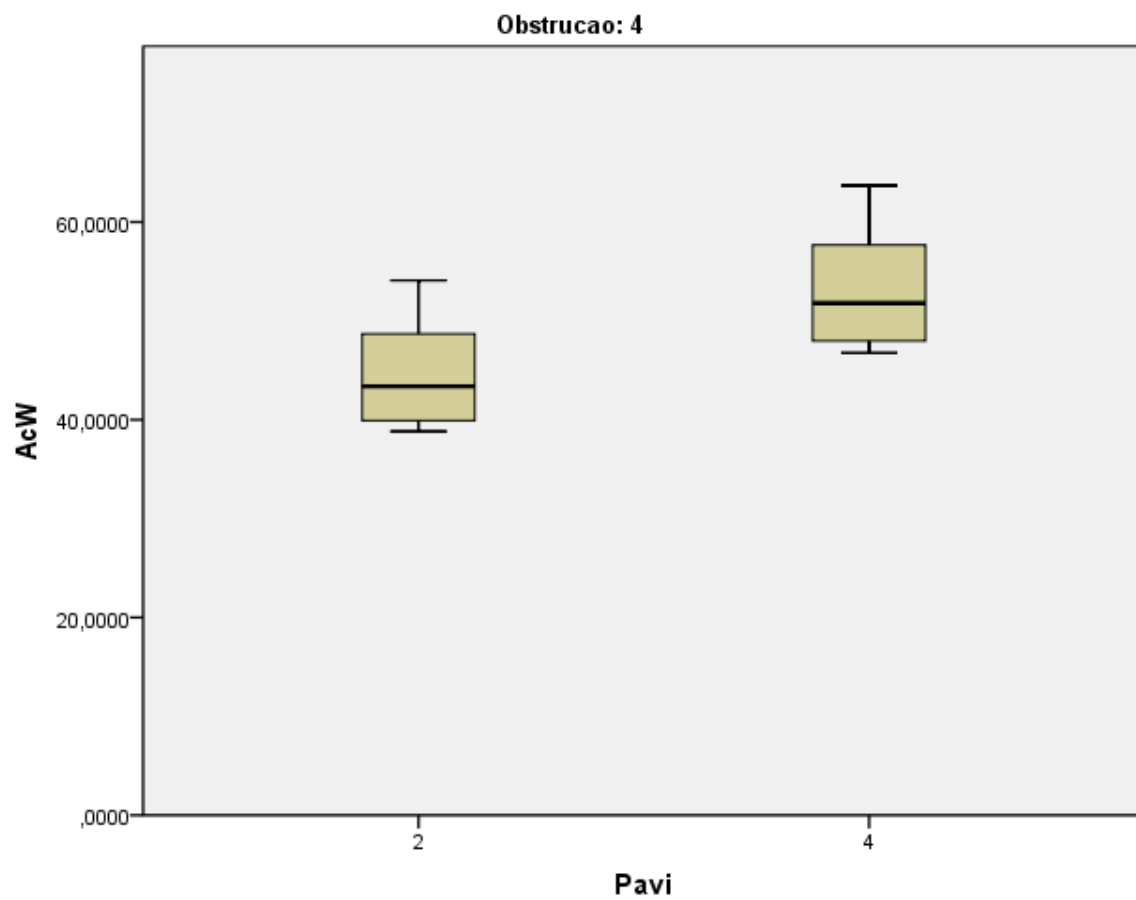
a. Obstrucao = 4

Independent Samples Test^a

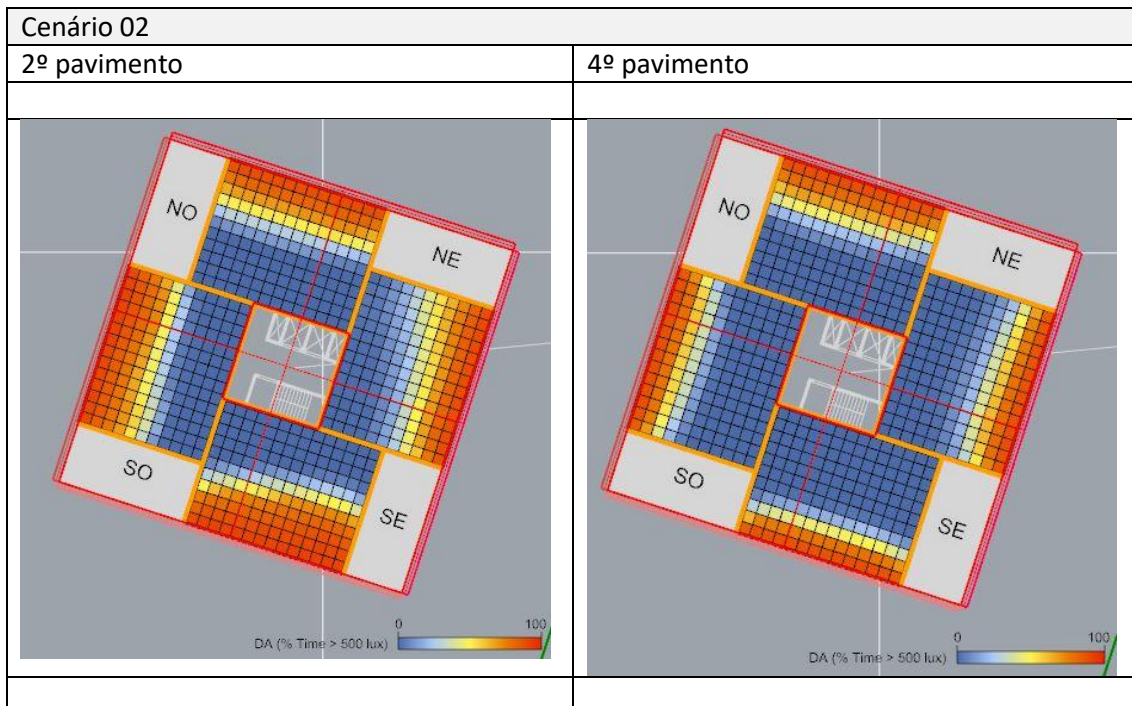
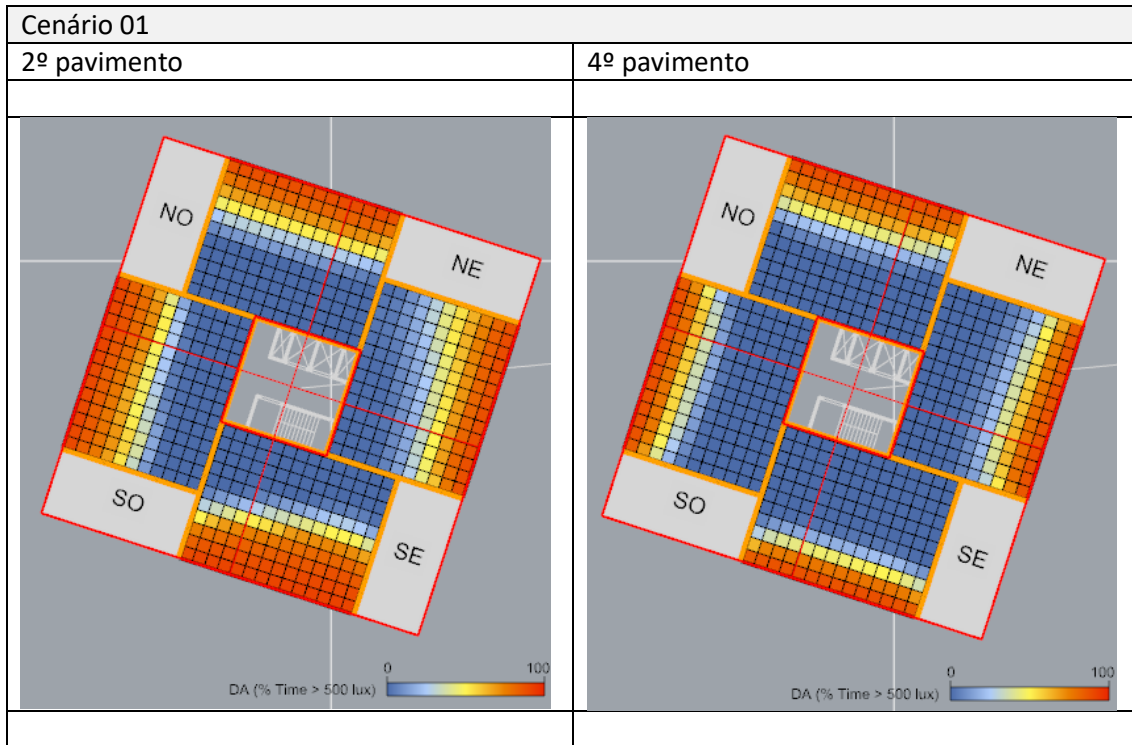
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
AcW	Equal variances assumed	,121	,734	-2,958	14	,010
	Equal variances not assumed			-2,958	13,860	,010

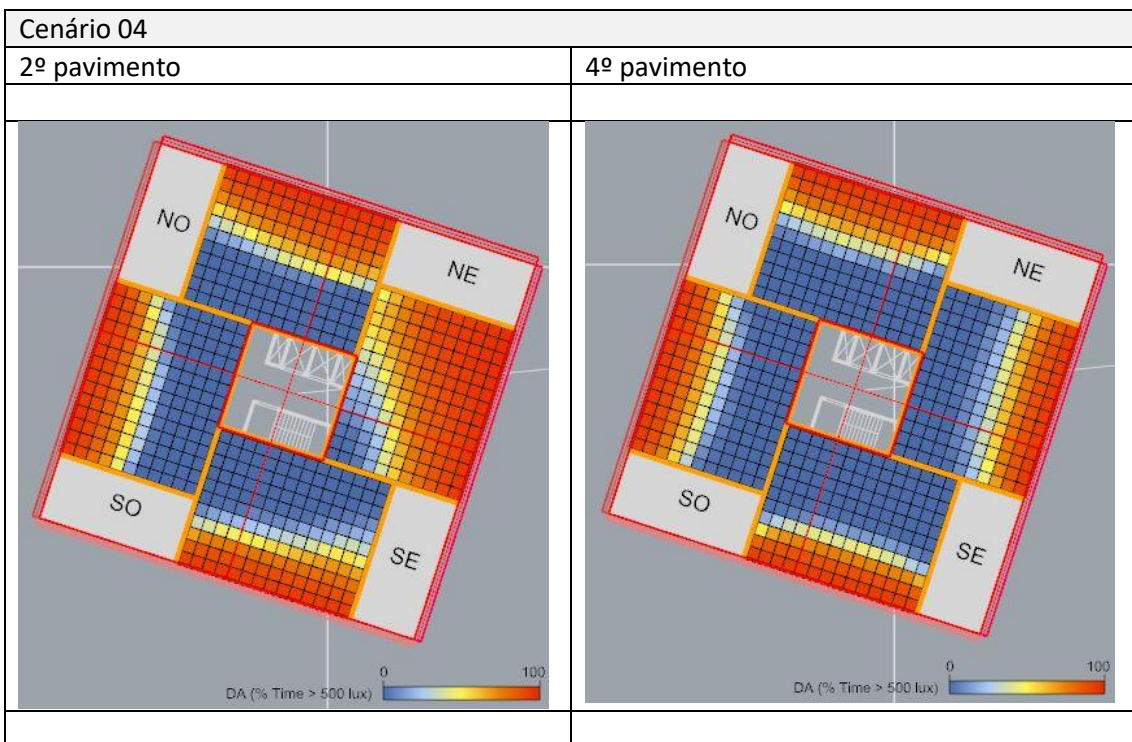
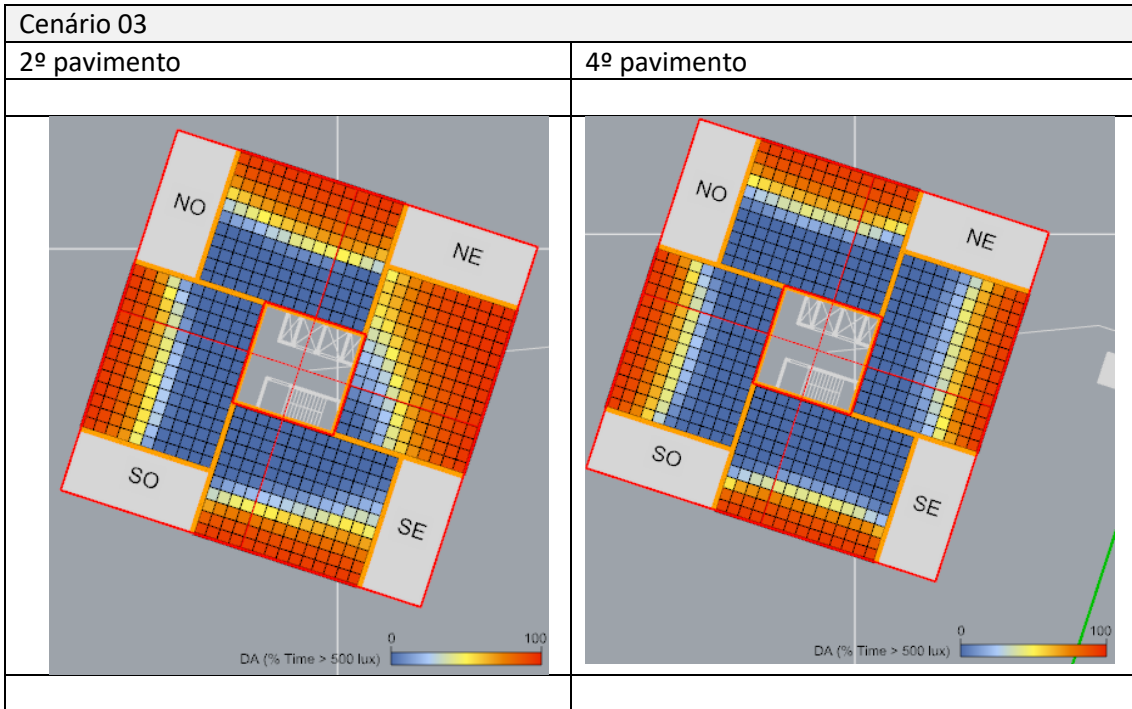
a. Obstrucao = 4

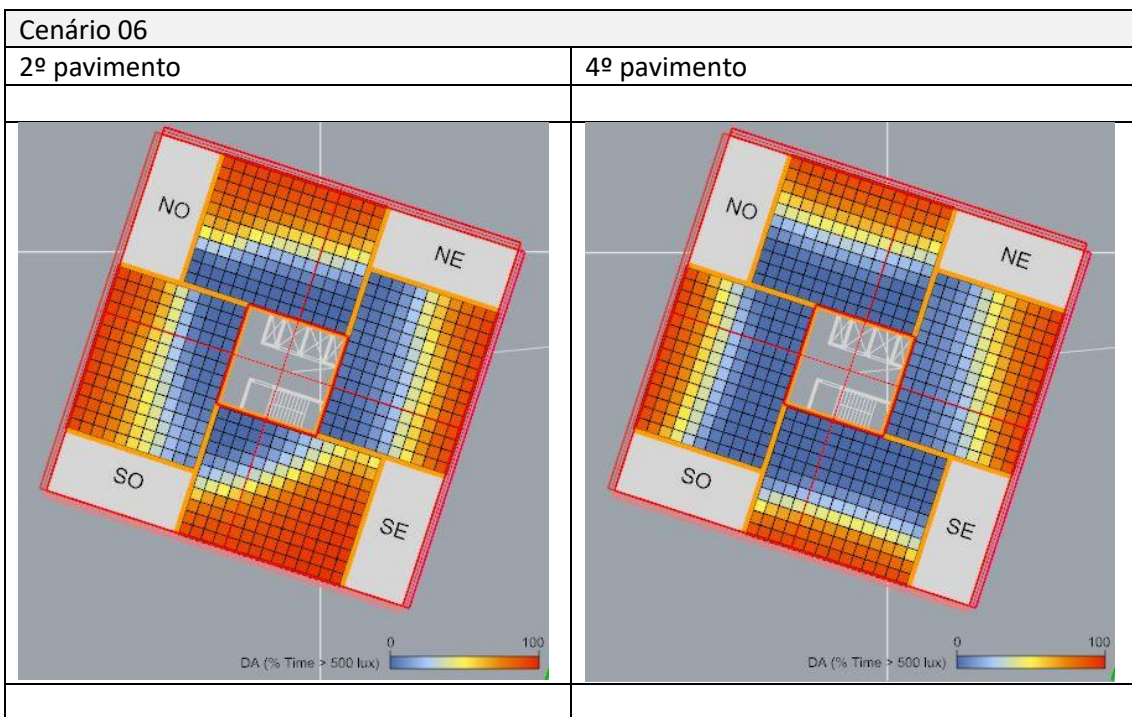
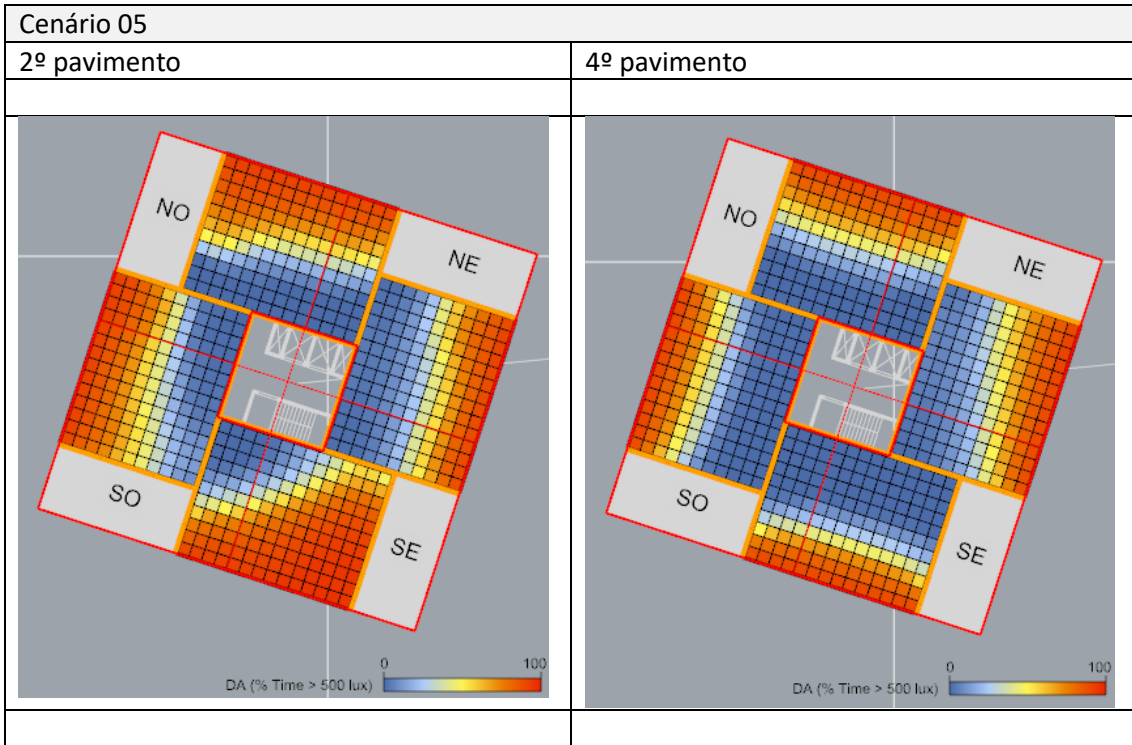
Conclusão: há diferença significativa entre as médias de AcS ao nível de 5% devido a PAVI para o caso de Obstrução = 4

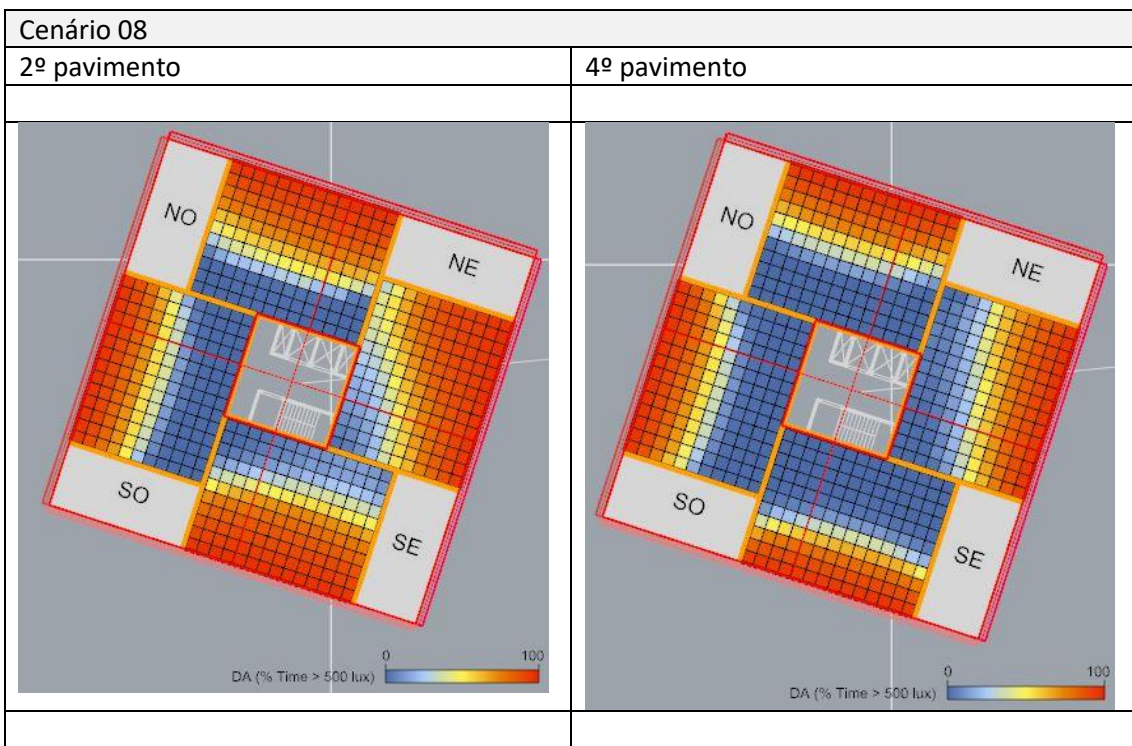
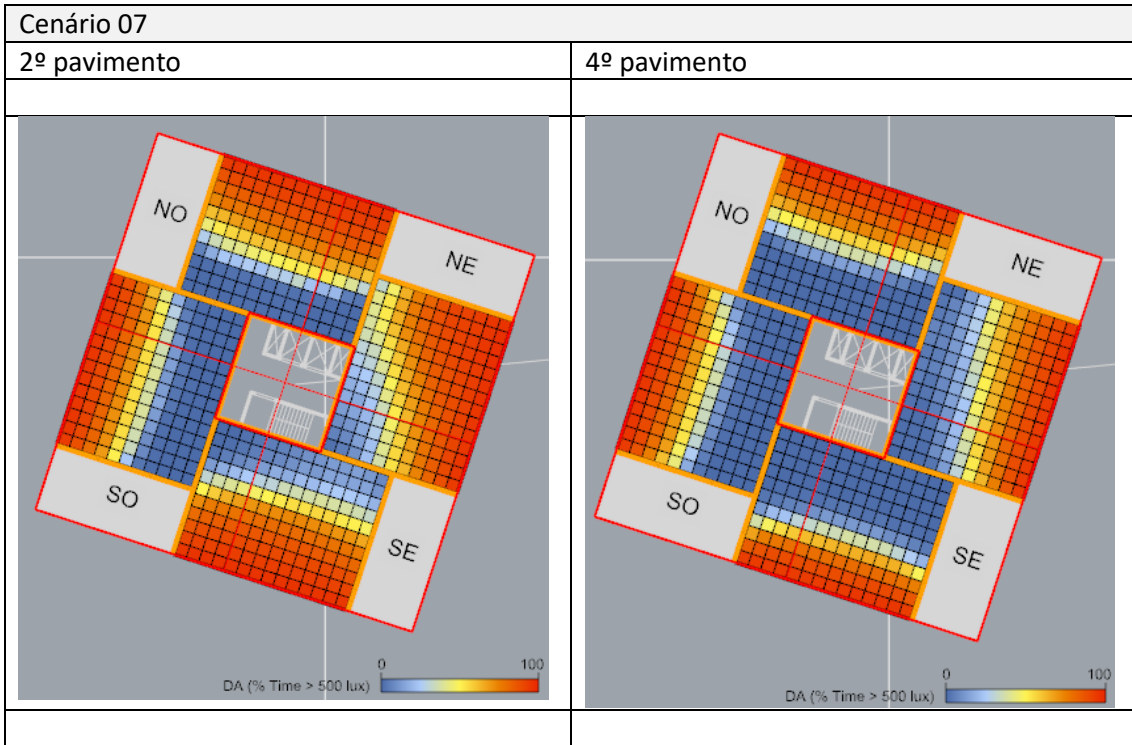


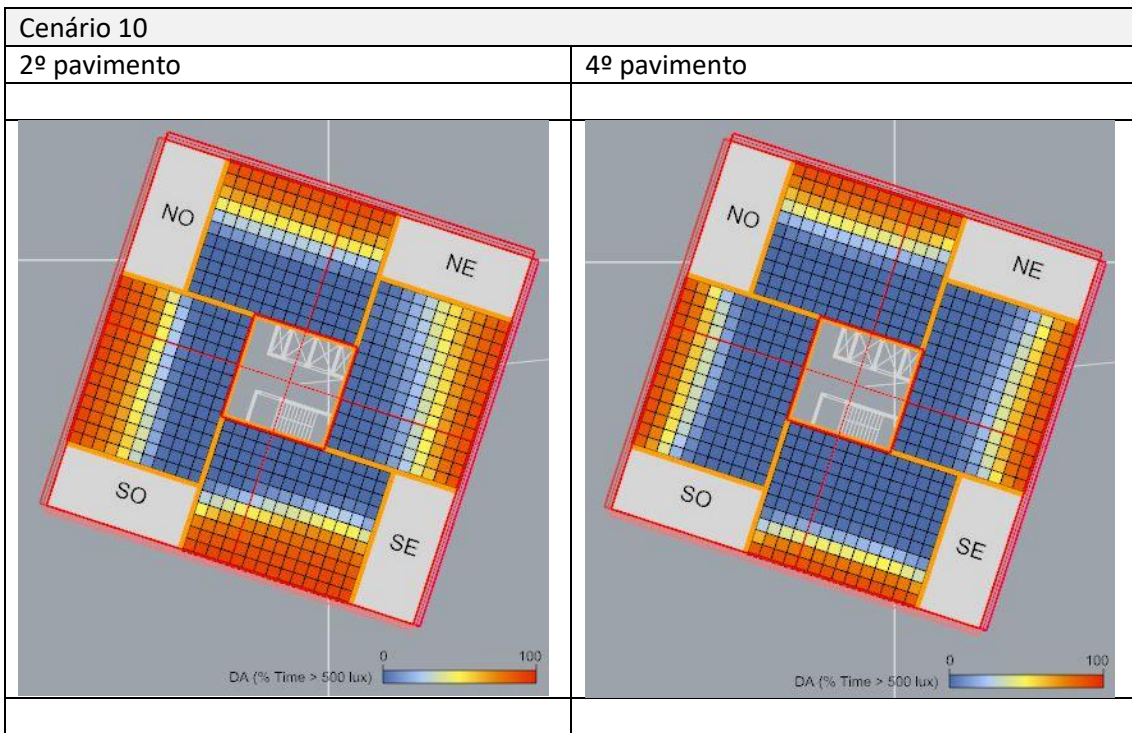
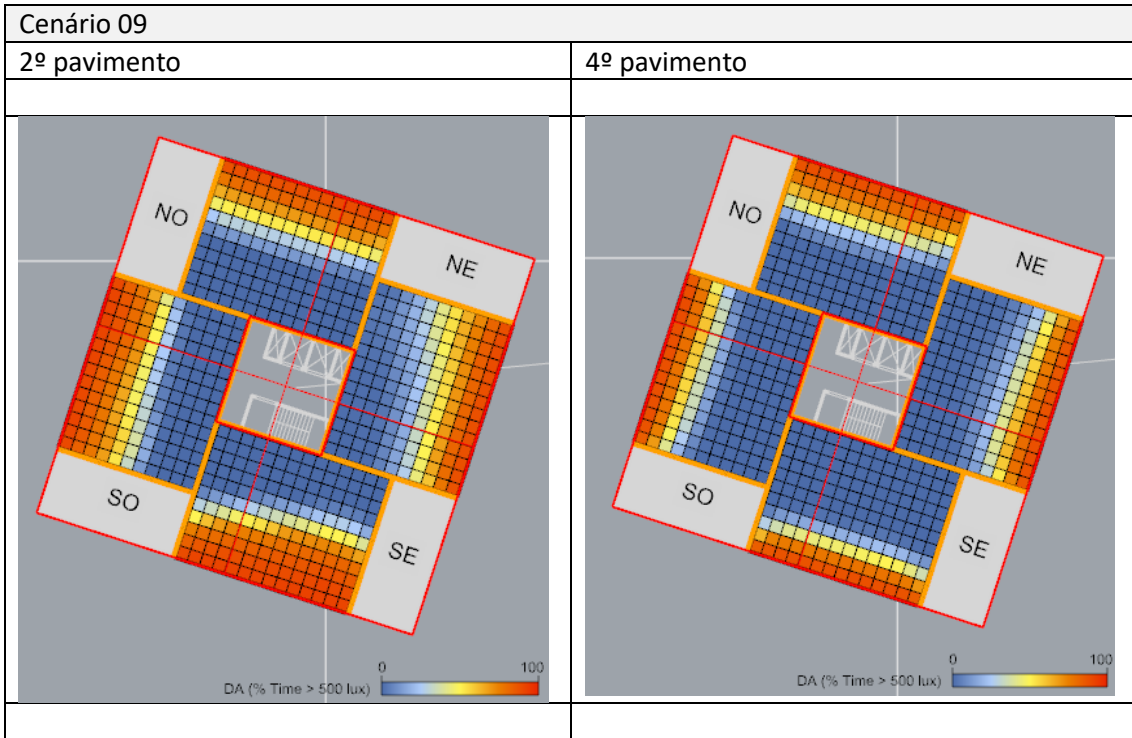
Anexo C – Autonomia de luz natural (cenários 1 a 32)

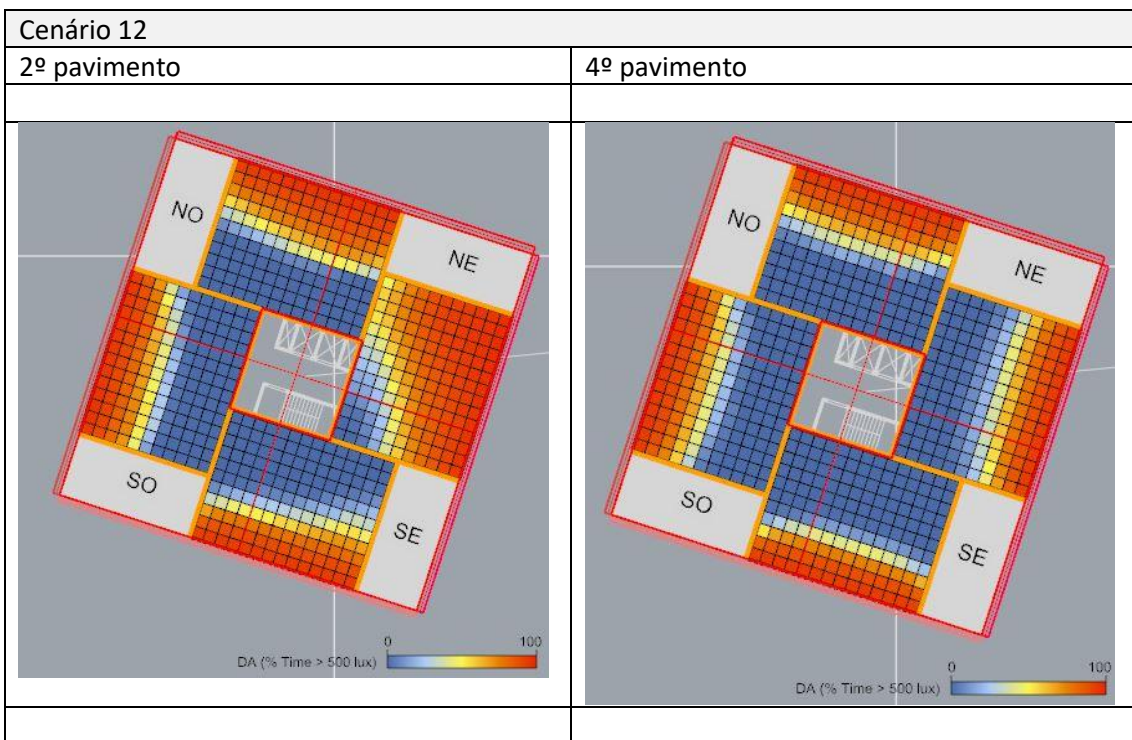
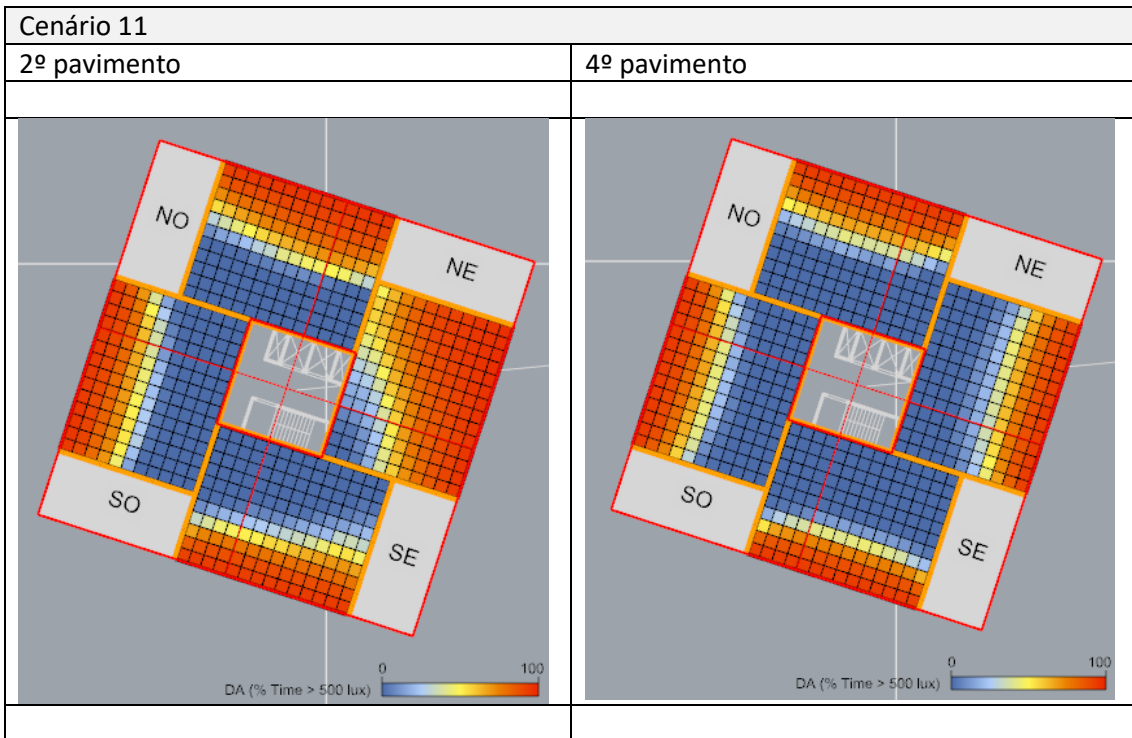


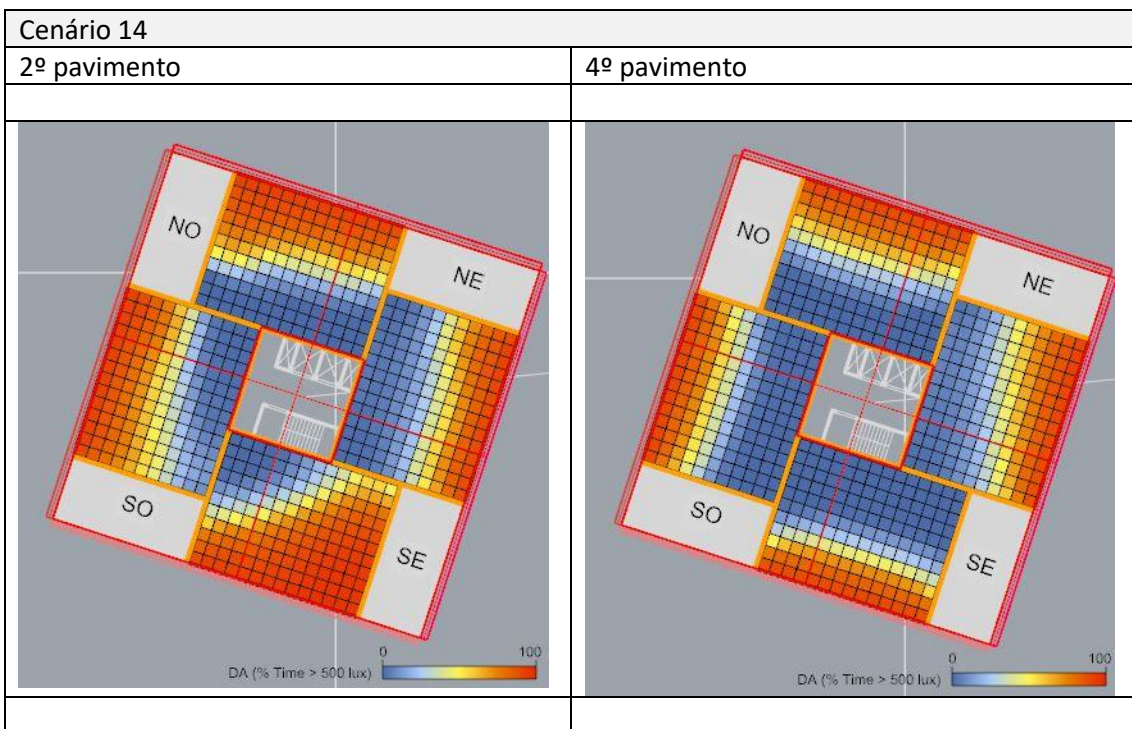
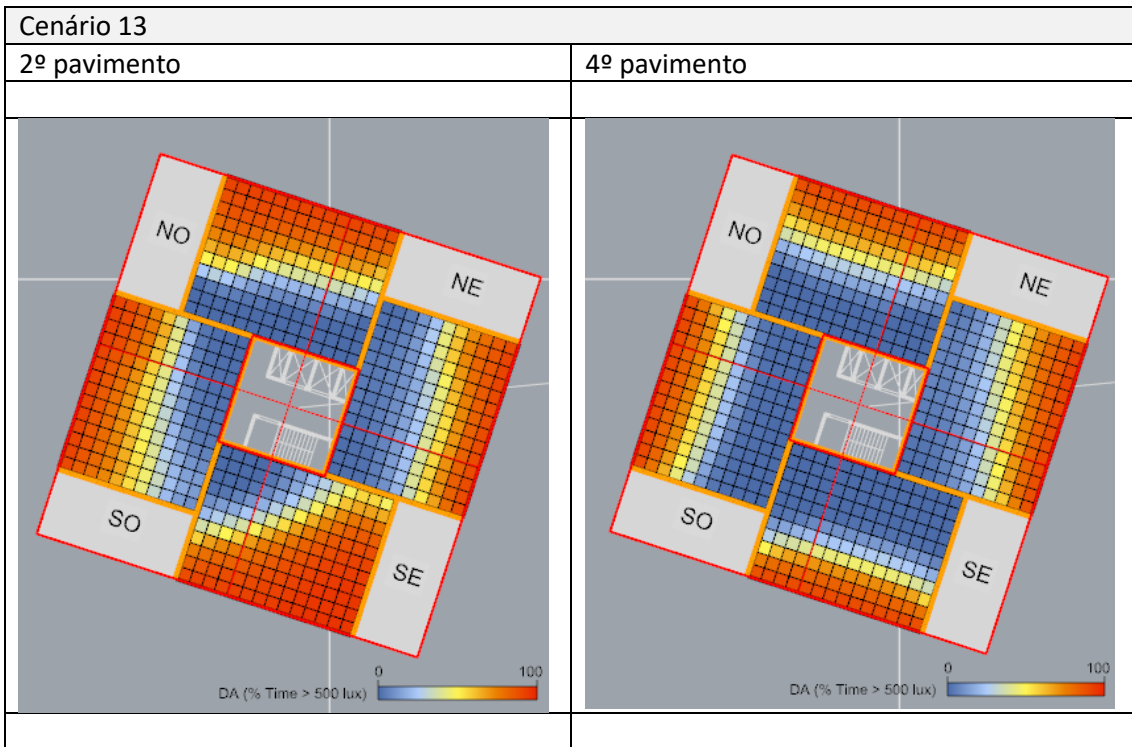


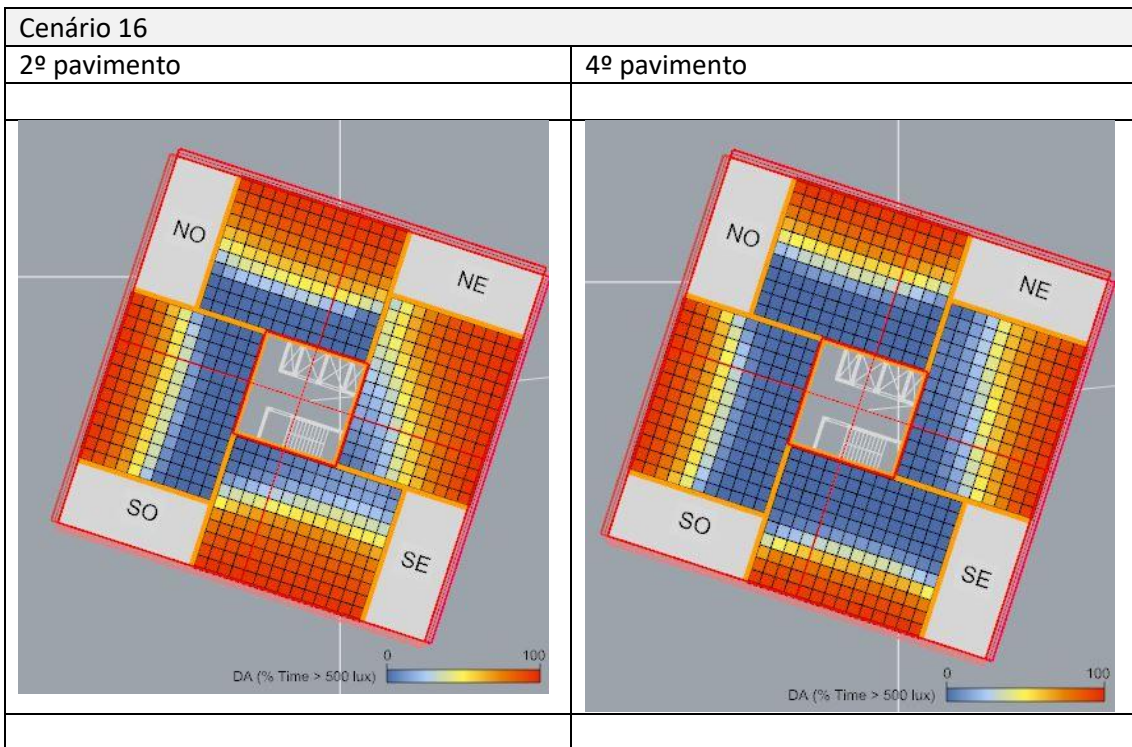
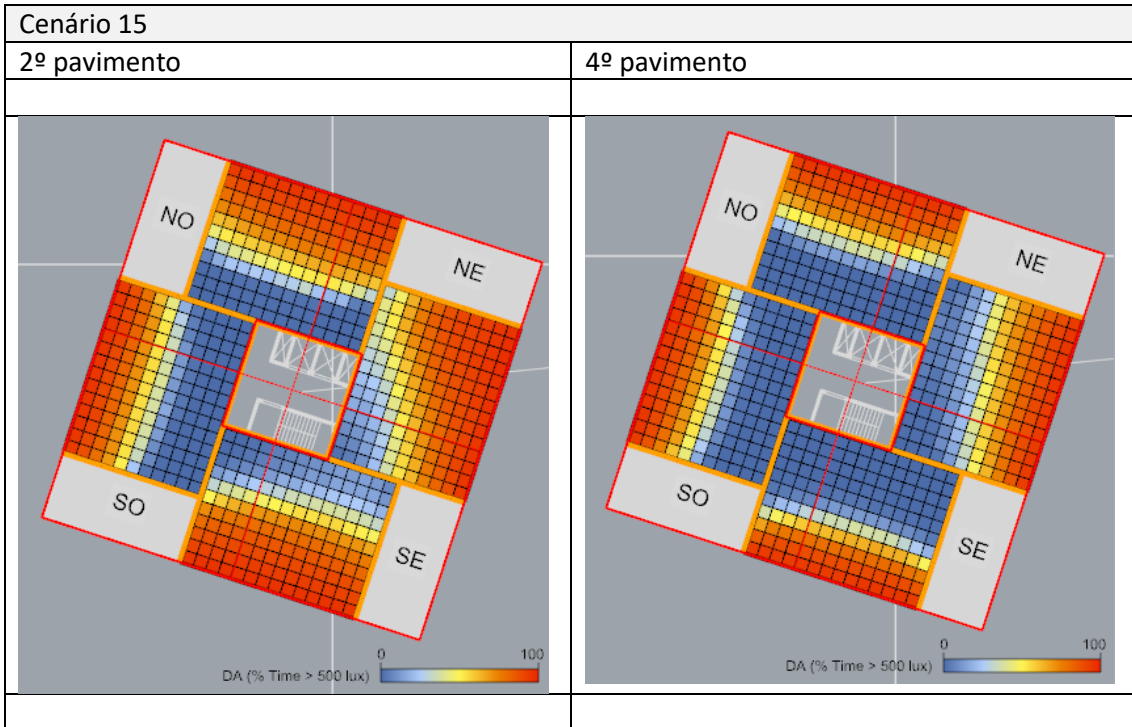


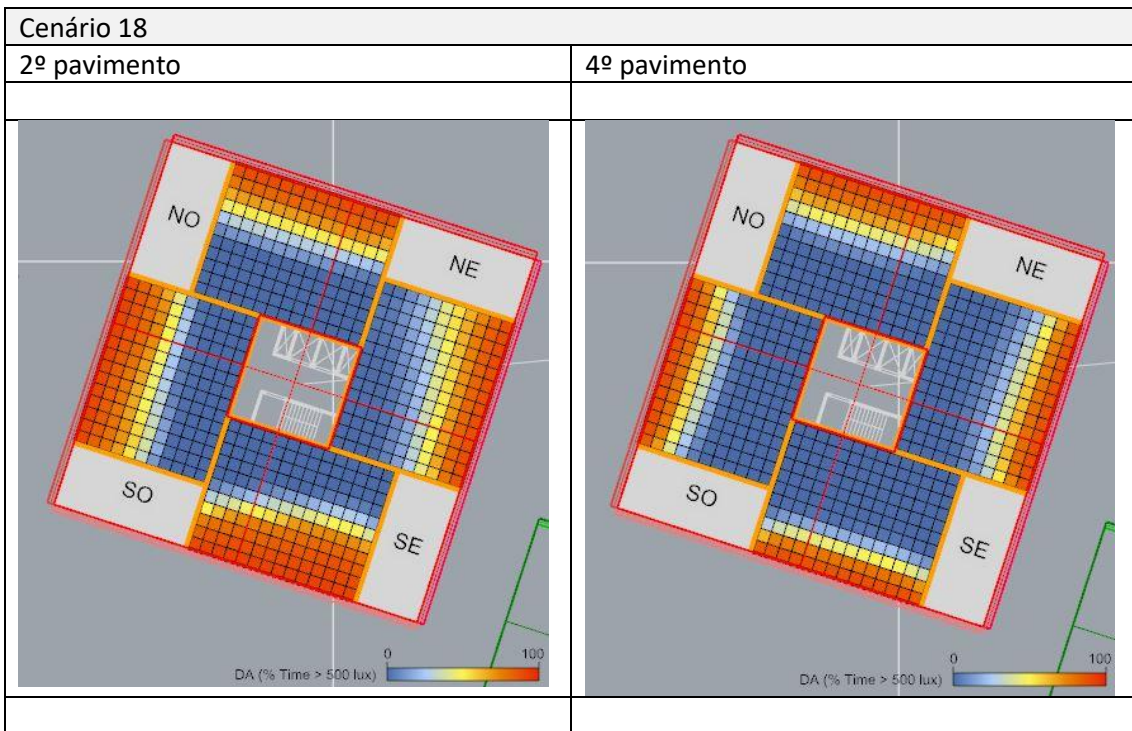
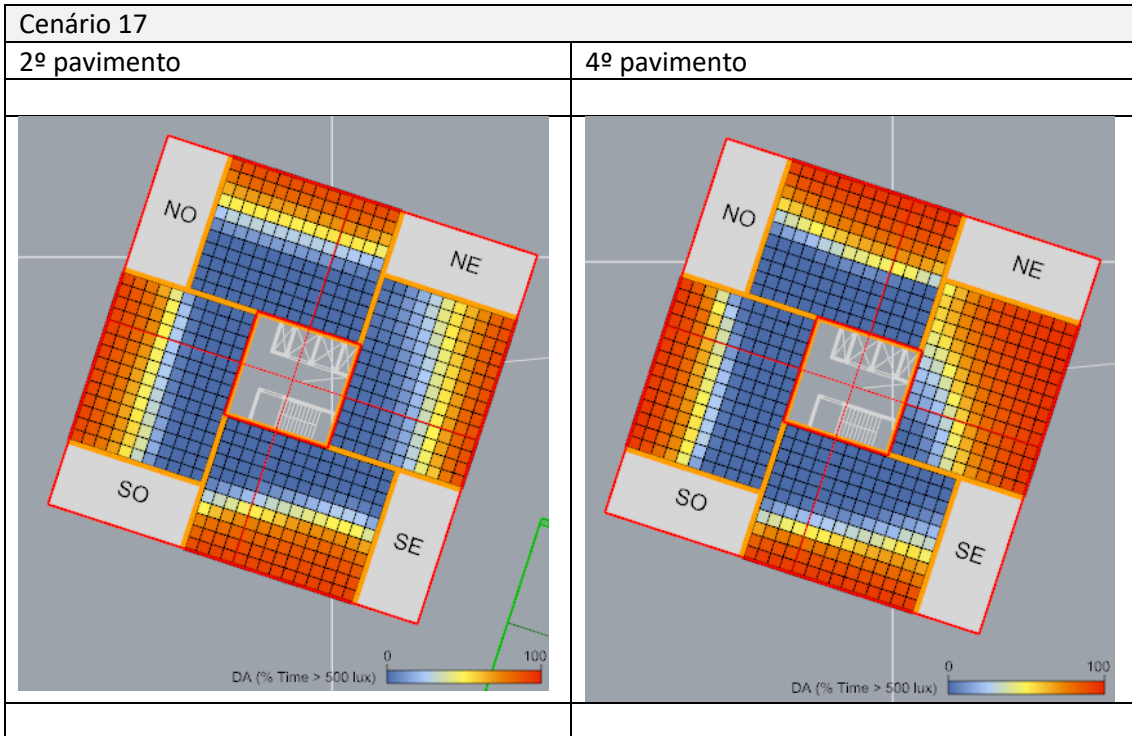


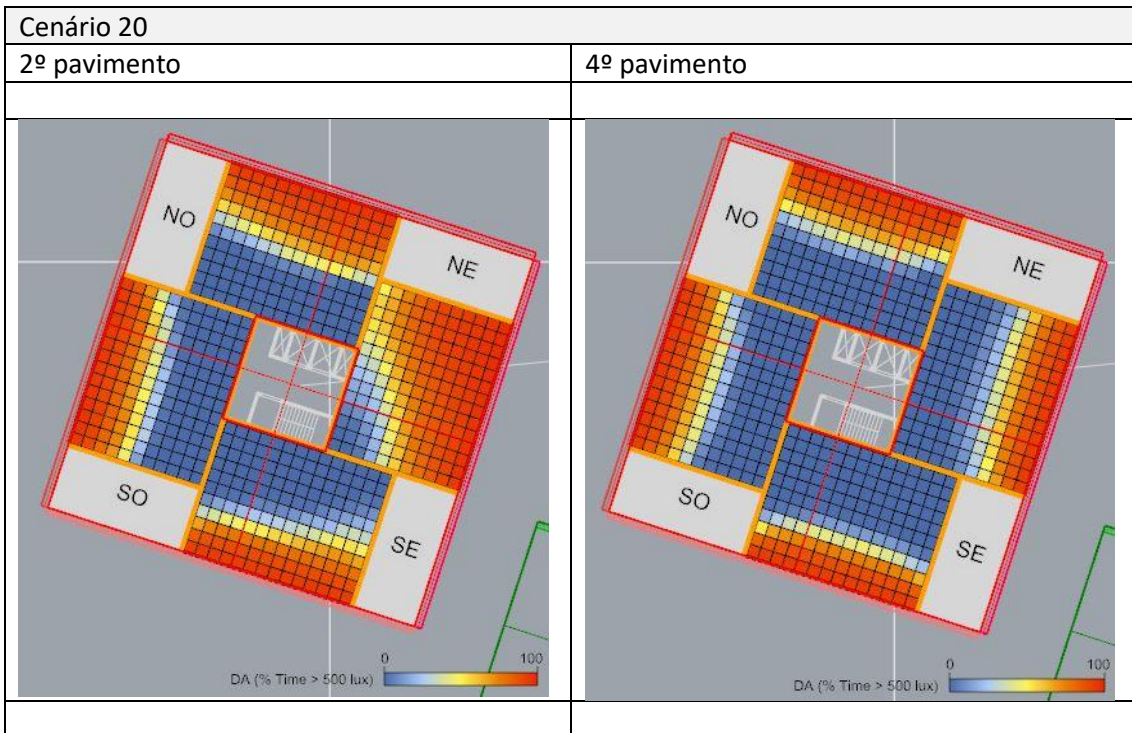
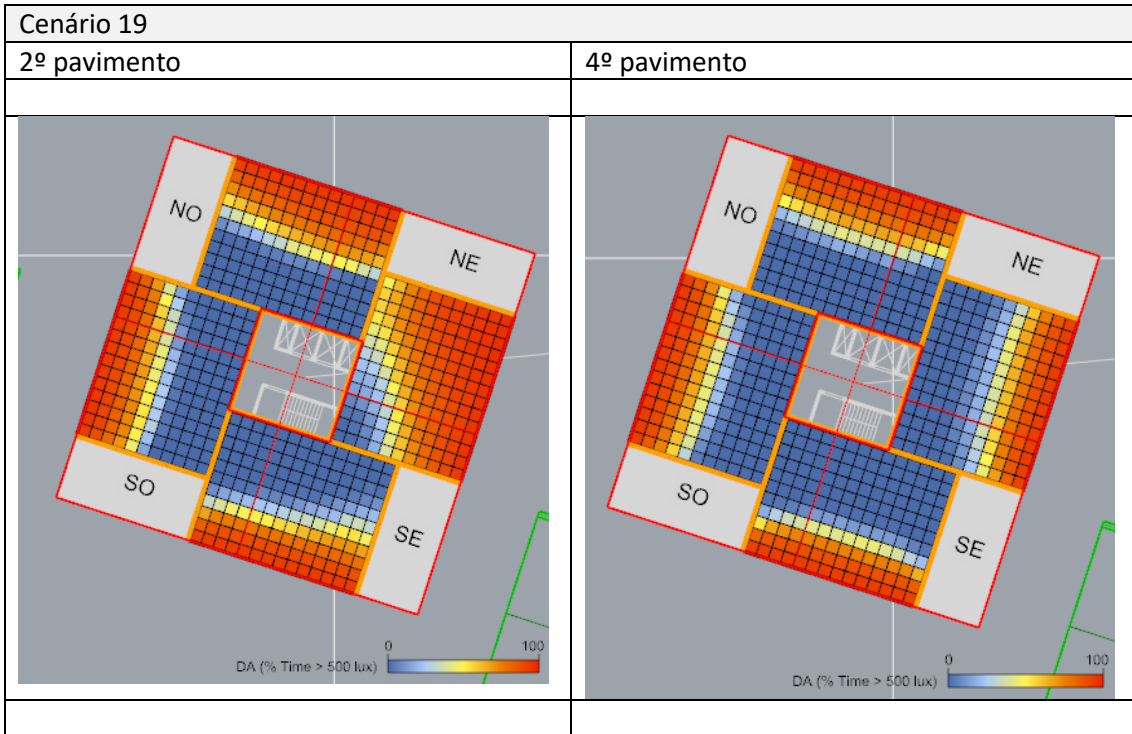


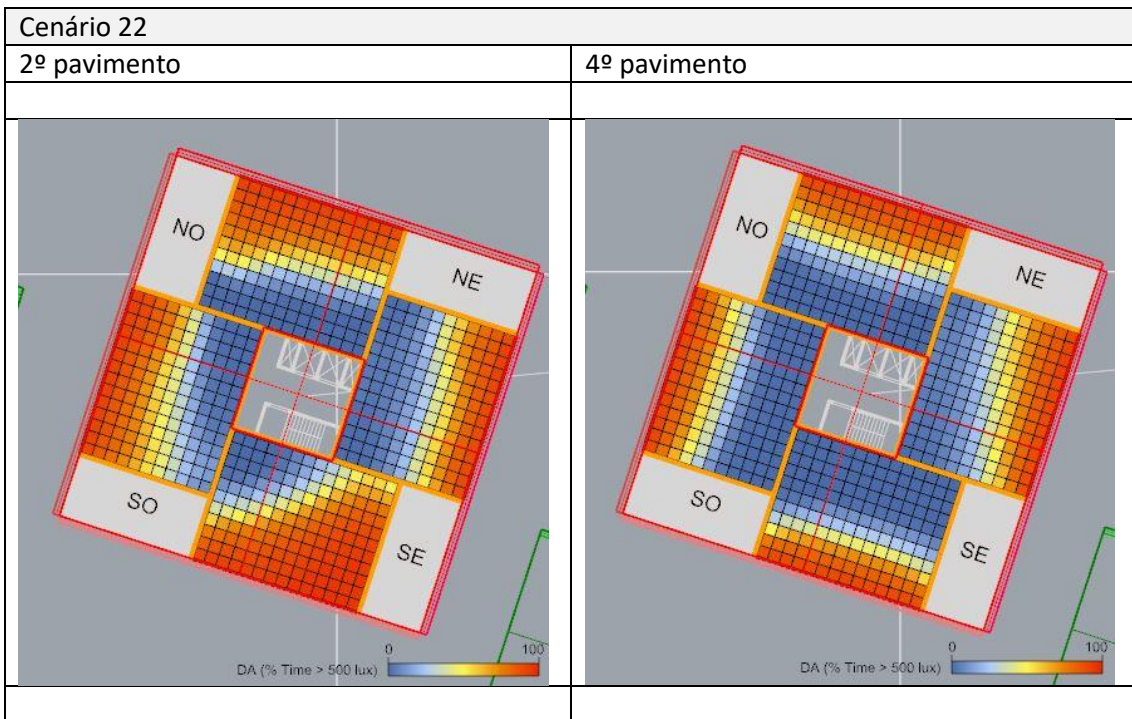
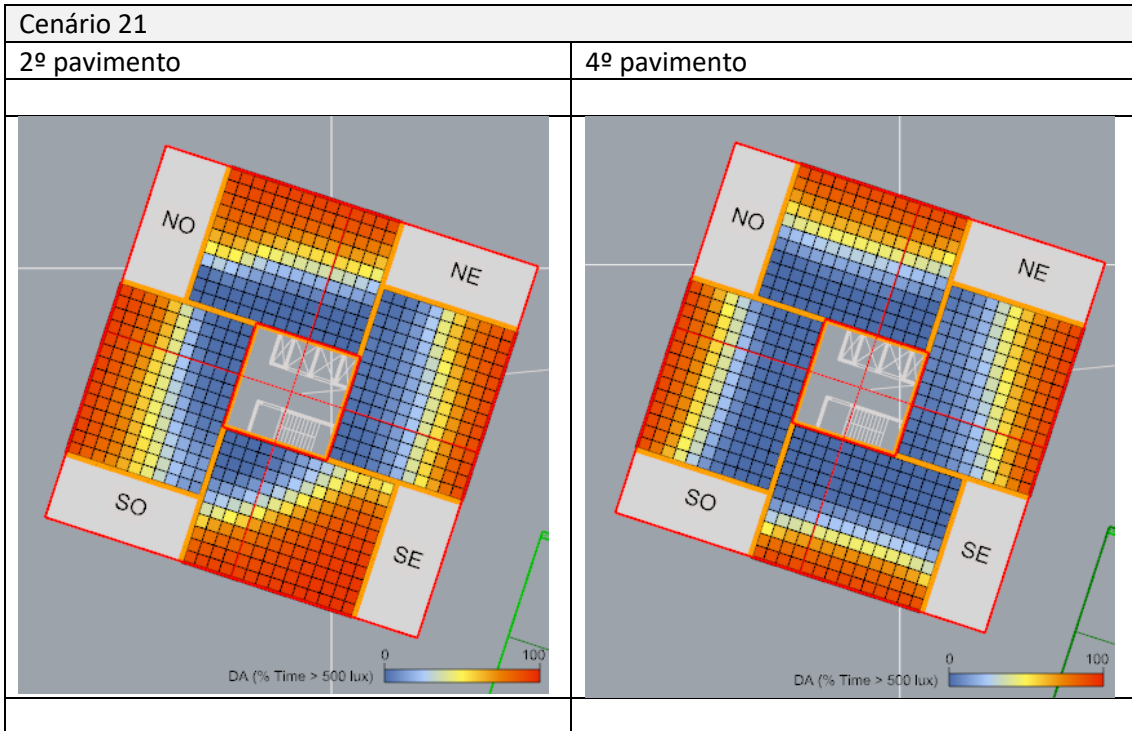


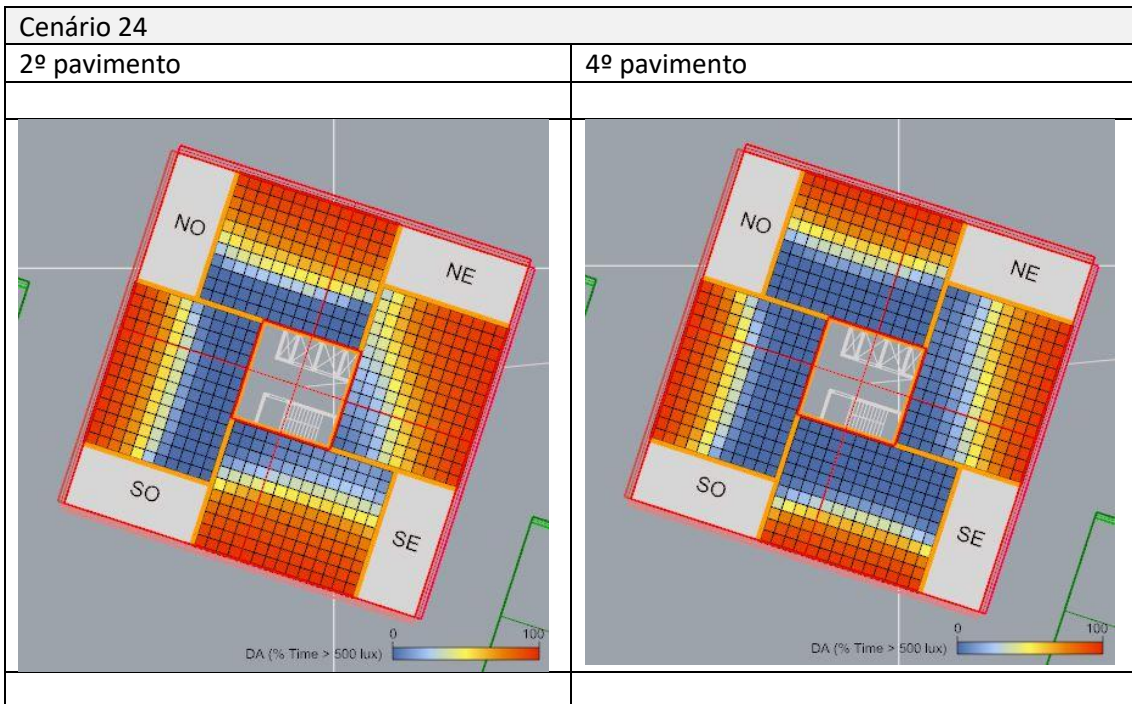
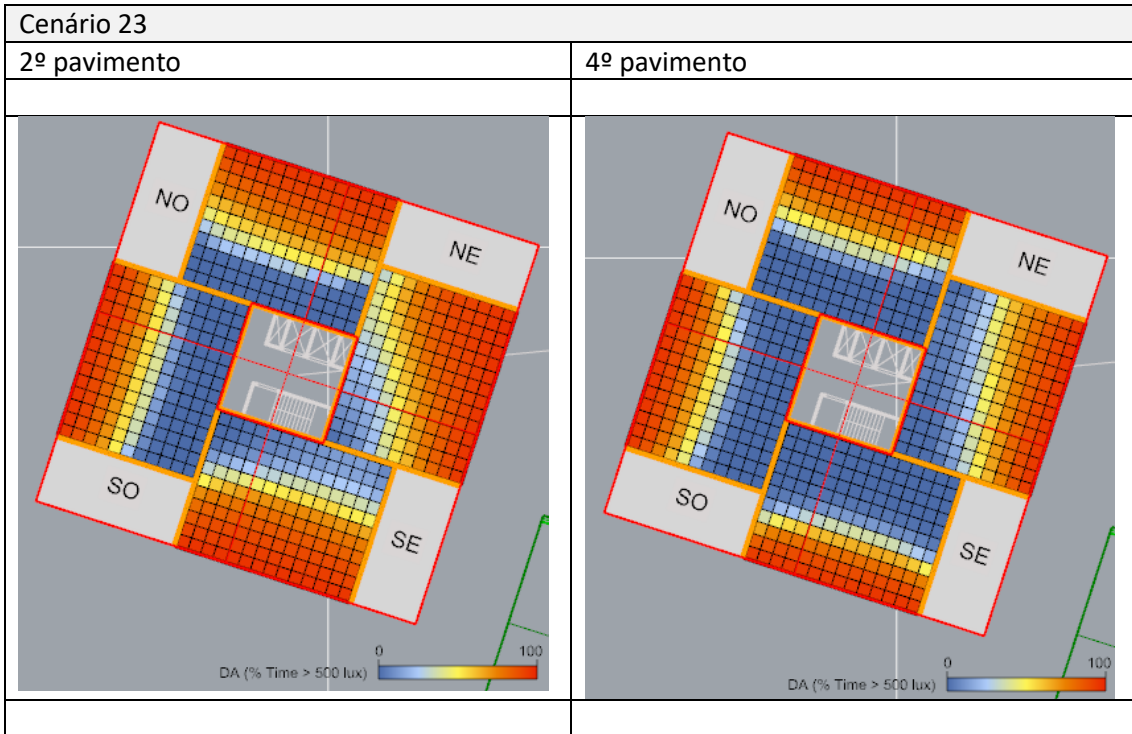


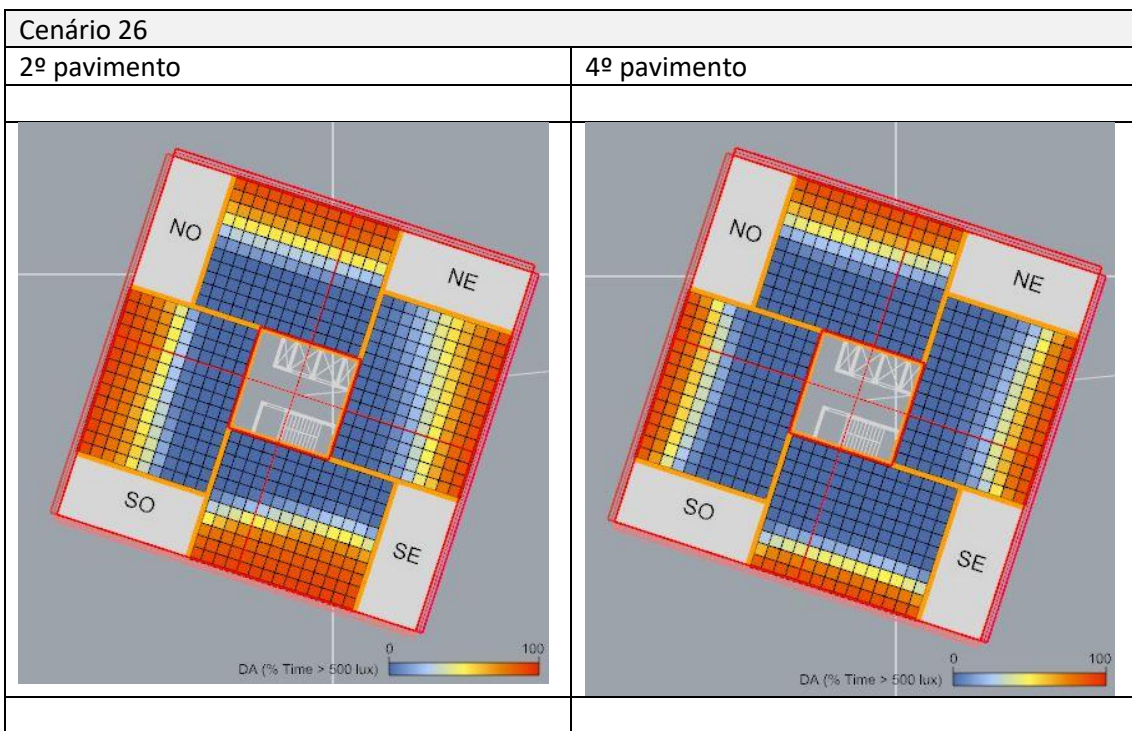
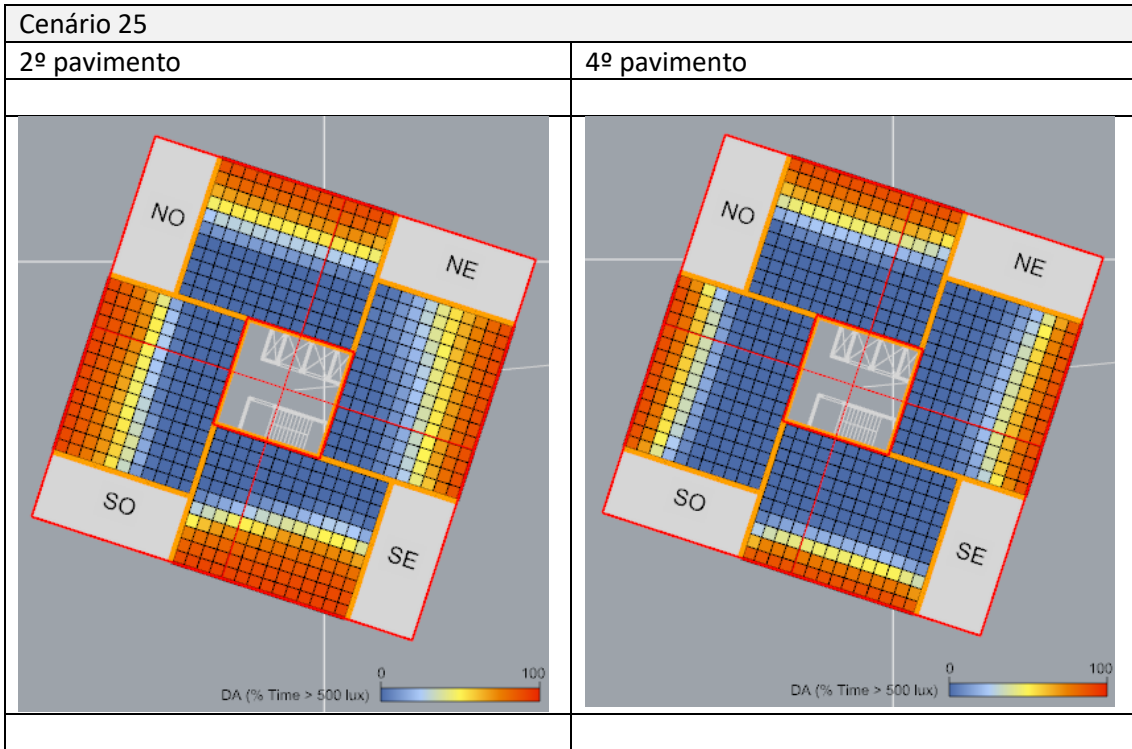


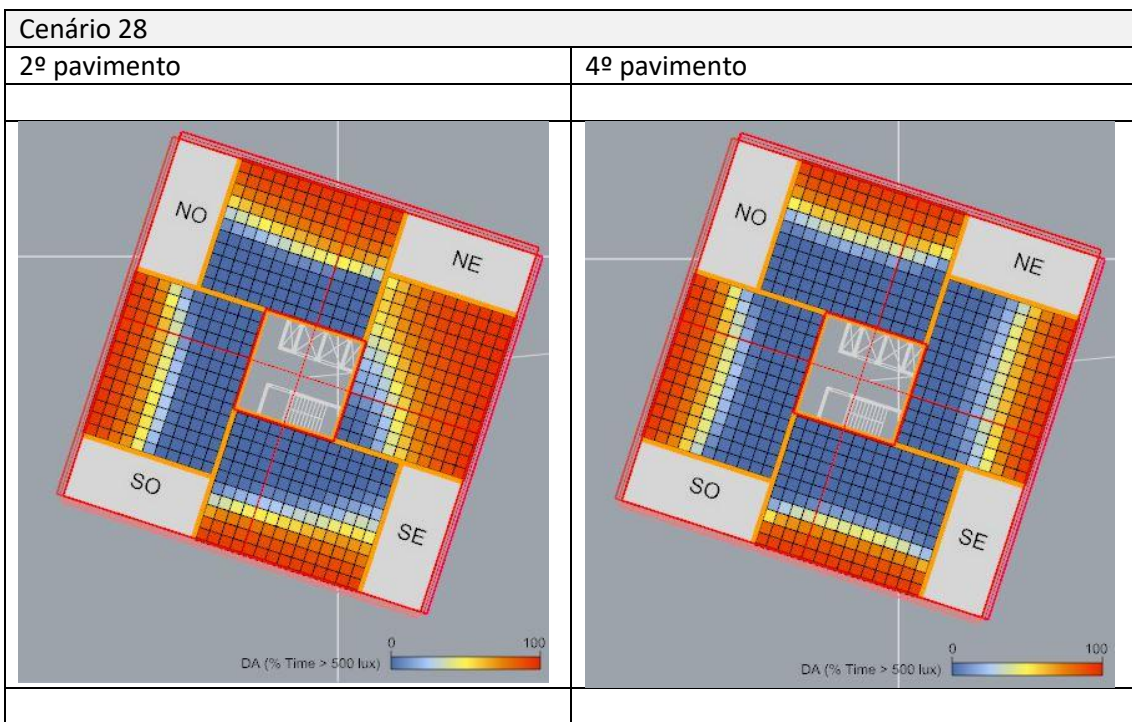
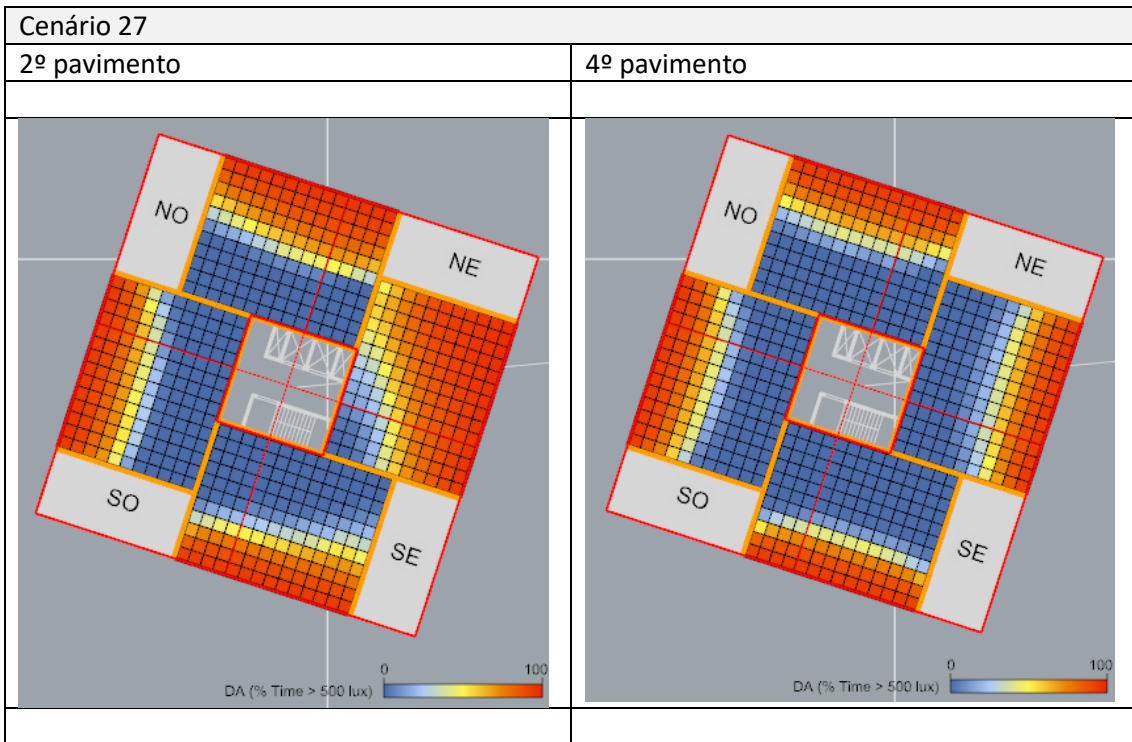


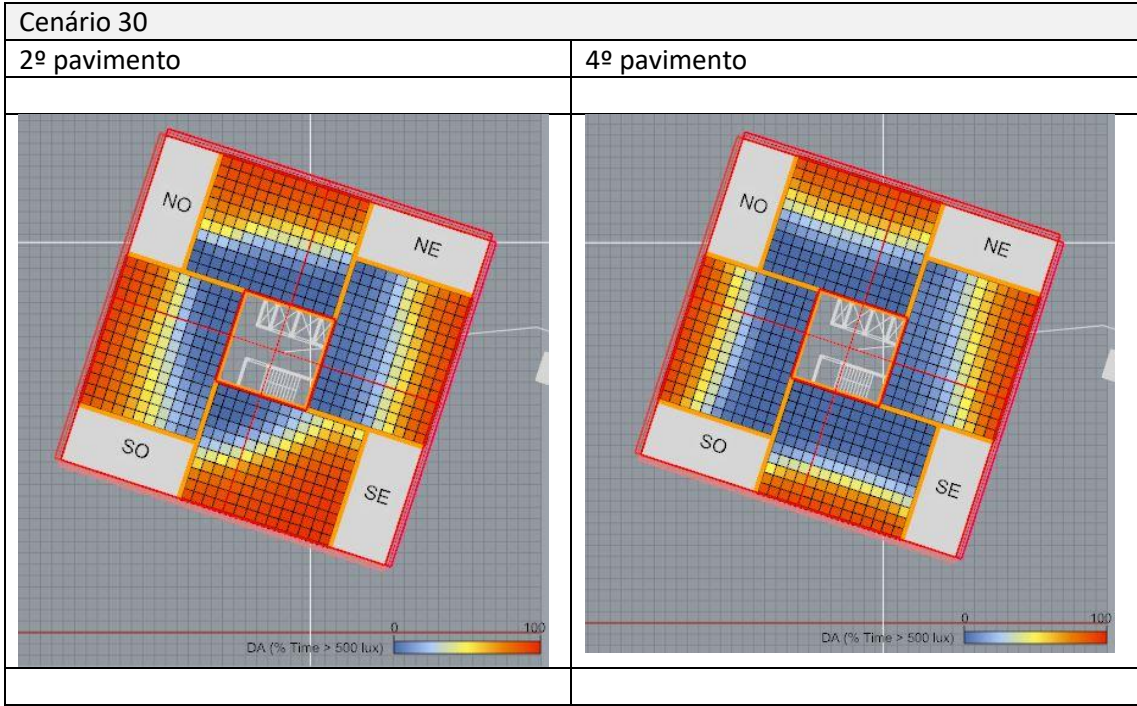
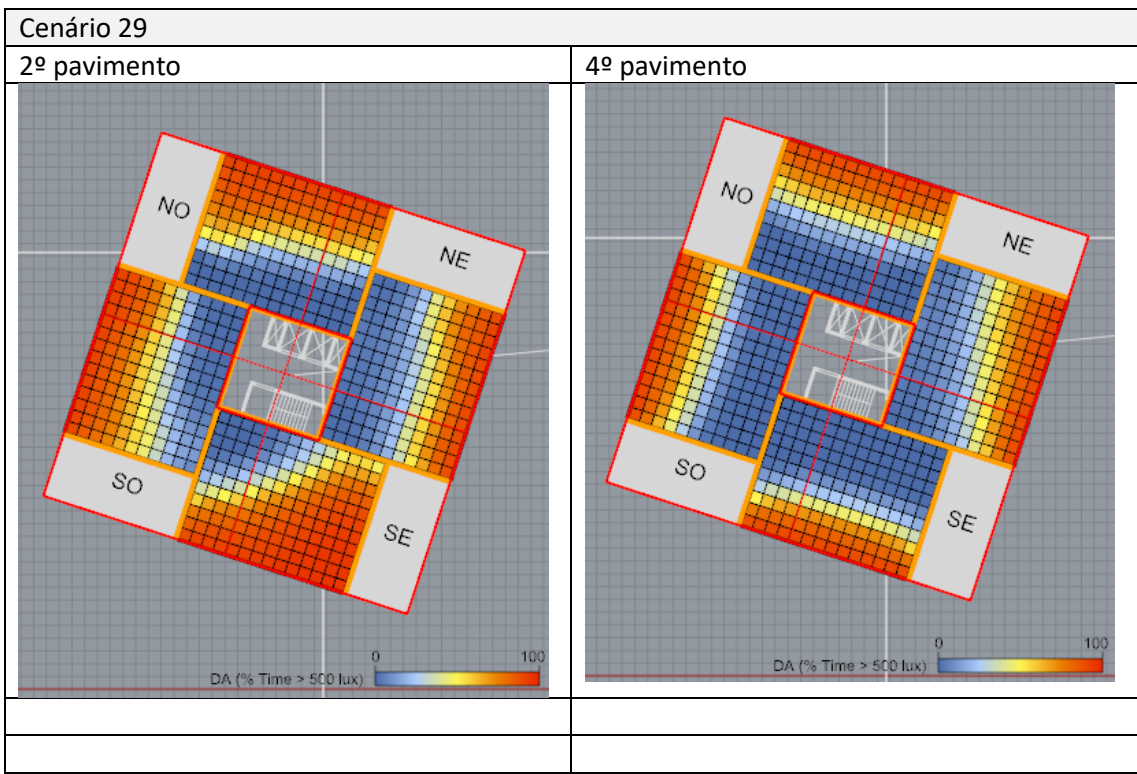


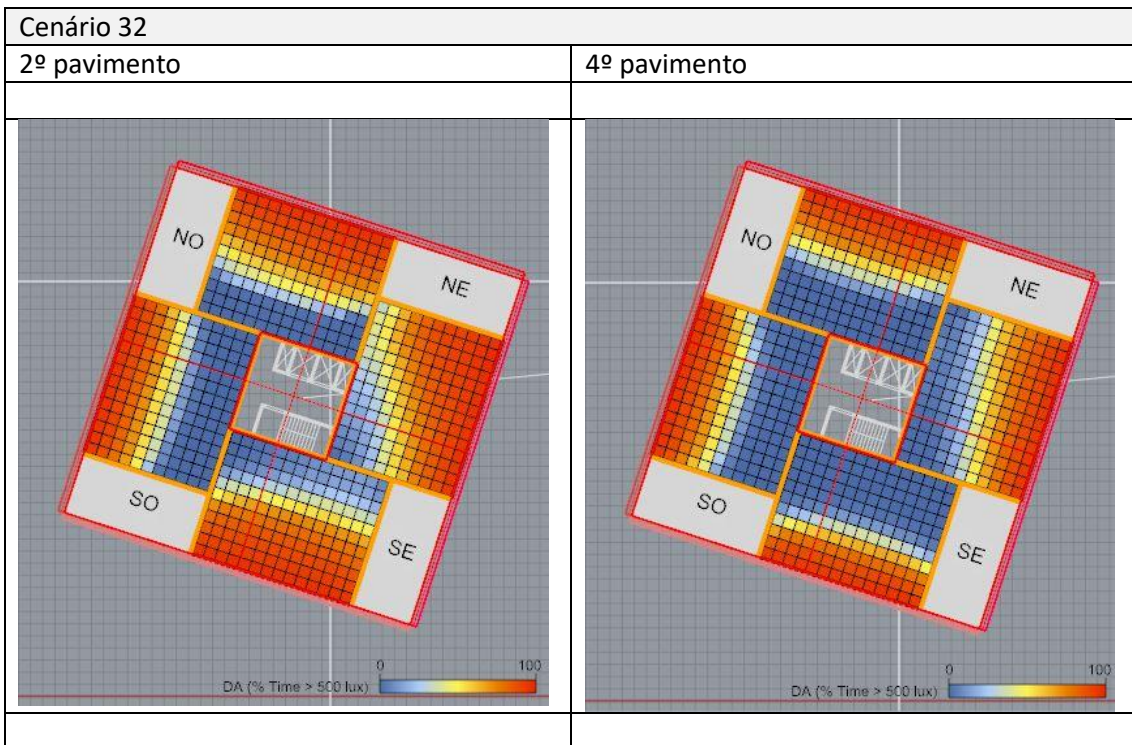
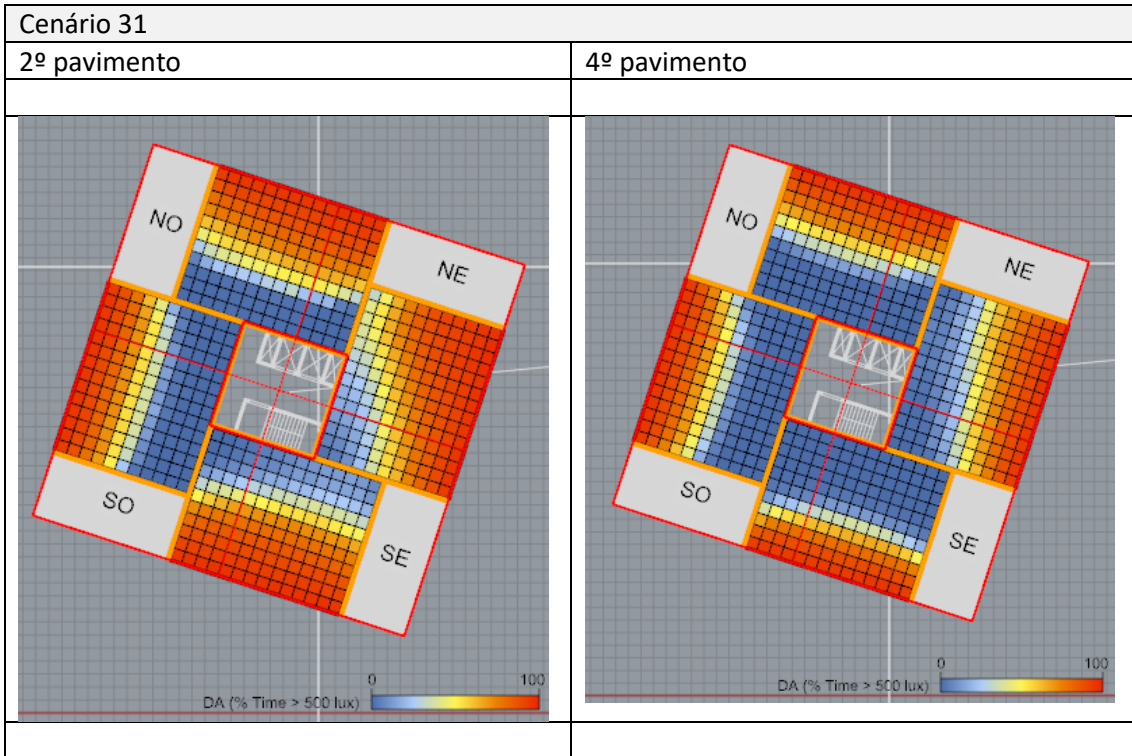












Autora: Márcia Birck

Brasília, 12 de julho de 2018