

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CARGAS TÉRMICAS SOLARES EM
FACHADA ENVIDRAÇADA PARA ESTUDO EM EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA**

OCTAVIO FERREIRA LOUREIRO DE ALMEIDA

CAMPO GRANDE

2017

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CARGAS TÉRMICAS SOLARES EM
FACHADA ENVIDRAÇADA PARA ESTUDO EM EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA**

OCTAVIO FERREIRA LOUREIRO DE ALMEIDA

Trabalho de Conclusão Final de Curso do Mestrado Profissional apresentada na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração em Eficiência Energética.

Orientador: Profa. Dra. Andrea Teresa Riccio Barbosa

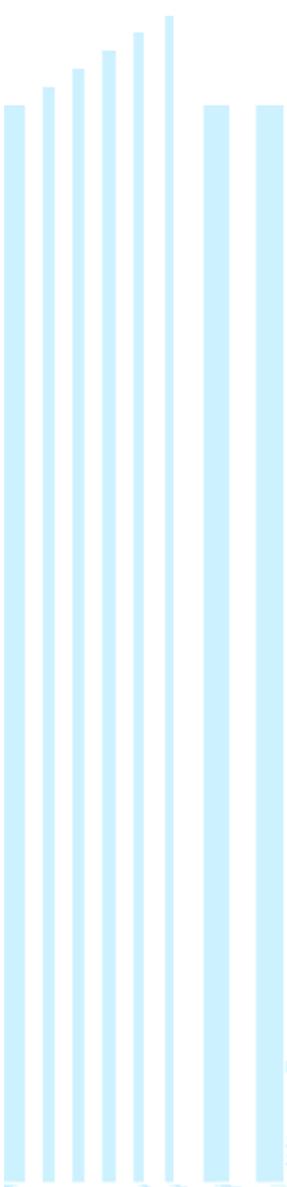
Co-orientador: Prof. Dr Wagner Augusto Andreasi

CAMPO GRANDE

2017

FOLHA DE APROVAÇÃO

Redação final do Trabalho de Conclusão Final de Curso defendida por **OCTAVIO FERREIRA LOUREIRO DE ALMEIDA**, aprovada pela Comissão Julgadora em 25 de agosto de 2017, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.



Profª. Dra. Andrea Teresa Riccio Barbosa - Orientador
FAENG/UFMS

Prof. Dr Wagner Augusto Andreasi - Co-orientador
FAENG/UFMS

Profª. Dra. Ana Paula Milani - Membro Titular
FAENG/UFMS

Profª. Dra. Ana Virginia Carvalhes de Faria Sampaio - Membro Titular
DAU/UUEL



DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os profissionais da área da construção civil, que se preocupam pela qualidade de vida, reeducação ambiental, e por uma sociedade com mais sustentabilidade.

Ao Patrick, Caio, Artur, Júlia e ao pequeno Tavinho que ainda não saiu da barriga da mamãe. Que o Tio Mano possa contribuir com uma pequena parcela na melhoria da qualidade de vida de vocês no futuro.

AGRADECIMENTOS

Acreditando ser meio pieguismo agradecer primeiramente a Deus, pensei em algo diferente... Pensei bastante em quem colocar em primeiro lugar... Sim, Deus, Único e Onipresente, O criador de todas as coisas, O criador da vida seria agradecido, mas pensei em algo diferente. Pois é, não achei. É Ele mesmo meu primeiro e mais importante agradecimento: a Você, Cara, que me deu o dom da vida, a Você, Cara que me ajudou nos momentos mais difíceis em minha vida, a Você, Cara, que é a Única Pessoa que realmente me conhece (até porque nem eu me conheço direito). A Você, O Cara, que sempre me confortou quando precisei.

Obrigado por me mostrar Seu Filho, obrigado por fazer dele Meu Amigo inseparável. Obrigado por fazer a mãe Dele me adotar como filho também. Nós conversamos bastante, sabe, nós 3, falamos coisas boas, Eles me ajudam a ser uma pessoa melhor. Sei que ainda falta muito, mas sei que quando preciso me tornar melhor, eles me ajudam. Obrigado por me dar essa Família 10. Obrigado por tudo.

Em segundo lugar, não vou agradecer a minha família não (aháááááá, saí do pieguismo). Quero aqui, de coração agradecer a Andréa. Sim, simplesmente Andréa. Nada da denominação “pós-doutora”, “professora”, “orientadora”, “amiga”. Sabe por que, Andréa? Porque você foi tudo isso e mais. Você foi a primeira pessoa que acreditou em mim na elaboração do mestrado, quando nem eu sabia direito o que fazer. Me disse o que era, sobre o quê, me incentivou no tema, abraçou minha causa. Você foi minha “pós-doutora” quando precisei que me guiasse neste mestrado, minha “professora” quando precisei de instruções, minha “orientadora” quando era necessário ter minhas orientações.

E mais do que você imagina, foi minha “amiga” nas nossas de estudo na sua sala e nos momentos difíceis que me acobertaram nesse período do trabalho. Momentos muito ruins, que eu não esperava que acontecesse. Acho que falamos mais de outros assuntos do que o Mestrado propriamente dito nessa época, hehehe. Obrigado por me fazer achar quando me perdi. Você foi a peça fundamental para eu chegar aonde cheguei hoje... Valeu mesmo. Valeu muito. Valeu de verdade.

Na sequencia gostaria imensamente de agradecer ao Wagner. Também só Wagner: o orientador, professor e amigo. Você, professor Wagner, me ajudou tanto na carreira de estudante, como profissional e educacional. Me ajudou na elaboração das simulações, na definição das áreas, me ajudou até na minha carreira de projetista. Muito obrigado pelas dicas e orientações. Levarei para o resto da minha vida profissional.

Professora Ana Vírginia... obrigado pelo convite em fazer parte da minha banca. Foi com muita alegria que fiz esse convite a você e com muita honra tive o prazer de seu aceite. Obrigado também por ser a primeira profissional que me mostrou a importância da arquitetura em seu habitat natural. Obrigado por me mostrar, mesmo naquela época da faculdade na UEL (e lá já vão 14 anos...) em que ainda não se falava em Eficiência Energética, mas só em “arquitetura ambiental”, a importância que hoje vemos na atual conjuntura energética brasileira e mundial. Você é uma professora que admiro e respeito muito. É uma honra tê-la em minha banca, mesmo que seja por vídeo conferência. Suas palavras foram, são e serão sempre produtivas para mim.

Agora sim... minha família... Família de pesquisadores: meu pai Irajá (ou simplesmente o “Gordo”), minha mãe, Judith (ou véia), minhas irmãs Doutoradas Fernanda e Janina. Saibam que me espelho em vocês quando estudo, leio, leciono ou pesquiso. E me espelho muito mesmo, saibam disso. E o engraçado é que ninguém de vocês me ensinou isso. Simplesmente, naturalmente... Nunca houve cobrança, sermões ou ensinamentos em ser pesquisador, em fazer mestrado ou em dar aulas. Obrigado por fazerem parte da minha vida pessoal e profissional. Fernanda, minha irmã mais velha, excelente pesquisadora, mestre e doutora em reprodução animal. Vê-la em seu laboratório da Embrapa Manaus ou mesmo na Universidade de Minas Gerais ou de Utrech, me enchiam de orgulho e curiosidade em entrar nesse mundo fascinante da pesquisa. Como é gostoso vê-la com a falcidade em que rege seu trabalho... Janina, nossa caçulinha, sempre me perguntei quando estudávamos em Londrina: “Caramba, o que tanto ela estuda??? Já deve conhecer o corpo humano de cabo a rabo, de cima para baixo, de frente para trás”. Aí, para meu espanto, você se forma e estuda mais ainda... cirurgia e onco, cirurgia e onco... Tá doida, não há mais o que estudar. E nessas horas que a vejo na simbiose com os livros de oncologia, percebo o quanto gosta do que faz e o quanto você me inspirou a estudar cada vez mais, também naquilo que eu gosto.

Aqui, um parêntese especial: a meus pais, pessoas não perfeitas, mas pessoas boas, dignas, que criaram seus filhos com educação, mostrando em palavras e atitudes o que ser honesto, profissional, ético. E acima de tudo, nos criando para a vida, sempre liberando nossas rédeas quando necessário. Sempre nos incentivando a estudar longe, mesmo fora de nossa cidade natal, Corumbá, ou do meu querido estado do Mato Grosso do Sul ou até mesmo fora do país. Ensinarão-nos o valor do trabalho, da honestidade, da amizade e humildade. Sem vocês... sem comentários...

Aos meus professores do mestrado, em especial a Ana Paula, que tive a honra de tê-la também como banca. Muito obrigado, professora, suas palavras na banca de Qualificação me fizeram perceber como você é uma excelente profissional e coerente, visto que não tive o prazer de ter aula com você. Quero agradecer também em especial aos professores Andréa Naguissa, Odair, Jesus: muito obrigado por compartilharem seus ensinamentos para nós, seus alunos.

Agradeço aqui também aos engenheiros civis Fernando Henrique Porto e Tássio dos Santos, profissionais esses que me auxiliaram na confecção das simulações. Sem a ajuda de vocês, caros amigos e colegas, sinceramente, não sei o que seria deste trabalho.

À Marly, a secretária da Proeng, muito obrigado por esses dois anos em que você sempre colaborou para que os acessos à sala de aula se dessem de forma tranquila, hahahaha. Às tias da limpeza, que mesmo com seus mau-humores, deixavam a sala limpinha para nossas aulas. Valeu....

Em ultimo lugar, mas também não menos importante, queria aqui agradecer a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste TCC. Eternamente grato a todos.

À todos vocês...

Meus sinceros “*muito obrigado*”!!!

OBS: agora que já leram tudo, troquem a palavra “você” por “senhor/senhora” (meus pais me ensinaram a tratar as pessoas de respeito com respeito).

EPÍGRAFE



Luis Fernando Veríssimo

RESUMO

As contemporâneas crises energéticas, alinhadas à crescente demanda de energia mundial, faz com que pesquisas relacionadas à Eficiência Energética (EE), estejam cada vez mais em discussão. Devido a esse fator, alguns trabalhos referentes ao consumo de energia elétrica são realizados em edificações residenciais. Isso porque, do consumo nacional total de energia elétrica, 23,3% é destinada às edificações residenciais, 15,4% aos edifícios comerciais e 8,0% aos edifícios públicos. No tocante à utilização do ar condicionado, 20,0% dessa energia é utilizada no setor residencial, 47,0% no comercial e 48,0% em edifícios públicos, demonstrando a importante utilização de energia para este tipo de equipamento. Surge, portanto, a necessidade de mais pesquisas relacionadas à redução do consumo de energia. Assim, o objetivo desse trabalho é analisar o comportamento térmico da edificação, com o incremento de carga térmica solar, em um ambiente envidraçado em Campo Grande-MS, com finalidade de obter o valor de carga térmica que deve ser retirado do ambiente com aparelhos, tais como condicionadores de ar. Como metodologia foram realizadas simulações computacionais para obtenção de carga térmica solar em um ambiente, que possibilitava a modificação simultânea de 4 variáveis: tipo de vidro, orientação solar, porcentagem de abertura envidraçada e proteção do vidro com persiana. Dessa forma, foram analisadas 160 simulações que resultaram em informações técnicas, que possibilitam decisões de projeto que melhoram a EE na edificação. As análises dos resultados comprovaram a EE dos vidros laminado, pirolítico e a vácuo em relação ao vidro temperado, com vantagens em eficiência do vidro laminado. As maiores diferenças de carga térmica entre os 3 vidros em relação ao vidro temperado, foram nas orientações Norte, Noroeste e Oeste. As aberturas em 25%, 50%, 75% e de 100% proporcionam aumentos de cargas térmicas ao ambiente, apesar desse comportamento não ser de forma linear. Em relação ao uso da persiana, seu uso para fins de EE foi útil em determinados vidros e orientações solares, de modo geral, nas aberturas de 75% e 100%. Salienta-se que o seu uso é mais indicado em vidros temperados, proporcionando uma diminuição de carga térmica no ambiente, entretanto, o uso de persianas com outros tipos de vidros, não vão proporcionar uma diminuição de carga térmica considerável. Dessa forma, como resultado recomenda-se o uso de vidro laminado em relação ao temperado, com obtenção de melhor EE, nas seguintes condições: faces Norte, Noroeste e Oeste, com aberturas de 100% e 75%; com 50 %, em alguns casos seria mais indicado com a persiana; faces Nordeste e Leste é aconselhável em apenas as aberturas de 25%, mas a diferença de ganho financeiro com a economia de energia, nesse caso, é de longo prazo, como comprovado pelo *payback* calculado. Nota-se que o uso dos demais vidros analisados, o pirolítico e o a vácuo, apesar de serem *low-E* e com valores de mercado superiores ao do vidro laminado, não apresentam uma diminuição de carga térmica importante em relação ao vidro temperado.

Palavras-chaves: eficiência energética, carga térmica solar, simulação em edificação.

ABSTRACT

The contemporary energy crises together with the increasing world demand for energy, make research related to Energy Efficiency (EE) come under increasing discussion. Therefore, studies regarding the consumption of electric energy have been done in residential buildings. The total national consumption of electric energy is 23.3% for residential buildings, 15.4% for commercial buildings and 8.0% for public buildings. Regarding the use of air conditioning, 20.0% of this energy is used in the residential sector, 47.0% in the commercial sector and 48.0% in public buildings, demonstrating the significant energy use for this type of equipment. Therefore, more research related to the reduction of energy consumption is needed. Thus, the main goal of this work is to analyze the thermal behavior of the building, with the increase of solar thermal load, in a glazed environment in Campo Grande-MS. At last aiming to obtain the value of thermal load that must be removed from the environment with appliances, such as air conditioners. As a methodology, computational simulations were developed to obtain solar thermal load in an environment, which allowed the simultaneous modification of 4 variables: glass type, solar orientation, percentage of glazed opening and protection of glass with shutter. Hence, 160 simulations were analyzed that resulted in technical information sufficient to allow design decisions to improve EE in buildings. The analysis of the results proved that the EE of laminated, pyrolytic and vacuum glasses in relation to tempered glass, with advantages in efficiency of laminated glass. The greatest differences in thermal load between the three glasses compared to tempered glass were in the North, Northwest and West orientations. Openings at 25%, 50%, 75% and 100% provide increases in thermal loads to the environment, although this behavior is not linear. In relation to the use of the shutter, its use for EE purposes was useful in certain glasses and solar orientations, in general, in apertures of 75% and 100%. It should be noted that its use is more indicated in tempered glass, providing a reduction of thermal load in the environment, however, the use of blinds with other types of glass, will not provide a considerable reduction of thermal load. As a result, it is recommended to use laminated glass in relation to tempering, with better EE, under the following conditions: North, Northwest and West faces, with openings of 100% and 75%; with 50%, in some cases it would be more indicated with Blind; Northeast and East faces are advisable in only 25% openings, but the difference in financial gain from energy savings in this case is long term, as evidenced by the calculated payback. It is noteworthy that the use of the other glasses analyzed, pyrolytic and vacuum, despite being low-E and with market values higher than that of laminated glass, do not present a significant reduction of thermal load in relation to tempered glass

Keywords: energy efficiency, solar thermal load, simulation in building.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Mapa do clima brasileiro segundo classificação do IBGE.....	27
FIGURA 2 - Mapa de clima da cidade de Campo Grande segundo classificação do IBGE....	27
FIGURA 3 - Fatores para o cálculo de categoria em EEE.	29
FIGURA 4 - Trocas de calor através de superfícies transparentes ou translúcidas.....	41
FIGURA 5 - Fachadas em vidros com formações anisotrópicas, mudando a estética da edificação.....	48
FIGURA 6 - Persiana instalada.	49
FIGURA 7 - Posições dos termômetros e fotômetros nos 2 escritórios. A- locação dos pontos, conforme legenda, B- estação de monitoramento das termais internas, C- fotímetros interno e externo.	53
FIGURA 8 - Embasamento de configuração de estudo geométrico das aletas da persiana em estudo de carga térmica computacional.....	54
FIGURA 9 - Modelo tridimensional dos 4 ambientes a serem simulados, com as vedações em vidro em 25%, 50%, 75% e 100% da área de vedação da alvenaria.	56
FIGURA 10- Modelo proposto para fachadas com 25% e 50% de área envidraçada. As espessuras das paredes, piso e laje não são cotadas.	60
FIGURA 11 - Modelo proposto para fachadas com 75% e 100% de área envidraçada. As espessuras das paredes, piso e laje não são cotadas.	61
FIGURA 12 - Resultado das simulações descritas pelo software.	67
FIGURA 13 - Tabela de carga térmica por variáveis para a orientação Oeste (valores em W).	70
FIGURA 14 - Tabela de carga térmica por variáveis para a orientação Noroeste (valores em W).	73
FIGURA 15 - Tabela de carga térmica por variáveis para a orientação Norte (valores em W).	76
FIGURA 16 - Tabela de carga térmica por variáveis para a orientação Nordeste (valores em W).	79
FIGURA 17 - Tabela de carga térmica por variáveis para a orientação Leste (valores em W).	82
FIGURA 18 - Tabela de carga térmica por variáveis para o vidro temperado (valores em W).	87

FIGURA 19 - Tabela de carga térmica por variáveis para o vidro laminado (valores em W).89	
FIGURA 20 - Tabela de carga térmica por variáveis para o vidro pirolítico (valores em W). 91	
FIGURA 21 - Tabela de carga térmica por variáveis para o vidro a vácuo (valores em W). ..93	
FIGURA 22 - Tabela de payback simples dos vidros para a orientação Oeste..... 98	
FIGURA 23 - Tabela de payback simples dos vidros para a orientação Noroeste. 100	
FIGURA 24 - Tabela de payback simples dos vidros para a orientação Norte..... 102	
FIGURA 25 - Tabela de payback simples dos vidros para a orientação Nordeste. 104	
FIGURA 26 - Tabela de payback simples dos vidros para a orientação Leste. 106	

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Variáveis dos tipos de vidros e suas propriedades.....	57
TABELA 2 - Propriedades da persiana.	59
TABELA 3 - Legenda para as tabelas de cargas térmicas.....	66
TABELA 4 - Tabela resumo de uso do vidro pela sua EE com uso de persiana	109
TABELA 5 - Tabela resumo de uso do vidro pela sua EE sem uso de persiana.....	110

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABRAVIDRO	Associação Brasileira de Vidros
ABIVIDRO	Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automotivas de Vidro
ASTF	<i>Active Solar Thermal Facedes</i>
BTU	<i>British Thermal Unit</i>
CFC	Clorofluorcarbono
EE	Eficiência Energética
EEE	Eficiência Energética na Edificação
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ONU	Organização das Nações Unidas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Metrologia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IV	Radiação Infravermelha
PNE	Programa Nacional de Etiquetagem
PBE	Programa Brasileiro de Edificações
PVB	Polímero Polivinil-Butiral
RAC	Requisito de Avaliação de Conformidade
RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade nas Edificações Comerciais
RTQ-R	Requisitos Técnicos da Qualidade nas Edificações Residenciais
SCU	Sistema de Clima Urbano
UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UV	Radiação Ultravioleta
VMP/PPD	Voto Médio Predito/Precentual de Pessoa Termicamente desconfortável
VRF	<i>Variable Refrigerant Flow</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

φ	Atraso térmico de um material
h_e	Coefficiente superficial externo de transmissão de calor
h_i	Coefficiente superficial interno de transmissão de calor
U (fator)	Coefficiente transmitância térmica total de um material
FS_0	Fator solar
τ	Índice de transmitância de um material
ρ	Índice de refletância de um material
α	Índice de absorptância de um material
KW	Unidade de potência – quilowatts
UV	Ultravioleta
IV	Infravermelho

SUMÁRIO

FOLHA DE APROVAÇÃO	iii
DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
EPÍGRAFE	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	xi
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xiv
LISTA DE SÍMBOLOS	xv
SUMÁRIO	xvi
1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Justificativa.....	19
1.2 Objetivo Geral	21
1.3 Objetivos Específicos	21
1.4 Divisão do trabalho	21
2 ARQUITETURA E CLIMA	23
2.1 Temperatura fisiológica humana e clima urbano	23
2.2 Consumo eficiente de energia na construção civil	28
2.3 O uso dos condicionadores de ar	30
2.4 Tipos de cálculos de carga térmica para conforto ambiental	32
2.5 Trabalhos relacionados	33
3 O VIDRO COMO ELEMENTO DE ENVOLTÓRIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL	36
3.1 Fabricação do vidro plano incolor (tipo float)	37
3.2 A radiação solar como efeito térmico da envoltória em vidro	39
3.3 Tipos de vidros e suas propriedades de radiação solar.....	40
3.3.1 Vidro temperado.....	43
3.3.2 Vidro laminado.....	43
3.3.3 Vidro refletivos pirolíticos (on line) e a vácuo (of line)	44
3.4 A persiana nos edifícios envidraçados	46
3.5 Trabalhos relacionados	49
4 METODOLOGIA	55
4.1 Características das variáveis utilizadas nas simulações	56

4.1.1	Vidros.....	57
4.1.2	Orientação solar da parede envidraçada.....	58
4.1.3	Persiana	58
4.1.4	Área envidraçada.....	59
4.2	<i>Software EnergyPlus</i> e a inserção de dados.....	61
5	RESULTADO DAS SIMULAÇÕES E ANÁLISES	66
5.1	Tipos de análises.....	68
5.1.1	Análise por comparativo entre orientações solares	68
5.1.1.1	<i>Análise geral por orientação solar</i>	<i>84</i>
5.1.2	Análise por comparativo entre tipos de vidros	85
5.1.2.1	<i>Análise geral por tipo de vidro</i>	<i>94</i>
5.1.3	Análise por comparativo econômico (payback simples).....	95
5.1.3.1	<i>Análise geral por payback simples</i>	<i>107</i>
5.2	Análise geral	108
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
	CONCLUSÃO	114
	REFERÊNCIAS	116
	ANEXOS	124

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, percebe-se cada vez mais uma preocupação com relação aos problemas de energia escassa e de demanda crescente. Dentre outros fatores que intensificam essa preocupação observa-se a difícil situação econômica brasileira, e o aumento nos custos energéticos. Isso faz com que pesquisas em Eficiência Energética (EE) se tornem cada vez mais necessárias.

Fuentes & Thomas (2009) já descreviam que é necessário uma sociedade mais empenhada em mudanças quanto ao uso racional de energia elétrica, que ocorram a tempo para garantir que todas as pessoas melhorem seu futuro. Dessa maneira, em pesquisas na construção civil, as ações que identificam a necessidade de projetos que proporcionem menos impactos em gastos energéticos devem ser claras. E que o homem possa utilizar a edificação de uma maneira mais eficiente e sustentável, deixando deste modo, os termos sustentabilidade e EE cada dia mais em evidência e, por consequência, mais utilizado e difundido por arquitetos, engenheiros e construtores.

A respeito da qualidade da arquitetura no ambiente projetado, “a finalidade da arquitetura não é o de fazer obras de arte, mas o de conceber e orientar a construção de ambientes confortáveis, onde se possa usufruir de uma qualidade de vida viabilizada e estimulada pela ambiência do local em sintonia com o lugar” [VILLAR, 2009, p. 67].

Santos (2002), já acrescentava que as envoltórias em vidros, em países de clima quente, podem se tornar um problema, pois quando recebem as irradiações solares, o vidro pode contribuir consideravelmente para a elevação da temperatura no ambiente interno. Na abordagem em um país tropical, como no Brasil, cuja temperatura média anual é superior a 18°C, conhecer a funcionalidade da envoltória transparente é, portanto, de extrema importância.

Várias pesquisas de âmbito internacional têm surgido para promover a utilização do vidro em fachadas prediais na edificação tais como: utilização de barreiras opacas/sombreamentos [CHAYAPINUNT & KHAMPORN, 2014; GOMES, SANTOS & RODRIGUES, 2014; IYI et al, 2014; KHERZI, 2013; MORETTI & BELLONI, 2015; PARRA et al, 2015]; proporções das aberturas envidraçadas para o meio externo [HEUSLER, 2014; HUIFEN, 2013; JANIKI & HEIM, 2013]; orientações solares e tipologia climática dessas fachadas [BRANDL et al, 2014; CHEDWAL, 2015; DE FOREST, 2015; FAVOINO, OVEREND & JIN, 2015; HILLIAHO, MAKITALO & LAHDENSIVU, 2015; LARSEM,

RENGIFO & FILLIPPING, 2015; MERTIN et al, 2014; SADEGHIFAMA, 2015; XU, 2014]; pesquisas sobre vidros de vedação [GRYNNING, 2015; ILLGUT, SCHULER & BUCAK, 2015; QU, 2014; LAI & HOKOI, 2015; ZANG, 2015] e até mesmo sistemas inovadores da EE em vidros [IBRAHIM, 2014; QAHTAN, RAO & KEUMALA, 2014] .

No Brasil, tem-se observado também o incremento relacionado às pesquisas de EE em temperatura do ar em edifícios, como: em uso público ou com muita movimentação de pessoas, como hospitais e hotéis, [BUORO, 2008; BATISTA, LA ROVERE & AGUIAR, 2011; MELO et al, 2012; DE OLIVEIRA, SHAYANI & DE OLIVEIRA, 2013; CAMPOS, 2013; MELO, SORGATO & LAMBERTS, 2014] também em edificações residenciais de caráter social [VENDRAMIN et al, 2009; NOGUEIRA et al, 2010; TRIANA, LAMBERTS & SASSI, 2015; INVIDIATA & GHISI, 2016].

Este trabalho visa analisar o ganho de carga térmica solar em um ambiente envidraçado em Campo Grande, dependendo de suas condições construtivas, resultando em valores de potência a serem utilizadas em aparelhos de condicionadores de ar, para manter a mesma temperatura do ambiente estudado. Serão alteradas na simulação 4 variáveis totalizando 160 simulações. Como método será utilizado um *software*, que possibilita a simulação de um ambiente com variação de alguns parâmetros que podem contribuir com o aumento ou a diminuição do seu calor interno. Dessa forma, será analisada a melhor configuração para uma EE para a edificação estudada. A análise dos resultados possibilitará a obtenção de informações para se realizar uma melhor discussão de quais os conjuntos de variáveis são as mais propícias para uma EEE.

1.1 Justificativa

Pesquisas em Eficiência Energética na Edificação (EEE) são discussões importantes. Conforme Lamberts et al (2015) relataram em seus estudos, sobre o consumo total da energia nacional, 23,3% é destinado às edificações residenciais, 15,4% aos edifícios comerciais e 8,0% nos edifícios públicos.

Nos edifícios comerciais, do total de energia consumida, quase a metade (47,0%) se destina ao uso de ar condicionado. Entretanto, essa porcentagem aumenta nos edifícios públicos, onde se percebe o uso de 48,0% de energia para esse fim, demonstrando a crescente utilização de energia para o ar condicionado.

No tocante às edificações envidraçadas, percebe-se que, os fabricantes dos vidros para essas edificações fornecem tabelas técnicas, com propriedades térmicas dos mesmos, para

possibilitar uma melhor leitura da EEE. Dessa forma, no primeiro momento, poderia se concluir que essas propriedades seriam suficientes para definir qual o vidro mais eficiente. Entretanto, percebe-se que somente considerar as propriedades térmicas fornecidas pelos fabricantes dos vidros, não são suficientes para a definição final de EE de carga térmica no ambiente. Em certos momentos, portanto, fica difícil a compreensão de qual vidro é o mais eficiente energeticamente.

Desta forma, a comprovação, por exemplo, da superioridade em EE de um tipo de vidro em relação à outros, vista por um projetista que só se orientaria pelas tabelas, provavelmente seria um pouco difícil, sendo necessárias mais considerações para as possíveis comparações entre eles.

Por mais atual que o assunto possa parecer, que até o momento¹, não foi encontrada nenhuma pesquisa em EE relacionada às envoltórias de vidro na cidade de Campo Grande, capital do estado do Mato Grosso do Sul (MS), cujos ambientes estariam com temperatura elevada advinda da energia solar. Nota-se a importância deste estudo para projetistas e construtores de edificações que necessitam de iluminação natural para o conforto de seus usuários, mas que são submetidos invariavelmente ao ganho de calor. Com isso surge a necessidade de maiores pesquisas relacionadas à redução do consumo de energia. Desta maneira, justifica-se a importância deste trabalho.

É possível, portanto que as simulações para este projeto possam auxiliar o projetista a elaborar trabalhos ou realizar *retrofits*, que minimizem a utilização dos condicionadores de ar em seus projetos. Observa-se ainda que, as edificações cujas envoltórias fossem em vidro, isso só será possível quando o profissional souber alinhar conhecimento das tecnologias do vidro e suas fachadas, com a orientação da edificação. Tudo isso adequado ao clima da região onde será projetada a edificação ou *retrofit*. Saliente-se que em um contexto energético mais atual, este trabalho poderá ajudar também a desenvolver melhores subsídios em torno do Programa Nacional de Etiquetagens (PNE) ao demonstrar mais variáveis construtivas que amenizam o calor de um ambiente, provenientes da energia solar. Desta maneira, ao se aprofundar no estudo de uma edificação cujas variáveis abranjam a iluminação natural e o ar condicionado, mais preciso será o cálculo da envoltória para seu uso eficiente.

¹ Pesquisa realizada no portal <<http://www.periodicos.capes.gov.br>> até o dia 12 dez. 2015.

1.2 Objetivo Geral

Realizar um estudo comparativo de carga térmica solar com alteração de variáveis de edificação em um ambiente envidraçado, na cidade de Campo Grande.

1.3 Objetivos Específicos

- Realizar simulações com o uso de *software* das cargas térmicas solares, com alterações das variáveis, definidas precisamente, a partir das especificações do ambiente a ser estudado;
- Obter o valor quantitativo da potência (W) gerada pelas simulações;
- Analisar e definir qual a melhor configuração entre as variáveis, para a obtenção de uma EEE;
- Realizar uma avaliação econômica (*payback* simples) entre os tipos de vidros e o gasto energético.

1.4 Divisão do trabalho

Para estruturar este trabalho, primeiramente é apresentada uma revisão bibliográfica e posteriormente a obtenção, análise e conclusão dos dados obtidos. Os capítulos 2 e 3 são referentes à revisão bibliográfica, o capítulo 4 apresenta a metodologia, e o capítulo 5, os resultados das simulações e das análises. Finalizando com o capítulo 6, onde serão descritas as recomendações. Para isto, no Capítulo 2 é descrita uma revisão sobre a temperatura fisiológica humana e sobre o clima urbano. Também engloba um estudo sobre o consumo eficiente de energia na construção civil e sobre o uso dos condicionadores de ar em recintos fechados. No final do capítulo são apresentados alguns trabalhos relacionados aos temas descritos.

Percebendo-se que o projeto é realizado principalmente em torno das envoltórias envidraçadas, e que com isso o vidro se torna um componente primário do projeto arquitetônico, o Capítulo 3 aborda as principais características térmicas de vidros planos para vedações na construção civil brasileira, bem como métodos de fabricação e principais comportamentos térmicos. Para tal, realizou-se, no âmbito da ciência e da tecnologia dos materiais, a definição do vidro plano (do tipo *float*), considerado a base para os outros tipos de vidros utilizados na construção civil. Há ainda, um breve relato sobre a radiação solar e seu efeito térmico na envoltória em vidro, abordando os coeficientes térmicos do mesmo. No final do capítulo são apresentados alguns trabalhos relacionados (estados da arte) aos temas descritos. Na sequência, o Capítulo 4 apresenta a metodologia do trabalho. Descreve ainda as simulações propostas nesta

pesquisa para a cidade de Campo Grande-MS, e o *software* onde são inseridas as variáveis: tipos de vidros; orientações solares da envoltória transparente; proporções em área das vedações; e utilização ou não de um fechamento opaco do tipo móvel (persiana).

Com a metodologia definida, o Capítulo 5 apresenta o resultado das simulações e de suas análises. Para tal, todas as cargas térmicas obtidas nas 160 simulações foram redistribuídas em tabelas comparando-se os tipos de vidros, orientações solares, o tipo de abertura e o uso ou não de persianas. Em sequência, neste mesmo capítulo, um estudo de *payback* simples é realizado para os diferentes usos dos vidros e um comparativo de seus respectivos retornos financeiros.

O Capítulo 6 apresenta os resultados e propõe outros estudos a partir deste tema, iniciado ou relacionados, que foram identificados como importantes para serem explorados em novas pesquisas.

2 ARQUITETURA E CLIMA

No campo da climatologia, sabe-se que, em sua órbita em relação ao Sol, o planeta Terra passa por diferentes exposições à radiação solar ao longo de 365 dias por ano. Essa rotação define as 4 estações: primavera, verão, outono e inverno. Entretanto, as características de cada estação tais como temperatura, pluviosidade, ventilação, umidade vão depender de fatores adicionais tais como a distância ao Equador, distância aos oceanos, a altitude do local, além de outras. Esse conjunto de fatores forma que comumente se chama clima ou tempo [BRANDÃO, 2013].

A definição de clima, entretanto, pode englobar mais do que isso: entende-se como sendo a síntese de um tempo climático, em um dado lugar, por um período de aproximadamente 30 a 35 anos. Abrangendo, desta maneira, um determinado conjunto de dados e não apenas as condições médias do tempo em uma determinada área. Já o tempo é o que se sente no dia a dia, com suas variabilidades, que são facilmente observadas e que afetam as atividades humanas [AYOADE, 2012].

Assim, o estudo do clima e do tempo ocupa uma posição central e importante no amplo campo da ciência ambiental, influenciando diretamente as plantas, o solo e os animais, incluindo-se os seres humanos. Por outro lado, o clima próximo à superfície da Terra é influenciado pelos seus elementos de paisagem, da vegetação e de atividades do homem. Portanto, conhecer o clima de uma região, além de necessário, é dinâmico [CAVALCANTE, 2009].

Devido a essa problemática, faz-se necessário definir, a temperatura atmosférica, a sua importância e a sua correlação com o ser humano.

2.1 Temperatura fisiológica humana e clima urbano

A temperatura experimentada por um organismo vivo depende da temperatura do ar juntamente com a taxa de perda de calor proveniente desse ser vivo. Essa temperatura é definida como temperatura fisiológica, e varia de ser para ser (constituição física, peso, vestuário, atividade física, idade, sexo, estado emocional e do grau de ajustamento às condições climáticas ao qual é submetido) [AYOADE, 2012].

Os índices de temperatura fisiológica são normalmente baseados na temperatura do ar e na umidade. As exposições à luz solar e ao vento normalmente não são consideradas. Isso se

deve muito ao fato que essas duas constantes são mais difíceis de serem consideradas nos cálculos de conforto térmico.

No caso dos seres humanos, Thon (1959) apud Ayoade (2012) definiu que, em certas condições de umidade e ligeiros movimentos de ventilação, a temperatura de conforto em repouso varia entre 18,9 a 25,6 °C. Abaixo do valor mínimo, o autor descreve que haveria um *stress* ao frio. Nesses casos, podendo sofrer de tremores, confusões mentais e taquicardia.

Consequentemente, acima do valor de 25,6 C° o homem poderia passar um *stress* ao calor. Neste stress, como a diminuição de vigor físico e mental. Se a temperatura for maior ainda, o homem pode sofrer a incidência de choques térmicos como exaustão e câimbras (nesses casos, normalmente em latitudes baixas, durante a estação da seca, ou nas regiões temperadas, nos meses quentes de verão).

Em condições climáticas favoráveis, isto é, dentro do limite da temperatura fisiológica, podem proteger e auxiliar na recuperação do corpo humano, como por exemplo, para descansar, relaxar, ou mesmo quanto à proteção à doenças. Também podem contribuir para o vigor físico e mental, assim como a produtividade. Concluindo, a influência do clima sobre o homem pode ser benéfica ou maléfica: o planejamento dos recursos climáticos (naturais ou artificiais) devem resolver o uso racional de seus efeitos benéficos e prevenir, eliminar ou minimizar os efeitos maléficos. O vestuário e a moradia também são influenciados pelo clima. “... o objetivo fundamental do vestuário é proteger o homem contra os elementos do clima e melhorar seu grau de conforto fisiológico. A moda e necessidade de pudor são de importância secundária” [AYOADE, 2012]. Por igual, o abrigo destina-se à mesma proteção.

Desta forma, as condições do tempo e do clima são fatores relevantes na escolha de localização eficiente dos edifícios, juntamente com seu material e técnicas construtivas, condicionamento de ar e estrutura das moradias. Percebe-se, portanto, claramente que os projetos arquitetônicos tradicionais de uma região, país ou mesmo de uma cultura deva seguir suas condições climáticas. Ao mesmo tempo em que, a escolha dos materiais construtivos, deva refletir a necessidade de manter o clima interior adequado para uma determinada zona de conforto e temperatura fisiológica humana. A interação entre culturas, entretanto, muitas vezes demasiadamente extensas, tem levado, conforme citações de alguns autores [AYOADE, 2012; FROTA & SCHIFFER 2003; MICHELATO, 2007; LAMBERTS, DUTRA & PEREIRA, 2015] a estilos de edificações e escolha de materiais e técnicas de construção que acabam não estando em harmonia com as condições climáticas existentes. Embora acabem sendo edifícios esteticamente agradáveis, essas edificações só conseguem ser habitáveis devido a modificações

climáticas internas artificiais, muitas vezes com o uso de ventiladores e equipamentos de condicionadores de ar. Isso eleva o preço final do uso do edifício, pois se levam em consideração a aquisição e a manutenção desses equipamentos, além do aumento do consumo energético. Em alguns casos, segundo Ayoade (2012), quando falta de energia na edificação, essas estruturas tornam-se inutilizáveis.

O clima urbano, desta forma, constitui-se em uma das dimensões do ambiente habitável e hoje, seus estudos têm oferecido importantes contribuições às questões ambientais das cidades. Ayoade (2012) ainda cita que as temperaturas elevam-se, mesmo quando se diminui a duração da insolação. Os nevoeiros são mais espessos, a umidade é reduzida. Os ventos fortes são desacelerados e os ventos fracos são acelerados. No geral, a sociedade dessas cidades permanece ainda bastante vulnerável e indefesa diante desses “eventos”. À medida que a população do planeta cresce em uma progressão geométrica, onde as ocupações se fazem em áreas cada vez mais extensas, Gonsalves (2013) afirma que as chances desses acontecimentos aumentam. No Brasil, os maiores problemas são de repercussão climática, isto é, fenômenos relacionados às variações de temperatura. Embora seja fenômenos de ordem natural (ocasionados pelas diferenças naturais do sistema meteorológico), a ação do homem, interferindo ao longo do tempo, têm contribuído, consideravelmente para essa expansão. Ainda segundo o autor, as áreas urbanas e metropolitanas, são as mais afetadas, pois correspondem as áreas da superfície terrestre mais intensamente adensada e transformada. Afirma ainda que, a atividade humana nessas áreas produz quase sempre uma inadequada artificialização do clima, alterando seu ambiente local, criando uma vulnerabilidade maior em relação ao sistema climático natural. A complexidade das interações entre as atividades humanas e o ambiente cresce, portanto, na medida em que o processo de urbanização avança cada vez mais no mundo de hoje.

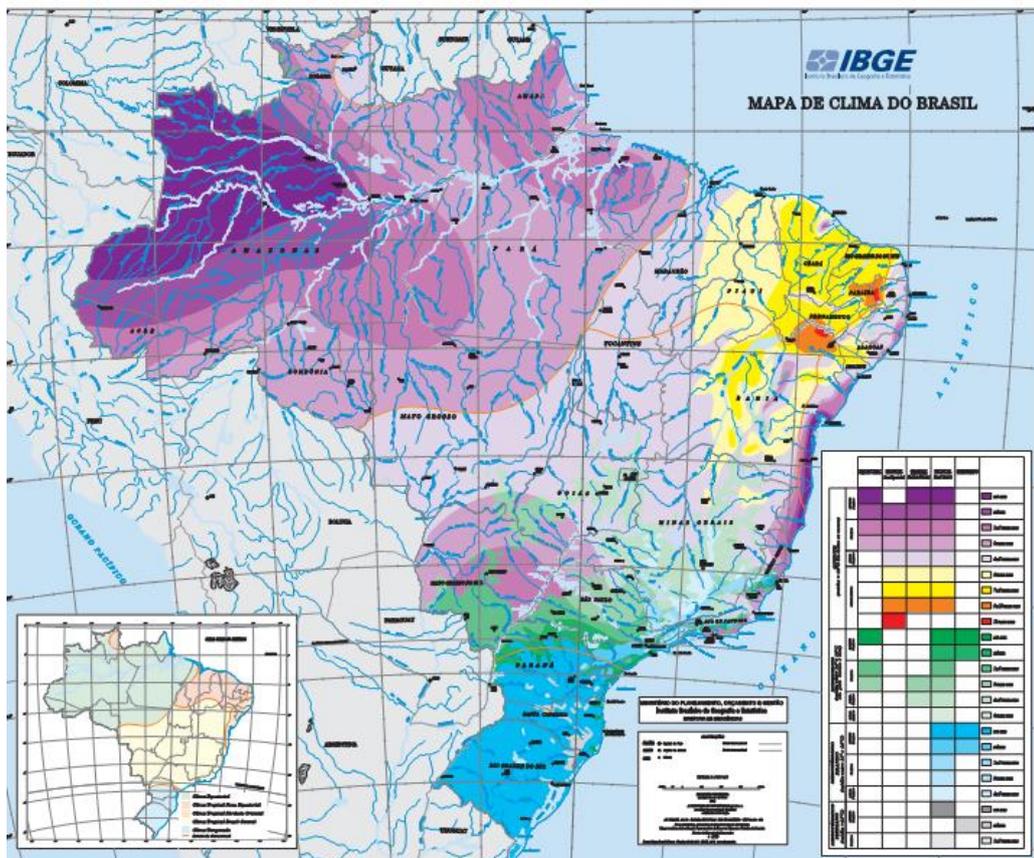
É fundamental, segundo descrições realizadas por Mendonça (2013b) compreender que o Sistema de Clima Urbano (SCU) deverá ser indispensável em toda a complexidade da cidade. O SCU vai compreender, ainda segundo o autor, uma organização climática peculiar à cidade, e como tal, deve ser encarado como um sistema operador. Para o autor em outro artigo “toda ação ecológica natural e de associações aos fenômenos da urbanização constituem um conjunto complexo sobre o qual o operador age” [MENDONÇA, 2013b]. Desta forma, tudo o que for atmosférico, incluindo o homem e os demais seres vivos, fazem parte deste sistema, complexo e estruturado. O autor demonstra que esses estudos demandam não apenas nas metrópoles brasileiras (tais como São Paulo-SP, Rio de Janeiro-RJ, Belo Horizonte-MG ou Salvador-BA)

mas são passíveis de SCU, nas cidades com crescimento planejado. Apesar da necessidade de criação de novas técnicas para a aferição do SCU, consideráveis avanços já têm mostrado efeito. Portanto, a percepção do cidadão em seu ambiente deve ser explorada pelos estudiosos do clima da cidade, permitindo-lhe identificar elementos que estão na base da relação natureza-homem na cidade, e propor, de uma maneira mais eficaz, a intervenção consciente e participativa na produção do espaço urbano.

Com essas afirmativas, e perfazendo uma ligação à classificação de Köopen, Campo Grande, cuja Latitude encontra-se em $-20^{\circ} 26' 34''$, e Longitude em $-54^{\circ} 38' 47''$ [APOLO 11, 2016] situa-se dentro da classificação “Tropical”, cujo código é “Aw” predominando o clima, com as duas estações já descritas na região, muito bem definidas. Nos meses de inverno a temperatura pode cair bastante, em certas ocasiões a sensação térmica pode chegar a 0°C , com geadas ocasionais e leves. Já no verão, o clima é predominante quente e úmido. A Precipitação média da região é de 1534 mm ao ano, com variações. A amplitude térmica é relativamente elevada devido à pouca influência da maritimidade conforme dados obtidos pelo Instituto Nacional de Metrologia [INMET, 2015]. Já pela classificação do IBGE, que considera como base para a classificação climática os índices climáticos obtidos pelo INMET, Campo Grande encontra-se na classificação “subquente úmido com 1 a 2 meses secos” na cor verde, mas com limítrofes bem próximas ao “quente úmido com 1 a 2 meses secos”, na cor lilás (FIGURA 1 e FIGURA 2).

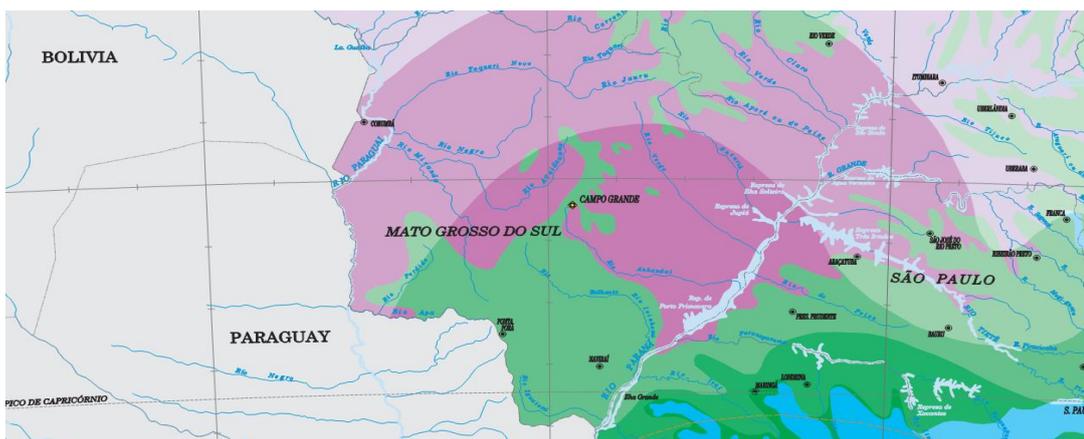
Ainda segundo dados do INMET (2015), referentes ao período entre 1961 e 1990, a menor temperatura já registrada em Campo Grande foi de $-0,9^{\circ}\text{C}$ em 1978, e a maior $39,7^{\circ}\text{C}$ em 1985. O mesmo instituto, no entanto, registrou temperatura de $40,2^{\circ}\text{C}$ em outro ponto de medição em 2014. O maior valor acumulado de precipitação registrado em 24 horas foi de 115,1 mm em 18 de novembro de 1963. O menor índice de umidade relativa do ar foi de 11%, em setembro de 2004.

FIGURA 1 - Mapa do clima brasileiro segundo classificação do IBGE.



Fonte: IBGE (2016)

FIGURA 2 - Mapa de clima da cidade de Campo Grande segundo classificação do IBGE.



Fonte: aproximação da imagem sobre IBGE (2016)

2.2 Consumo eficiente de energia na construção civil

Existem duas iniciativas brasileiras importantes para o estímulo do consumo eficiente de energia na construção civil. Um deles é o Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações (PBE Edifica/Inmetro), do Inmetro e da Eletrobrás, que avalia a eficiência energética de empreendimentos e compila as informações na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). O segundo é o Procel-Edifica, um Programa Nacional com ações de capacitação e incentivo focados em boas práticas em EE. O PBE Edifica/Inmetro foi uma alternativa do país para que todas as edificações a serem construídas ou mesmo reformadas (*retrofits*), pudessem atingir uma redução de 10% do consumo de energia até 2030 [PINHEIRO, 2015]. O Programa classifica, por meio da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), o desempenho das edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas, com categorias variando de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). Para proceder à essas avaliações, o PBE Edifica/Inmetro conta com os Requisitos Técnicos da Qualidade nas edificações comerciais (RTQ-C) e residenciais (RTQ-R) e Requisitos de Avaliação da Conformidade (RAC).

Já o Procel-Edifica é um ramo do Programa Procel que promove o uso racional da energia elétrica em edificações. Desta maneira, as ações foram ampliadas e organizadas com o objetivo de incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais (água, luz, ventilação etc.) nas edificações, reduzindo os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente [PROCEL INFO, 2016b]. Pinheiro (2015) descreve que a edificação cujo projeto arquitetônico privilegia as condições do entorno, a proteção aos ganhos de calor e um projeto luminotécnico eficiente no tocante ao seu consumo de energia e com bom uso da iluminação natural, tende a oferecer menor impacto na carga térmica e, conseqüentemente, menor consumo de energia elétrica. A maior contribuição das certificações, no geral, é a melhoria do desempenho dos edifícios, o desenvolvimento de melhores práticas para toda a cadeia da construção civil e uma edificação confortável para seus usuários com baixo consumo de energia. Confirmando com o futuro da EE brasileira, o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável [CBCS, 2014] publicou em junho de 2014, uma instrução normativa, onde tornou obrigatória a etiquetagem de edificações públicas federais (novas ou em *retrofit*) com área superior à 500 m². Também exigiu que os projetos e construções de novas edificações tenham seu desempenho no nível “A” (salvo os casos de inviabilidade técnica ou econômica, ou por outras restrições do projeto original como, por exemplo, o tombamento da construção). Esta instrução não só beneficia as obras públicas, como também incentiva toda uma cadeia da construção civil a buscar EE, pois

as edificações brasileiras foram responsáveis pelo consumo de 48% da energia elétrica utilizada em 2013, ultrapassando em 6% o consumo do setor industrial. O processo de etiquetagem tem uma importância vital para a questão do desenvolvimento sustentável do país. O CBCS (2014) ainda descreveu que o acesso às informações sobre o desempenho energético dos edifícios irá facilitar a definição de ações para o gerenciamento do consumo e o envolvimento dos profissionais projetistas, em prol da sustentabilidade. É por isso que a etiquetagem é considerada uma ferramenta para a EE.

Diversas são as variáveis que influenciam a EEE: projetos bem elaborados e sua concepção, o estudo do seu entorno, as aberturas e orientações bem localizadas para a utilização das fontes naturais de energia (iluminação natural, a ventilação, o aquecimento, a captação de água de chuva para uso no edifício), as placas solares com aproveitamento do sol para gerar energia elétrica limpa ou para aquecimento de água, a tecnologia de equipamentos e os maquinários, aumentando a EE dos mesmos. É papel do projetista em adequar o projeto, o edifício ou em processo de *retrofit*, as coordenadas necessárias para tal EE. Desta maneira, o Procel-Edifica (2013a e 2013b) descreve três fatores para o cálculo de categoria para a EEE, sendo a envoltória da edificação, a iluminação e o ar condicionado. Para as edificações comerciais, conforme ilustra a FIGURA 3, os sistemas de condicionamento de ar correspondem a 40% desse cálculo total, seguido por 30% para o fator de iluminação e 30% também pela envoltória do edifício [PROCEL-EDIFICA, 2013a]. Já as edificações residenciais consideram apenas a iluminação e o resfriamento artificial das residências. A envoltória entraria apenas como um pré-requisito para aumentar a pontuação para cálculo de categoria, isto é, poderia avançar, ou não (pois não é uma obrigatoriedade), a classificação da edificação nas pontuações finais de E até A [PROCEL-EDIFICA, 2013b].

FIGURA 3 - Fatores para o cálculo de categoria em EEE.

O diagrama ilustra a fórmula de cálculo de categoria em EEE, com os seguintes componentes:

- Envoltória (30%):** Representado por um bloco verde, contribui com 0,30 para o cálculo total. Sua fórmula é $\left\{ \left(\frac{\text{EqNumEnv.}}{\text{AU}} \right) \cdot \frac{\text{AC}}{\text{AU}} + \left(\frac{\text{APT}}{\text{AU}} \cdot 0,5 + \frac{\text{ANC}}{\text{AU}} \cdot \text{EqNumV} \right) \right\}$.
- Iluminação (30%):** Representado por um bloco amarelo, contribui com 0,30 para o cálculo total. Sua fórmula é $\left\{ \text{EqNumDPI} \right\}$.
- Condicionamento de Ar (40%):** Representado por um bloco vermelho, contribui com 0,40 para o cálculo total. Sua fórmula é $\left\{ \left(\frac{\text{EqNumCA}}{\text{AU}} \right) \cdot \frac{\text{AC}}{\text{AU}} + \left(\frac{\text{APT}}{\text{AU}} \cdot 0,5 + \frac{\text{ANC}}{\text{AU}} \cdot \text{EqNumV} \right) \right\}$.

A fórmula completa é: $PT = 0,30 \cdot \left\{ \left(\frac{\text{EqNumEnv.}}{\text{AU}} \right) \cdot \frac{\text{AC}}{\text{AU}} + \left(\frac{\text{APT}}{\text{AU}} \cdot 0,5 + \frac{\text{ANC}}{\text{AU}} \cdot \text{EqNumV} \right) \right\} + 0,30 \cdot \left\{ \text{EqNumDPI} \right\} + 0,40 \cdot \left\{ \left(\frac{\text{EqNumCA}}{\text{AU}} \right) \cdot \frac{\text{AC}}{\text{AU}} + \left(\frac{\text{APT}}{\text{AU}} \cdot 0,5 + \frac{\text{ANC}}{\text{AU}} \cdot \text{EqNumV} \right) \right\} + \frac{1}{0}$

Fonte: Procel Edifica (2013a)

Pode-se dizer que das 3 variáveis, o cálculo do condicionamento de ar é o item mais simples a ser calculado. Entretanto, este fato não despreza a complexidade do aparelho e de sua utilização e de seu gasto energético. Em pesquisas, Xiaotong (2009) apud Moraes (2013) afirma que no caso do condicionador de ar central, o consumo da energia representa mais da metade do consumo total de um edifício, podendo alcançar 60%. Portanto, a economia de energia pode prover diretamente na redução do consumo do sistema de condicionadores de ar.

2.3 O uso dos condicionadores de ar

O condicionamento de ar é um processo que objetiva controlar simultaneamente a temperatura, a umidade, a movimentação, a renovação e a qualidade do ar de um ambiente [MORAES, 2013]. Ele também pode controlar o nível de pressão interna do ambiente, em relação aos ambientes vizinhos. Este condicionamento implica em manter os valores de certas condições do ar (tais como a temperatura do termômetro seco, do termômetro úmido ou da umidade relativa, da movimentação e do grau de pureza), em função dos valores das condições locais. Já o ar condicionado é o resultado desse processo de condicionamento. Destinado ao conforto humano, a ABNT 12010 (1990) informa que os valores prefixados para a temperatura, a umidade relativa e a movimentação do ar devem determinar um ponto situado na zona de conforto estabelecida para o local.

Uma vez que o consumo dos aparelhos condicionadores de ar dentro de uma edificação é bastante importante, faz-se necessária a especificação correta do aparelho em função da carga térmica do ambiente para o uso racional da energia. Há ainda a possibilidade dos edifícios se tornarem mais eficientes através de reformas, adaptando-os a novas tecnologias de instalações elétricas, hidráulicas nos principais equipamentos já instalados nos edifícios. Entretanto, se não houver o controle no uso, não se alcançará a economia desejada.

Um projeto ou um equipamento de ar condicionado que racionalize o uso da energia dentro de uma eficiência correta, pode reduzir significativamente este consumo, produzindo uma economia que venha amortizar em curto prazo os investimentos implantados neste setor. Neste caso, Souza (2010) informa que a economia possibilitada pela aquisição de aparelhos de ar condicionado de potências e capacidades adequadas, aliado à escolha de aparelhos mais eficientes energeticamente, deve proporcionar impactos consideráveis na economia de energia. Isto se deve também, porque a utilização de condicionadores de ar nas edificações brasileiras é exacerbada, justificada pelo clima local, isto é, pela zona bioclimática na qual a edificação está inserida. Observa-se que existem estratégias que podem ser empregadas como a ventilação

(natural ou forçada) ou o resfriamento evaporativo [FROTA & SCHIFFER, 2003]. Entretanto, não podem ser aplicadas em todas as zonas, nem em todos os períodos do ano e nem em todos os ambientes, levando assim a necessidade do uso do ar condicionado.

A zona bioclimática tem por objetivo determinar as estratégias que um edifício deve seguir para obter o conforto térmico de seus ocupantes. O zoneamento bioclimático é o resultado geográfico do cruzamento de três tipos diferentes de dados: zonas de conforto térmico humano, dados climáticos, e estratégias de projeto e construção para atingir o conforto térmico necessário. É notória a correlação da influência da ABNT 15220 (ABNT, 2013) e do zoneamento bioclimático brasileiro como instrumentos de desenvolvimento de um projeto com EE. Bagnati (2013) confirma que aprofundar os conhecimentos sobre esta norma favorece o avanço da EEE como delimitadora dos pré-requisitos de um projeto coerente com o meio em que está inserido, revelando estratégias apropriadas para cada uma das zonas bioclimáticas do país.

Esta norma estabelece a divisão do território nacional em zonas, dividindo o país em regiões onde há uma relativa homogeneidade climática. Ainda, fornece diretrizes técnico-construtivas para condicionamento térmico-passivo da edificação para cada zona, visando o campo de aplicação das estratégias em habitações unifamiliares de interesse social. São definidas, portanto, oito as zonas bioclimáticas brasileiras. Para as cidades de mesma zona bioclimática, a partir do estudo de dados climáticos como a temperatura e a umidade do ar, as mesmas estratégias de projeto, têm aplicação relacionada. Para formular os métodos de condicionamento térmico ordenados para cada zona bioclimática, foram verificados alguns critérios: tamanho das aberturas (ventilação), proteção das aberturas, vedações externas (paredes e coberturas), e métodos para condicionamento térmico.

Conforme a norma, o que diferenciam aberturas pequenas, médias e grandes é a relação entre o percentual da área de abertura em relação à área de piso, tais como: pequenas de 10% a 15% de abertura), médias (15 a 25%) e grandes (acima de 40%). Enquanto as vedações externas, como parede e cobertura, são classificadas de acordo com transmitância térmica (U), atraso térmico (φ) e fator solar (FS_0) de cada elemento construtivo citado.

A cidade de Campo Grande situa-se na zona bioclimática 6. Para essa zona sugere-se que as aberturas de ventilação sejam médias e sombreadas e as paredes externas devem ser pesadas (isto é, com alta inércia térmica), com a cobertura leve e isolada. As estratégias recomendadas são paredes internas pesadas que possam fornecer uma maior inércia térmica

para o período do inverno; resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento e a ventilação no verão, quando a temperatura externa é inferior à interna, portanto surge a necessidade da utilização dos condicionadores de ar nessas regiões bioclimáticas (ABNT 15220-3, 2013).

2.4 Tipos de cálculos de carga térmica para conforto ambiental

A carga térmica de um ambiente é a quantidade de calor que deve ser retirada (resfriamento) ou colocada (aquecimento) no recinto para que o mesmo se mantenha a temperatura e umidade constantes. Seu conhecimento é indispensável para a escolha dos equipamentos condicionadores de ar e para o dimensionamento de instalações.

O cálculo de estimativa de carga térmica deve-se levar em consideração fatores internos e externos que influenciam nas variações de temperatura e umidade do local estudado. Como fatores externos, têm-se as propriedades físicas dos materiais que envolvem o ambiente, a ventilação, a infiltração, a insolação, os dados geoclimáticos como altitude, a localização geográfica e a temperatura. Internamente, são considerados fatores como número de ocupantes, tipo de atividade desenvolvida, dissipação térmica de lâmpadas e equipamentos, denominada fontes de calor, dentre outros que elevam esta carga [FROTA & SCHIFFER, 2003; LAMBERTS, DUTRA & PEREIRA, 2015]. Creder (2004) ainda cita as cargas provindas dos dutos e tubulações de equipamentos, como dos equipamentos de gás, ventilação e insuflamento. As somas dessas fontes de calor afetam as trocas térmicas do recinto que provocam a variação da temperatura, podendo gerar desconforto térmico. Após esse cálculo, uma conversão de calor (normalmente em W ou kW) é feita em BTU, onde 1 Btu/h equivale a 0,293 W. [FROTA & SCHIFFER 2003]. Os valores de consumo de energia elétrica dos condicionadores de ar brasileiros apresentados em seus manuais são resultados obtidos em laboratórios, com condições padronizadas de ensaio de acordo com a ABNT 12010 (1990). No entanto, os condicionadores de ar instalados operam em condições climáticas distintas nas cinco regiões do país.

Existem vários métodos de cálculo de carga térmica de um ambiente, que os profissionais podem utilizar. Há modelos mais simplificados, apresentados em sites específicos de condicionadores de ar. Nesses sites, estipula-se o volume do ambiente, com a inserção da largura, comprimento e pé direito, e em seguida, é informado o valor, em BTUs, do ar condicionado a ser utilizado. Entretanto, esse método não é aceito no meio científico, devido à

complexidade do modelo real, que utiliza de variáveis internas e externas para o ganho de carga térmica no ambiente.

Dentre os métodos de carga térmica, Moraes (2013) destaca os seguintes métodos: de Negrisoli [NEGRISOLI, 1987, apud MORAES, 2013]; de estimativa de carga térmica de verão [CREDER, 2004a, apud MORAES, 2013]; de Creder [CREDER, 2004b, apud MORAES, 2013]; o estipulado pela NBR 16401- Instalações de Ar condicionado- Sistemas centrais e unitários [NBR 16401, 2008]. Já Frota & Schiffer (2003) descrevem o método do Regime Térmico Permanente também definido como CSTB (*Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*). Creder (2004) descreve em suas pesquisas também, mais 2 métodos: o de Tabela Esquemática e Método Rápido de Verão. Como o tema deste trabalho não implica na definição dos métodos, e sim nas simulações, os mesmos não serão descritos em seus pormenores.

2.5 Trabalhos relacionados

Com relação à climatologia e ao conforto térmico, foram pesquisados artigos e publicações. Encontram-se alguns trabalhos que abordam a climatologia na cidade de Campo Grande, com ênfase na temperatura e na incidência solar.

Andreasi (2009) objetivou estabelecer um modelo alternativo (com pesquisas de campo) para a avaliação de conforto térmico em ambientes internos de edificações localizadas em região de clima quente do Brasil. Seguindo o autor, havia diferenças importante entre alguns modelos adotados para a verificação de conforto térmico utilizado por alguns profissionais tais como o Modelo Fanger ou Modelo Voto Médio Predito/Precentual de Pessoa Termicamente Desconfortável (VMP/PPD), para as regiões brasileiras de clima quente. O auto cita que

“...tem-se verificado que realmente ocorrem discrepâncias (...), principalmente em ambientes condicionados naturalmente localizados em região de clima quente e úmido (...). A bem da verdade, em outras regiões climáticas essas discrepâncias também são encontradas, como relatam Wagner et al (2007) em trabalho realizado na Alemanha” [ANDREASI, 2009, p. 28].

Para tanto, o autor utilizou como estudos de caso, três cidades do estado do Mato Grosso do Sul: Campo Grande, Coimbra e Corumbá. Essas cidades tiveram suas variáveis de interesse térmica coletadas (temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade e umidade do ar) e verificadas em pesquisa de campo, por meio do monitoramento das variáveis climáticas ambientais internas e externas e submissão aos voluntários (militares) participantes, questionários próprios para aquisição das variáveis subjetivas. E a principal conclusão deste

trabalho foi a definição dos modelos de avaliação determinados como necessários, para os dois ambientes.

É importante notar que muitos dos trabalhos pesquisados foram sobre a utilização de condicionadores de ar em espaços de uso públicos, edificados por empresas privadas como hotéis e hospitais, em cidades de clima tropical. Isso pode ser creditado a dois fatores importantes. O primeiro está relacionado à quantidade de aparelhos a serem utilizadas nessas regiões quentes/tropicais, onde se percebe a importância de pesquisas em EE em condicionadores de ar que são usados em grande quantidade e por um grande período do ano. O segundo está relacionado à iniciativa privada, onde além da EEE pretendida pelas mantenedoras dessas empresas, também se torna notória a visão da iniciativa privada em diminuir custos.

Em um artigo, Chang, Zhao & Zhu (2011) descreveram sobre os benefícios da EE nas construções em *retrofit* com a otimização da tecnologia, ofertando um retorno rápido por parte do investimento. De acordo com os autores, os métodos de avaliação podem ser divididos em avaliação “pré” e “pós” projeto. Para isso, utilizaram um projeto de *retrofit* para um sistema de ar condicionado nesses dois modelos de avaliação, respectivamente. O modelo de avaliação “pré” foi construído com base em um modelo com parâmetro denominado “Retorno Neutro de Propagação Artificial de Trabalho” utilizado em laboratório. Já o modelo de avaliação “pós” foi construído com base nos dados de teste no local e um parâmetro chamado de “Operação de Refrigeração de Economia de Energia”. Suas conclusões afirmaram que o resultado comparativo entre estes dois tipos de modelos de avaliação são energeticamente eficientes tanto no “pré” e no “pós” projeto. Os dois modelos podem ser usados para prever e avaliar o efeito de economia de energia de ar condicionado utilizado no *retrofit* e com isso, melhorar ainda mais o efeito real de economia de energia da construção em *retrofit*.

Em outro estudo, Yuan et al (2011) descreveram e avaliaram vários tipos de condicionadores de ar na China, tais como o ar condicionado simples, variável a 1/4 da velocidade de ar, multi-conectado (com calor), e sistemas com água gelada. Esses equipamentos tiveram seus cálculos energéticos realizados, além de seus desempenhos, dos valores de carga integrada, das normas de desempenho de EE, dos coeficientes de desempenho sazonal e dos valores de carga por parte integrada. Com isso, esses aparelhos tiveram suas normas de EE revistas. Baseando na termodinâmica desses aparelhos, portanto, este trabalho faz um comparativo de EE entre os diferentes tipos. De acordo com a verificação desses índices de avaliação, estes produtos foram classificados em dois grupos, o grupo “condições normais” e

do grupo de “condição de trabalho variável”. Os resultados mostraram que a termodinâmica de diferentes produtos de ar condicionado com o mesmo nível de normas de EE em cada grupo, diferem uma da outra. Com isso, para os autores, novas normas para ar condicionado na China, devem ser revistas para uma melhor utilização das peças e uma melhor EEE [YUAN et al, 2011].

Dongmei et al (2013) estudaram a influência dos parâmetros térmicos em um dormitório para a qualidade do sono. Na pesquisa, foi descrito que o ser humano passa cerca de um terço do de sua vida dormindo. E sob este aspecto, o sono pode ajudar as pessoas a superar cansaço, além de ser importante para a memória. Os pesquisadores estudaram a graduação da influência térmica sobre a qualidade do sono neste ambiente, além de diferentes abordagens de controle térmico ambiental, como cobertores elétricos e aquecimento de espaços para ambientes frios e de ventiladores e ar condicionado para ambientes quentes. Essas abordagens de controle térmico têm sido utilizadas para manter uma térmica adequada para o sono, de modo que a qualidade do mesmo não pode ser afetado negativamente. Nesse artigo foram detalhadas duas questões importantes relacionadas com refrigerações em dormitórios localizados nos Trópicos e Sub-trópicos, sendo: o ambiente refrigerado com ar condicionado à noite, e a ventilação necessária para uma pessoa dormir. Em seguida, foram estudados diferentes sistemas de ar condicionado usados em dormitórios e seus consumos de energia relacionados (com ênfase na qualidade do sono), o que pôde, para os autores, ajudar economizar mais energia sem atrapalhar o conforto térmico e da qualidade do ar interior. Finalizando, a pesquisa abriu um número de áreas de investigação para outros estudos futuros, incluindo estratégias de desenvolvimento de controle para sistemas de ar condicionado para ambientes de dormir, e um novo parâmetro de ambiente condicionado aplicável a um ambiente de dormir para uma maior economia de energia [DONGMEI et al, 2013].

3 O VIDRO COMO ELEMENTO DE ENVOLTÓRIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os vidros de envoltória hoje são largamente utilizados na construção civil, devido às suas peculiares características de transparência e dureza superficial, associadas à sua versatilidade, facilidade de corte, de lapidação e de moldagem. Nota-se que tanto nas antigas construções como nas atuais, o vidro é mais utilizado pela sua qualidade de transparência, fornecendo luz natural e comunicação com o ambiente externo, ao mesmo tempo em que assegura proteção, que são elementos importantes para sua utilização em um ambiente pelo ser humano [ZÓFOLI, 2011; WESTPHAL, 2016].

Atualmente, com o avanço da tecnologia dos materiais, há no mercado uma grande variedade de tipos de vidros, permitindo a cada um deles vários tratamentos aplicados sobre diferentes tipos de materiais e de espessuras. Isso confere ao vidro elementos de características muito variadas, podendo ainda ser combinados em produtos laminados ou em caixilhos (perfis de fixação) múltiplos. Na atual concepção de EE, sistemas de janelas de alto desempenho energético (que reduzem o ganho de calor no ambiente interno) entram cada vez no âmbito das construções. Dados da Associação Brasileira de Vidros [ABRAVIDRO, 2015] informam que entre 2012 a 2014, vidros com características térmicas de EE aumentaram sua produção em t/ano: o laminado em 18% (de 143.361 t/ano para 169.319 t/ano); o insulado em 108% (de 4.768 t/ano para 9.922 t/ano); enquanto o vidro temperado comum aumentou em apenas 12% (de 588.682 t/ano para 663.357 t/ano).

Neste capítulo, será descrita, no âmbito da ciência e da tecnologia dos materiais, a definição do vidro plano (do tipo *float*, como é tecnicamente mais conhecido), considerado a base para os outros tipos de vidros utilizados na construção civil, assim como suas matérias primas para sua produção e modo de fabricação. Haverá ainda, um breve relato sobre o efeito térmico na envoltória em vidro, abordando os coeficientes térmicos do mesmo. Em sequência serão definidos e descritos 4 tipos de vidro de diferentes propriedades térmicas utilizados na construção civil, com seus respectivos comportamentos térmicos: temperado, laminado, refletivo metalizado á vácuo e refletivo metalizado pirolítico. Desta maneira, pode-se mensurar em médio e longo prazo, qual seria o melhor *payback* nas construções brasileiras, tanto novas ou em processo de *retrofit* que necessitem de vidros planos nas fachadas.

3.1 Fabricação do vidro plano incolor (*tipo float*)

De acordo com Leite (2010), o processo de fabricação dos vidros em geral são classificadas em 4 grandes tipos:

- Vidros planos, fabricados em chapas e com larga utilização automobilística, moveleira, decoração e na construção civil (vedações);
- Vidros especiais ou técnicos, utilizados em diversos segmentos industriais, tais como indústrias farmacêuticas, alimentícias, automobilísticas, têxtil e também na construção civil (blocos de vidro, fibras de vidro para isolamento, telhas de vidro);
- Vidros de embalagem, largamente utilizadas nas indústrias de bebidas, alimentícias, farmacêuticas e de cosméticos; e
- Vidros de uso doméstico, utilizados em utensílios como louças de mesa, copos, xícaras, vasos e objetos de decoração em geral.

Para a produção do vidro plano incolor, as matérias primas são preparadas (moídas, peneiradas e pesadas na proporção ideal) e misturadas manualmente ou mecanicamente para depois serem aquecidas a um calor de aproximadamente 1500°C, transformando-se em uma massa fundida viscosa. Essa massa posteriormente sai do forno de uma forma contínua e plana, sendo depois resfriada e cortada em chapas.

Um dos processos mais modernos e também automatizados é o método de flutuação em banho de estanho (daí a denominação *float*, que significa “flutuar”, em língua inglesa). Essa técnica foi inventada em 1952 pela empresa Pilkington, situada no Reino Unido onde a partir desse processo, o vidro plano começou a ser produzido com uma espessura menor e em maiores quantidades e de forma contínua, [MICHELATO, 2007]. Desta forma cria-se um vidro com alto índice de transparência e nenhum tratamento especial.

Esse sistema, hoje mais tecnológico e adotado mundialmente, consiste em submeter o vidro fundido a 1600-1800 °C em um banho de flutuação em estanho (Sn), também fundido. A partir deste passo, ocorre um gradativo resfriamento de temperatura, sucedendo um natural enrijecimento do vidro a 800°C sobre o estanho ainda fundido [LEITE, 2010]. A espessura é controlada pela velocidade da lâmina de vidro que se solidifica à medida que continua avançando. A espessura natural do vidro no estanho é de 6 mm a 7 mm. Para se obter vidros mais finos, é necessário aumentar a velocidade dos roletes, esticando-se esse visco. Para vidros mais espessos, colocam-se anteparos nos roletes, diminuindo a velocidade do fluxo.

Após esse resfriamento, o vidro é novamente resfriado por igual a uma temperatura de 600°C a 100°C (denominado recozimento), onde o processo termina com o vidro apresentando

superfícies polidas e paralelas. Nessa variação de temperatura, o vidro é então submetido a uma inspeção automática por *scanner* com feixes a *laser*, que identifica possíveis falhas, fazendo refugos se necessário. Só então, caso passe pela inspeção, ele é cortado na medida desejada, em dimensões já pré-determinadas, empilhados em pacotes para expedição e armazenamento. Em boas condições, a face superior é perfeitamente plana, brilhante e com espessura uniforme, criando um vidro de superfície polida, e de qualidade ótica comparável aos antigos cristais, produzidos artesanalmente. Por isso recebe também a denominação de vidro-cristal, embora a composição química do cristal seja diferente do vidro plano incolor [BASTOS & MONTANO, 2013].

A massa vítrea também pode ser laminada por rolos. Esse método consiste em passar o vidro fundido por cima de rolos laminados, que podem ser lisos ou possuir gravações com desenhos ou motivos ornamentais e criativos (daí vem seu outro nome comercial de “fantasia”) permitindo a obtenção, nesse processo, de desenhos (impressões em relevo) em uma, ou nas duas faces da chapa de vidro. Esse processo denomina o vidro de “impresso”. A mesma massa vítrea pode receber aditivos minerais para se criar vidros coloridos, com a aplicação dos materiais selênio (Se) ou óxidos de ferro (Fe_2O_3) para deixar a coloração verde ou de cobalto (CO_2O_3) passando o vidro de incolor para azul. As espessuras disponíveis desses vidros são idênticas do vidro incolor.

O vidro *float*, entretanto, também pode ser re-fabricado em outros processos, denominando, desta maneira, 2 tipos de indústria vidreira plana: a “indústria primária” e “indústria secundária”. A indústria primária refere-se ao processo do vidro comum, definido anteriormente. Já a indústria secundária, o produto primário é então apurado, isto é, podem-se criar outras propriedades físicas ao vidro plano comum, acrescentando outros materiais e outras técnicas de produção. Muitos autores descrevem os mais variados tipos de subprodutos do vidro comum [BASTOS & MONTANO, 2013, LEITE et al, 2010; MICHELATO, 2007; ZÓFOLI, 2011, WESTPHAL, 2016]. Obtêm-se com esses diversos processos, outras características diferenciadas, adequadas a cada necessidade de aplicação, tais como o vidro aramado, quando se introduz uma tela de arame na chapa, aumentando sua resistência mecânica e evitando estilhaços em caso de ruptura; o vidro insulado, que é um sistema de envidraçamento duplo com uma camada interna de ar ou de gás desidratado, conferindo estabilidade termo acústico ao ambiente; ou o vidro temperado, quando se aplica uma têmpera no vidro *float*, aumentando, conseqüentemente suas propriedades mecânicas e de segurança.

3.2 A radiação solar como efeito térmico da envoltória em vidro

As fachadas envidraçadas têm características muito particulares que favorecem sua utilização, tais como a iluminação natural em contato com o exterior e estética de edificação, mas que incluem simultaneamente vantagens e desvantagens, se usadas incorretamente. As superfícies transparentes devem permitir a passagem de luz, proteger do calor e do frio além de ser elemento estético. Confirma ainda que o vidro é um elemento construtivo que estabelece uma inter-relação entre o ambiente interno e o entorno do edifício, e a energia radiante incidente [CARVALHO, 1984; WESTPHAL, 2016].

Ainda sobre as vantagens da transparência do vidro, a iluminação natural é a principal medida vinculada ao conforto visual, que conseqüentemente também auxilia em ganhos na saúde do ser humano [ULRICH apud BURKE & KEELER, 2010]. Portanto, a iluminação natural no ambiente interno compõe-se de um componente específico da qualidade deste ambiente. Villar (2009) descreveu ainda que iluminação natural possui outra vantagem: de se minimizar o consumo de energia pela redução de cargas de iluminação elétrica artificial, melhorando a EE.

Observa-se, entretanto, que esse conforto visual pode ser prejudicado devido o desequilíbrio entre as áreas envidraçadas e áreas opacas, pois uma iluminação interior adequada é obtida devido à função das características óticas, tamanho, formato e colocação dos vidros transparentes e também das propriedades refletoras das superfícies opacas interiores. Zófoli (2011) afirma que deve haver um equilíbrio entre áreas opacas e envidraçadas, sendo constantemente alvo de critérios de avaliação por parte do projetista, pois é importante para o desempenho térmico do edifício.

Desta forma, as envoltórias das edificações com áreas envidraçadas apresentam um papel importante ao se tratar conforto térmico quando recebem as irradiações solares. Na abordagem de um país tropical, como é o caso do Brasil, cuja temperatura média anual do ar é superior a 18°C, e com uma amplitude térmica diária maior que amplitude térmica anual, conhecer a funcionalidade da envoltória transparente, é de extrema importância [SANTOS, 2002].

Assim sendo, é importante destacar que essas envoltórias devem ser pensadas com os requisitos para conforto térmico e conseqüentemente para a EE, pois se mal dimensionada ou posicionada de forma errada em lugares de climas predominantemente quente e úmido ou quente e seco, podem provocar um aumento de temperatura desnecessária no ambiente interno. Conforme Rivero [1986, apud CASTRO, 2006], os fechamentos transparentes são um ponto

fraco na envoltória das edificações brasileiras, apresentando inconvenientes. Suas elevadas transmitâncias térmicas obrigam a se adicionar recursos para o dimensionamento dos equipamentos condicionadores de ar para o verão e o inverno, aumentando as despesas de instalação e de funcionamento.

Devido suas características de transparência e proteção na construção, a indústria do vidro foi sendo aprimorada por projetistas, por tecnologia e por novos materiais, respondendo às necessidades da temperatura e diversificando o material. Entretanto, Zófoli (2011), afirma que o modismo, estética e a falta de base técnica dos projetistas, levaram a se levantar edificações com suas superfícies envidraçadas, sem se pensar adequadamente nos efeitos da radiação solar. É de fundamental importância, portanto, verificar qual tipo de vidro é ideal para o projeto, pois um erro na escolha pode causar problemas, e corrigi-los depois pode ser bastante oneroso. As especificações corretas devem considerar não só as normas técnicas, mas também o conhecimento das características do vidro diante da radiação solar. As necessidades de iluminação e de contato visual com o exterior (necessidades estas a serem solucionadas com superfícies transparentes) devem, portanto ser trabalhadas com os requisitos de conforto térmico para se melhor aproveitar a energia solar incidente, resultando na EE [CASTRO, 2006].

3.3 Tipos de vidros e suas propriedades de radiação solar

As principais propriedades térmicas dos vidros em envoltórias estão relacionadas à qualidade de radiação solar transmitida para o ambiente interno. Neste aspecto, as superfícies transparentes são grandes receptoras de calor no ambiente: a entrada da radiação solar no ambiente por vidros (janelas ou cortinas de vidro) transforma-se em ondas de calor rapidamente, ao contrário do que acontece com as transferências térmicas pelas superfícies opacas. Esse calor excessivo é chamado de “efeito estufa”. Isso se dá porque os vidros são transparentes às radiações de onda curta (provindas do sol), entretanto, são opacas à radiação de ondas longas (calor).

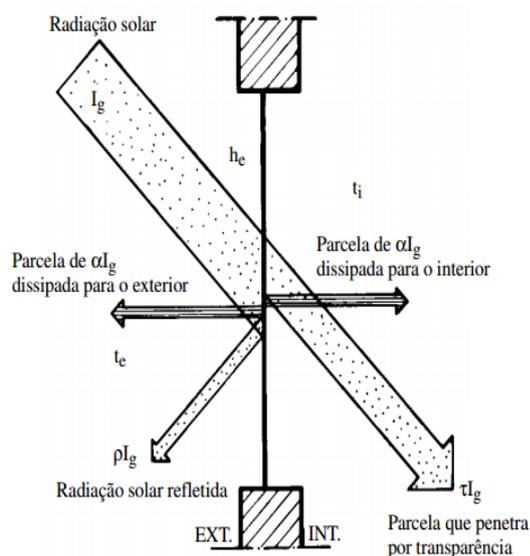
A grande parte da irradiação solar existente (curtas), ao passar pela superfície transparente do vidro, acaba por incidir nos materiais posteriores a eles (pisos, paredes, mobiliários). Sendo uma forma de energia, esse contato faz com que esses materiais sejam aquecidos. Esse aquecimento irradia ondas longas ao ambiente, onde essas são opacas aos fechamentos em vidro [GIVONI, 1981, apud CASTRO, 2006]. Desta forma, os vidros funcionam como barreiras para a troca do calor para o ambiente externo, ocasionando aumento considerável no ambiente interno. Em países de clima frio, essa técnica é muito útil para se

trazer conforto ao ambiente, captando e conservando a energia solar de manhã e utilizando-as à noite, mas em países de clima quente, isso pode se tornar um problema. Deste modo, no Brasil deve-se evitar o excesso de radiação solar, mas sem diminuir o aproveitamento de iluminação natural.

No campo da física, toda radiação solar incidente em um material transparente ou translúcido, caracteriza-se da seguinte maneira (FIGURA 4) [SANTOS, 2002; SHIMBO & SILVA, 2001; VILLAR, 2009; WESTPHAL, 2016]:

- Uma porcentagem é refletida para o exterior;
- Outra, em maior porcentagem, é transmitida ao ambiente interno; e
- Uma terceira porcentagem é absorvida pelo material, que representa sua energia acumulada. Do total dessa porcentagem, uma parcela é reirradiada ao interior e o restante, ao exterior do edifício. Essa porcentagem de reirradiação depende da “transmitância térmica total” do material transparente (fator U), bem como o “coeficiente superficial interno de transmissão de calor” (h_i) e o “coeficiente superficial externo de transmissão de calor” (h_e).

FIGURA 4 - Trocas de calor através de superfícies transparentes ou translúcidas



Fonte: Frota & Schiffer (2001)

As porcentagens correspondentes à energia absorvida, refletida e transmitida variam de acordo com o comprimento de onda que incide na superfície transparente ou translúcida, também devido a suas propriedades físicas (cor, espessura e índice de refração) e com o ângulo

de incidência da radiação [SCHOLZE, 1980, apud CASTRO, 2006; FROTA & SCHIFFER, 2003]. Os quocientes entre cada uma dessas partes e a irradiação total incidente, representam as propriedades térmicas solares do material translúcido ou transparente e designam-se, respectivamente por [ABNT NBR 15220, 2013]:

- Transmitância (τ): quociente da taxa de radiação solar que atravessa um elemento pela taxa de radiação solar incidente sobre este mesmo elemento.;
- Refletância à radiação solar (ρ): quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície; e
- Absortância à radiação solar (α): quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície

Com isso, podem-se considerar três tipos de fluxo de energia térmica através de janelas transparentes ou translúcidas [FROTA & SCHIFFER, 2003; ZÓFOLI, 2011]: ganho ou perda de calor na forma de condução, convecção e irradiação; ganhos de calor na forma de radiação; e trocas de ar (ventilação e infiltração). Percebe-se, portanto, que cada tipo de vidro (de composições químicas, de característica superficial e de espessuras diferentes), transmite certo grau de ganho de energia para o ambiente. A transmissão por condução é influenciada pela espessura do vidro (quanto maior a espessura, menor será a transmissão). Já a absorção é característica também da espessura do vidro, mas também da composição do mesmo (a adição de óxidos à composição causa absorção para determinadas regiões do espectro solar, podendo absorver seletivamente raios).

Para este trabalho, são descritos 4 tipos de vidros utilizados como envoltórias na construção civil. O critério para a escolha dos vidros partiu do vidro mais comum utilizado na construção civil, o temperado e os outros 3 vidros por serem mais eficientes energeticamente perante a térmica solar, conforme afirmações de Abividro (2003) e Abravidro (2013).

Observa-se que com o avanço tecnológico houve lançamento de novos tipos de vidros no mercado que podem ser utilizados na construção civil, tais como o “*U-glass*”, o insulado, o aramado, ou o *low-E*. Ainda podem-se citar os sistemas holográficos de envidraçamento, materiais cromogênicos (de cristais líquidos), vidros termocrômicos, fotocrômicos e electrocrômicos. Estes não foram detalhados por fugirem do tema desta análise.

Os vidros analisados serão descritos nas subseções seguintes.

3.3.1 Vidro temperado

O vidro temperado é produzido por meio de um forno de têmpera horizontal ou vertical. Nota-se que esse vidro *float* é submetido a um processo de aquecimento a 700°C, temperatura que ele começa a se tornar plástico. Em seguida, ele é resfriado bruscamente através de jatos de ar, que lhe confere uma resistência até cinco vezes maior em seu estado natural [ZÓFOLI, 2011].

Depois de temperado, o vidro não pode mais ser beneficiado, cortado ou furado, pois as tensões provocadas após o endurecimento não permitem tais atos. Portanto, qualquer processo de transformação, tais como recortes, furos, ou dentes nas peças, têm de ser feito antes da têmpera. Com isso, ele se torna mais resistente a choque térmico, flexão, flambagem, torção e peso. A têmpera, mesmo aumentando a resistência mecânica do vidro, não altera suas características espectrofotométricas, mantendo, portanto, a transparência do vidro *float*. E quando é quebrado, fragmenta-se em pequenos pedaços, pouco cortantes reduzindo também o risco de acidentes com cortes. Pode ser encontrado também nas cores verde, fumê, bronze e incolor, e nas espessuras a partir de 6 mm. Por ser o vidro que mais se assemelha ao vidro comum, o temperado do tipo transparente permite a passagem da maioria da radiação solar, apesar de não ter moléculas em formato absolutamente cristalino, apresenta uma organização molecular de forma que permite a passagem de luz [ZÓFOLI, 2011].

3.3.2 Vidro laminado

O vidro laminado consiste na união de lâminas de vidro, fortemente interligadas, sob calor e pressão, por uma ou mais camadas de resina ou película polimérica. A laminação por resina consiste na união das laminas do vidro (*float* ou temperado) com uma fita adesiva de dupla face [MICHELATO, 2007]. Possui como principal característica suas propriedades mecânicas, pela necessidade da proteção (pessoal ou patrimonial). O vidro laminado pode resistir a diferentes níveis de impacto e a ataques por vandalismo, e suas espessuras podem chegar até 60 mm [BASTOS, 2013]. Em edificações, são largamente utilizados em coberturas, panos de vidro (em fachadas), vitrines, sacadas, parapeitos, áreas esportivas, piscinas, claraboias e outros [CARAM, apud SILVA, 2007]. Entretanto, a laminação confere também ao vidro função térmica e acústica. A função térmica é fornecida quando se utiliza uma película pigmentada com inúmeras opções de cores, que filtra parcialmente a radiação de luz visível: a película age como uma barreira, retendo parte dessa energia dissipando-a para fora da

edificação, pela re-irradiação e convecção [MICHELATO, 2007; SAFLEX apud SILVA, 2007].

O vidro laminado pode ser encontrado em duas versões: simples e múltiplo. Os simples se caracterizam por possuir apenas duas laminas de vidro e uma polimérica. Os múltiplos possuem mais de duas lâminas de vidro e de duas a mais de película. Se as combinações entre os vidros envolverem outros tipos de vidros produzidos na indústria secundária, tais como os refletivos, ou a película colorida, pode-se chegar em excelentes resultados de baixa carga térmica, reduzindo-se a transmissão de luz e de calor pelo envidraçamento. Essa característica traz economia, melhorando o conforto térmico na edificação [SILVA, 2007].

Pelo fato de possuírem a película de polivinil butiral (PVB) em sua composição, as propriedades térmicas do vidro laminado são aumentadas, podendo reduzir em mais de 85% dos raios infravermelho (IV) e bloquear até 99,6% dos raios ultravioleta (UV), que são prejudiciais à saúde e principal causador de desbotamento de cores [CORBOM, 2015]. É importante ressaltar que é a película de PVB que garante cor ao produto e é um dos fatores responsável pela transmitância (τ) conferida ao vidro.

3.3.3 Vidro refletivos pirolíticos (*on line*) e a vácuo (*of line*)

O vidro refletivo, popularmente conhecido como espelhado, foi desenvolvido para filtrar os raios solares através da reflexão e da radiação em todas as frequências. São grandes aliados ao conforto ambiental e à EE das edificações [ARNAUD, 1997]. Este vidro é obtido pela aplicação de uma camada de óxidos ou de sais metálicos em uma das faces do vidro *float* (incolor ou colorido). Essa oxidação acentua o grau de reflexão dessa face, fazendo com que a visão do lado mais iluminado em direção ao menos iluminado seja proporcional à quantidade de luz incidente. Desta maneira, durante o dia a melhor visão se dá da parte interna para a externa da edificação, ocorrendo o chamado “efeito espelho”. O vidro refletivo pode ser lapidado, temperado, incorporado ao laminado ou até mesmo ter mais de uma camada, podendo ser dupla ou tripla. Até o presente estudo há dois processos de metalização: pirolítico (*on-line*) ou de câmara a vácuo (*off-line*).

Além do controle do calor, esse tipo de vidro também pode controlar a luz no ambiente. Trabalhado de forma correta, os vidros refletivos podem barrar certa quantidade de iluminação natural, a ponto de deixar o ambiente sem excessos de claridade, suficientes para deixar o

ambiente com uma iluminação confortável. No geral, a maioria dos vidros refletivos possuem baixa taxa de transmissão luminosa, dificultando a passagem da luz natural.

Na fabricação do vidro pirolítico pelo sistema *on-line*, a camada metalizada (ou refletiva) é pulverizada com óxidos metálicos durante a fabricação do vidro *float*, enquanto a placa ainda não esfriou, ou até mesmo após sofrer outro aquecimento, garantindo a homogeneidade á camada refletiva. Como a chapa de vidro está quente e com sua superfície ainda em estado plástico, os óxidos penetram um pouco na superfície e, ao resfriar, a camada refletiva (também denominada de camada dura, *hard coat*) torna-se resistente. Nesse método, o desempenho do vidro como filtro solar é mais fraco, ou intermediário. Pelo fato do vidro *float* poder ser reaquecido, esse processo permite ser retemperado, isto é, o vidro pirolítico pode ser curvado ou até mesmo serigrafado após sofrer o processo de pirólise. Este tratamento é mais viável para a fabricação em larga produção, para não haver diferenças na linha de produção, e também pelas perdas serem grandes [CASTRO, 2006; ZÓFOLI, 2011].

Por possuírem grande estabilidade na camada oxidada, dificilmente sofrem o processo de desgaste natural atmosférico, podendo ser utilizado com essa face voltada para o lado externo da edificação e apresenta refletividade externa maior. Em compensação, a relação refletividade interna/externa é melhor, pois reflete mais para o exterior do que para o interior. Por ter uma camada mais resistente, o vidro pirolítico pode ser temperado, curvado, laminado ou utilizado de forma monolítica, além de compor o duplo envidraçamento [ARNAUD, 1997; CASTRO, 2006].

Segundo Arnaud (1997), o índice de refletância (ρ) gira em torno de médias de 85%. Índices maiores podem ser obtidos, mas a transmissão de luz diminuiria e os custos aumentariam. A tonalidade da cor é obtida por uma camada de “cor de supressão” cuja espessura tem de ser cuidadosamente controlada. Revestimentos pirolíticos são relativamente transparentes a infravermelho (responsáveis pelo calor no ambiente) que proporciona um bom ganho solar para a janela.

Já no processo *off-line*, a chapa de vidro passa por uma câmara mantida parcialmente a vácuo, na qual recebe a deposição de átomos de metal sobre uma de suas faces. Nesta câmara de temperatura ambiente, parcialmente ocupada com um gás (argônio, nitrogênio ou oxigênio) recebe, através de cilindros, as placas de vidro já previamente cortadas. Esses cilindros posicionam cada uma das placas sobre uma placa de metal, também com as mesmas dimensões dos vidros. Em alta voltagem, elétrons de grande energia são produzidos entre o vidro e a placa, criando íons de cargas positivas no gás, que, ao colidirem com a placa do metal, acabam por

ejetar átomos, que depois se condensam na superfície do vidro, formando assim uma camada metálica. Esse processo é denominado *sputtering coating* [CLEDWIN-DAVIES, 1993]. Desta maneira, o vidro é capaz de reduzir sensivelmente a passagem do calor solar para o ambiente interno, funcionando como uma barreira contra os raios ultravioletas, mas sem prejudicar a luminosidade do local. Isso resulta em um vidro refletivo com bom desempenho de proteção solar, entretanto, com uma camada refletiva superficial, de baixa resistência [CASTO, 2006]. Esses são mais flexíveis que os pirolítico, sendo possível a utilização para curta produção e pequenas quantidades. [ABIVIDRO, 2007; ABRAVIDRO, 2015].

Segundo Arnaud (1997), esses vidros possuem alta refletância (ρ) dos raios infravermelhos longos, de até 95,0%, perto do limite teórico, assim como um excelente desempenho à luz visível. Para se obter a neutralidade da reflexão, a espessura das três camadas tem de ser cuidadosamente controlada. Neste caso, são vidros bem cotados a serem utilizados em lugares quentes, como é o caso brasileiro e são considerados, portanto, os melhores para desempenho térmico em relação aos vidros comuns [ARNAUD, 1997].

3.4 A persiana nos edifícios envidraçados

No contexto atual da arquitetura da edificação, são projetadas grandes superfícies de elementos transparentes nas fachadas e somando à incidência da radiação solar direta, ocorrem grandes deficiências no conforto térmico [PEREIRA, 2007]. A escolha inadequada da fachada ensolarada, do vidro a ser utilizado, ou mesmo de ausências de protetores solares, promove problemas na climatização dos ambientes, comprometendo a EEE.

Pinatti (1999) informa que deve haver uma maior atenção para as janelas de um edifício, pois é através delas que ocorrem as transferências energéticas mais importante. Para a seleção das janelas no projeto, devem-se considerar os fatores arquitetônicos (que identifica as opções de desenho associadas ao clima local e sintetizando aquelas que asseguram conservação energética da construção) e o térmico (que projeta as perdas e ganhos de calor de modo a obter uma condição térmica e econômica). Em ambos os fatores, devem ser considerados os valores econômicos (que avalia os custos e a vida útil para as diversas alternativas de janelas) e principalmente as necessidades humanas e as normas de iluminação apropriadas para o local e conforto.

Outro fator que agrava os excessivos vidros das fachadas é definido por Roaf, Crichton & Nicol (2009) como as mudanças climáticas ainda constantes em nosso planeta. Em regiões ainda que padeçam de inconstantes climáticas, projetar edifícios com vidros em seus

fechamentos externos, pode atrapalhar seu conforto ambiental, conseqüentemente sua finalidade ao qual foi primeiramente concebida. Assim, a incidência e radiação solar na fachada tende a aumentar em relação à constante definida para aquela edificação.

Neste contexto, estratégias de projeto precisam ser tomadas para melhorar a qualidade dos edifícios, como o tamanho das janelas, a forma da edificação, a profundidade e a altura das salas podendo junto, dobrar o consumo de energia se não forem bem projetados. Mas se a edificação já estiver concluída, pode haver uma necessidade de criação de sombreamentos ou protetores artificiais mais práticos e menos trabalhosos, isto é, após a obra, tais como *brises*, cortinas ou persianas ou películas solares (*insufilms*). As opções de tratamento em relação à radiação devem ser consideradas, portanto de acordo com as possibilidades econômicas de cada usuário e local a ser utilizado.

Muitos parâmetros são envolvidos na escolha de um sistema de sombreamento, tais como o tipo, tamanho e localização do mesmo sobre a quantidade de radiação solar direta, difusa e refletida. (LECHNER, 2008 apud NOORA, 2013]. Dentro de uma variedade de sistemas de sombreamento, ainda podem ser divididas em duas principais categorias: dispositivos de sombreamento internos e dispositivos de sombreamento externos.

O sombreamento interno é quase sempre ajustável e é tipicamente na forma de rolo, persianas ou cortinas. Entretanto, esses dispositivos não barram a luz solar direta no vidro, só após ele. As camadas de vidros absorvem o calor e o inserem para dentro do ambiente. Como resultado, dispositivos de sombreamento internos não devem ser definidos como sombreamento, apenas como protetor solar de controle de iluminação [BADER, 2012, apud NOORA, 2013].

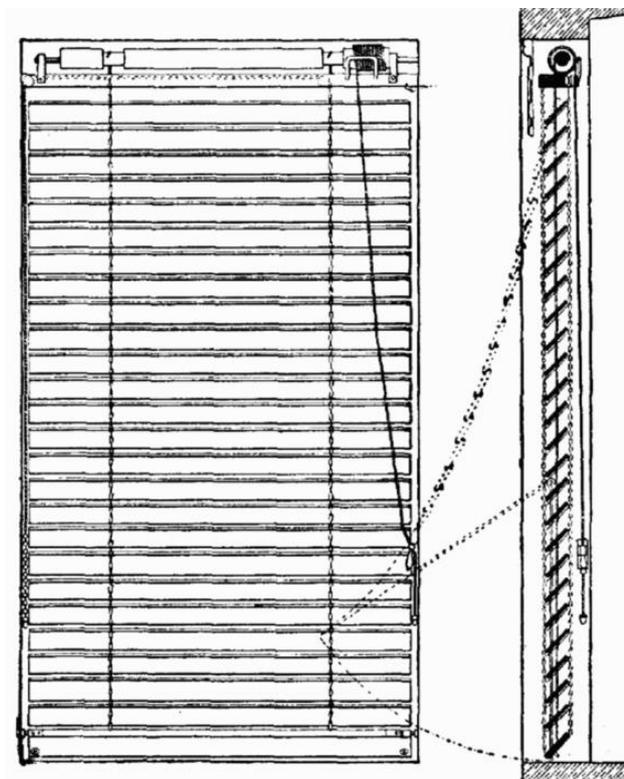
Já os sombreamentos externos são os protetores solares (de carga térmica) mais eficazes e têm o maior efeito sobre a estética de um edifício. A radiação solar direta pode ser efetivamente controlada por esses dispositivos. Eles bloqueiam o sol antes do mesmo aquecer a superfície do vidro e penetrar na janela. Para controles solares adicionais, implementação de grelhas e *brises* com diferentes inclinações podem também ser muito úteis. Esses dispositivos ainda podem ser divididos em duas categorias principais: sombreamento vertical e horizontal [NOORA, 2013].

O sombreamento externo horizontal é o mais comum. Podem estar presente na frente dos vidros ou entre eles (sistema sanduiche). As aletas horizontais móveis podem fornecer quase sombreamento completo. Além disso, elas podem ser ajustadas manualmente por parte dos utilizadores, ou automaticamente de acordo sobre a posição do sol [NOORA, 2013]. Já o

sombreamento vertical é uma das proteções solares mais eficazes. Projetados adequadamente eles cumprem os quesitos de energia, luz natural, visibilidade e flexibilidade. Podem proporcionar boa iluminação natural e vista para o exterior.

Estudos [ROAF, CRICHTON & NICOL, 2009] ainda descrevem que a maioria das persianas que são usados em edificações no Reino Unido cujas fachadas são em excesso de vidraças, é utilizada em dias de sol, mesmo se tratando em um país predominantemente de clima frio. Além de muitas das vezes não resolver o problema do superaquecimento, resultam em um maior consumo de energia para a iluminação. Os autores desse estudo ainda finalizam suas afirmações ao assegurar que edifícios de vidros com poucas ou nenhuma proteção solar que superaquecem é um problema internacional. Dentre os protetores solares mencionados, os do tipo “persiana” são muito utilizados, pois a persiana é um elemento decorativo que, além de função térmica, também possui a de decoração, sendo utilizado na parte interna de janelas ou portas para vedar a entrada de iluminação ou controlá-la parcialmente quando desejado (FIGURA 5 e FIGURA 6).

FIGURA 5 - Fachadas em vidros com formações anisotrópicas, mudando a estética da edificação.



Fonte: Ilgut, Schuler & Bucak (2015)

FIGURA 6 - Persiana instalada.



Fonte: arquivo do autor.

As persianas foram desenvolvidas para atender a necessidade de quem precisa obstruir totalmente a luminosidade ou isolar ambientes de forma moderada ou por completo em ambos os lados, possuindo bastante eficácia em privacidade com controle visual. Considera-se também como fator importante da persiana em si, o fato da mesma não barrar a incidência direta solar da parede envidraçada, porém, proteger o ambiente interno da insolação, sem impedir a ventilação [BARBOSA & LIMA, 2005]. Podem ser de diversos materiais, tais como tecido, vinil, poliéster, PVC, madeira ou alumínio.

De qualquer forma, qualquer tipo de ajuste pode ser crucial, conforme afirmações de Fuentes & Thomas (2009), a instalação de qualquer tipo de protetor solar pós-obra pode ser ineficaz, caro, e nem sempre confiável. Segundo os autores, a radiação solar pode facilmente aquecer o ambiente interno. Ocorrendo nos dias mais ensolarados das meias estações (primavera e outono) e no verão. Desta maneira, é crucial um bom estudo da carga térmica adquirida no ambiente com e sem as persianas (ou qualquer outro tipo de protetor solar) nesses ambientes para uma melhor EE no espaço.

3.5 Trabalhos relacionados

Na forma de esquadrias, panos e cortinas de vidro ou em outras utilizações, inúmeros autores nacionais têm demonstrado, há tempos, as características do vidro, tais como nos aspectos construtivas [GUERRERO, 2002; MICHELATO, 2007], estéticos [CASTRO, 2006; MICHELATO, 2007; NICOLETTI, 2009] e de controle energético [CASTRO, 2006; FERNANDES, 2013, MICHELATO, 2007, NICOLETTI, 2009 PEREIRA, 2005, SANTOS, 2002, RODRIGUES Jr, 2000]. É fato, portanto, que, conhecer as principais características do vidro, amplamente utilizado nos projetos de arquitetura, é de grande importância. Símbolo de

modernidade arquitetônica, o vidro na construção civil pode, desta maneira, ser considerado um material de tecnologia avançada.

No âmbito da cadeia internacional, autores também tem demonstrado bastante interesse no assunto. Grynning (2015) definiu que vários fatores devem ser abordados em componentes de janelas para sanar demandas excessivas de calor. Com isso, seu estudo objetivou investigar o desempenho de várias soluções de janela no contexto de edifícios com baixa energia térmica situadas em Oslo, na Noruega. O foco do estudo foi o desempenho térmico e ótico e de sistemas de avaliação de desempenho para edifícios em todas as suas faces. Foram realizadas pesquisas experimentais e simulações em programas para avaliar o desempenho de janelas e possíveis protetores solares. Os estudos de caso mostraram que as propriedades térmicas dos vidros desempenham um papel vital ao tentar reduzir a demanda de energia em edifícios de escritórios. Já no trabalho de simulação, um dos principais resultados é que as exigências de refrigeração estão se tornando um fator dominante em edifícios de escritórios com fachadas bem isoladas termicamente, mesmo o estudo sendo na cidade pesquisada, predominantemente fria, como Oslo. O estudo conclui a importância que a concepção da janela e fachadas de vidros utilizados em tais edifícios, deva levar em conta não apenas propriedades térmicas e óticas, mas também relacionadas com a insolação. Janelas em vidro com baixo índice de radiação UV foram encontrados para ser o ideal para o prédio de escritórios para a mesma cidade. Isso garante um equilíbrio ótimo onde, tanto quanto possível dos ganhos solares úteis são colhidas, enquanto, ao mesmo tempo, os ganhos solares que conduzem a exigências de resfriamento são mantidos a um mínimo. Estes resultados suportam a necessidade de uma avaliação mais holística de ambas as propriedades térmicas e óticas das janelas.

Este estudo afirma ainda que janela com painel UV com fator 4 de proteção, será igual ou até melhor do que paredes opacas altamente isoladas (ou seja, igual ao nível de isolamento da casa padrão norueguesa) em relação às demandas de aquecimento e de refrigeração totais nos prédios de escritórios. Isso mostra que seria possível se afastar de casas, com as áreas das janelas pequenas, ampliando assim, a flexibilidade na arquitetura, *design* e *layout* de futuros edifícios com energia térmica baixa ou nula.

Em outro estudo pesquisado ainda por Grynning (2015) foi que a escolha de uma estratégia de controle de sombreamento pode ter impactos significativos sobre a demanda de energia nos escritórios. Dependendo da estratégia, a demanda de energia pode aumentar ou diminuir em comparação com um escritório pequeno. Verificou-se que o uso indevido de sistemas de sombreamento leva a um aumento na demanda de energia total podendo ser maior

que 10%. Assim, pode concluir-se que a utilização errada de sistemas de sombreamento leva a um aumento na demanda de energia total. Para o autor, a causa é pelo fato de que a estratégia de sombreamento errado vai bloquear mais dos ganhos solares benéficos do que os ganhos solares indesejáveis que levam a exigências de resfriamento. O autor afirma ainda que problemas de brilho devem ser abordados e reduzidos a um nível aceitável. Assim, torna-se óbvio que os edifícios modernos e as demandas de seus usuários que fazem dispositivos de sombreamento, são necessários para manter o conforto visual e térmico e também para reduzir as exigências de arrefecimento durante certos períodos do ano.

A utilização de sistemas de proteção solar é, portanto, vital para reduzir a demanda de energia. No entanto, devem ser utilizados com planejamento cuidadoso. Grynning (2015) descreve que melhorar o desempenho energético das janelas não deve ser visto como um exercício de adicionar mais e mais camadas de vidros do tipo UV isolados (apesar do total de reduções de demanda de energia de um edifício pode ser de até 20%). Um importante argumento contra o uso de vários painéis UV (com quatro ou mais camadas) é que o peso do material vai aumentar e tornar o transporte, o manuseamento e montagem das janelas impraticável ou impossível, além de cargas adicionais sobre a estrutura. Além disso, a transmitância solar visível será reduzida e percepção visual dos habitantes provavelmente será prejudicada. O autor verificou que a única forma prática de reduzir a transmitância térmica, sem a adição de camadas adicionais de envidraçamento é reduzir a condutividade térmica do gás de vidros insulados. Outra alternativa para melhorar as propriedades térmicas é pela adição de camadas de vidro, ao mesmo tempo em que tenta manter o peso das unidades, com o uso de camadas de vidros mais finas. No entanto, isso leva a desafios para camadas extremamente finas, com espessuras muito baixas, na ordem de 0,1 mm.

O autor ainda escreve que foram investigadas as possibilidades de utilização dos painéis de sombreamento para reduzir a transmitância térmica das unidades de vidros ao se utilizar o sombreamento. Foram estudados os efeitos de operação dos dispositivos de sombreamento com vários ângulos e posições de venezianas. Uma redução de valores de carga térmica quando da implantação das proteções solares verificou-se ser na ordem de 1 a 3%.

Lai & Hokoï (2015) finalizaram uma revisão sobre fachadas envidraçadas e não envidraçadas com base em artigos divulgados entre 2010 até a publicação da mesma, em Taiwan, denominadas por eles de “fachadas solares”. Neste estudo, eles definiram que fachadas de edifícios são elementos-chave para iluminação interior, ambientes térmicos interiores, e de utilização de energia solar e controle. Para além dessas funções, essas fachadas são concebidos

para rejeitar ou absorver o calor solar e reutiliza-lo quando necessário. O estudo divide a fachada solar em 2 tipos principais e suas categorias: fachadas solares opacas (ou translúcidas), e fachadas transparentes ou semitransparentes. Eles descreveram a formação de estruturas de cada uma e a descrição e funcionamento delas e de suas categorias tanto para fachadas como elemento estético, como para subsídios térmicos. Este trabalho mostrou aos interessados que os vidros hoje para fachadas estão tão em alta, que divisões e subdivisões de modelos de fachadas solares podem ser criadas. Isso ajudaria aos projetistas, tecnólogos em edificações ou mesmo aos clientes, a definir melhor que tipo e de fachada seria melhor ser utilizado nos novos projetos.

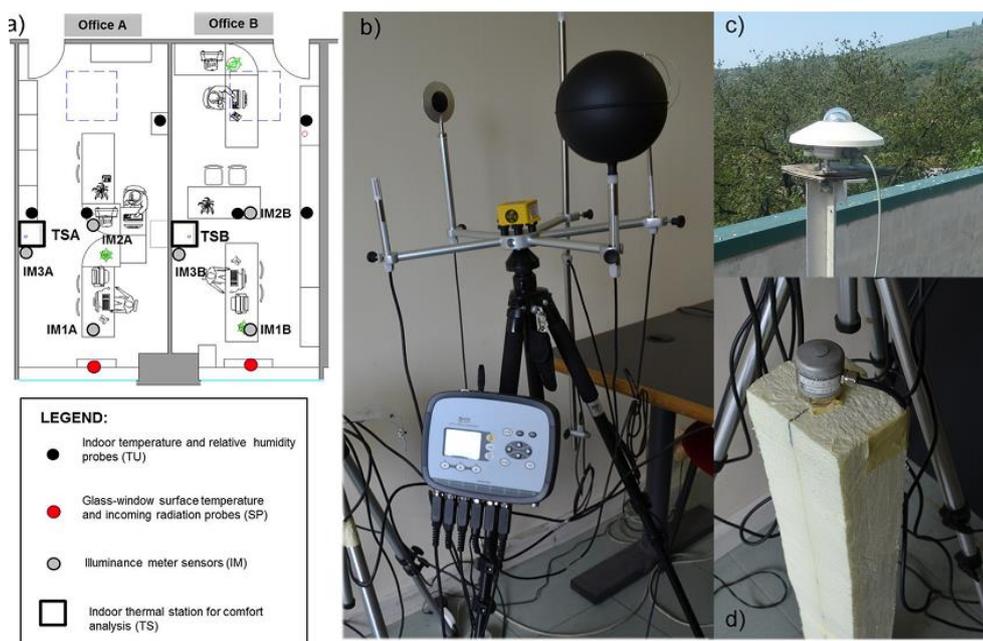
Gomes, Santos & Rodrigues (2014) realizaram um minucioso estudo sobre simulações de ganhos de calor em ambiente com a persianas. Os autores demonstraram que o uso crescente de áreas envidraçadas na fachada dos edifícios pode levar a altos ganhos solares e problemas de iluminação que podem impactar fortemente todo o consumo de energia do edifício, cargas altas de energia e conforto interno. Desta maneira, ainda segundo os pesquisadores, uma estratégia importante e fundamental no projeto de uma construção sustentável para controlar os ganhos de calor solar e iluminação natural após a edificação já estar concluída, é o uso de dispositivos de sombreamento. Portanto, recomendam, quando possível, a utilização de modelos computacionais que podem estimar com precisão as propriedades óticas dos diferentes tipos de dispositivos de proteção solar (tais como cortinas do tipo *rolon* e persianas) e incluir os seus efeitos na análise de envidraçamento.

Este artigo descreve ainda um uso de radiação solar em uma fachada envidraçada, para determinar as propriedades óticas solares e visíveis dos vidros com dispositivos de sombreamento, em particular, pelas venezianas. Os resultados numéricos ainda foram comparados com medições experimentais *in situ* realizadas em um protótipo ao ar livre. O comparativo entre previsões numéricas pelo modelo computacional e resultados experimentais foi melhor para dias nublados mas com o céu claro. Além disso, finalizam os pesquisadores, é necessário um projeto de controle solar por veneziana que bloqueie a radiação solar direta, enquanto que permita a transmissão de radiação difusa para dentro de casa [GOMES, SANTOS & RODRIGUES, 2014].

Moreti & Belloni (2015) estudaram persianas como forma adequada de resfriamento para reduzir os consumos de energia e reduzir as condições de desconforto em edifícios envidraçados. O trabalho consistiu em uma quantificação de energia térmica e iluminação natural junto ao uso e desempenho de persianas em dois escritórios semelhantes, sendo um com e outro sem persianas de controle solar, em um edifício multifuncional em clima moderado.

Para os autores, as persianas reduziram fortemente a radiação solar para dentro do imóvel (cerca de 60%). Durante a primavera, elas permitiram uma redução aproximada de 23° C da temperatura do ar interior, durante os dias ensolarados e influenciaram também o termômetro de bulbo seco² (FIGURA 7):

FIGURA 7 - Posições dos termômetros e fotômetros nos 2 escritórios. A- localização dos pontos, conforme legenda, B- estação de monitoramento das termais internas, C- fotímetros interno e externo.



Fonte: Moretti & Belloni (2015)

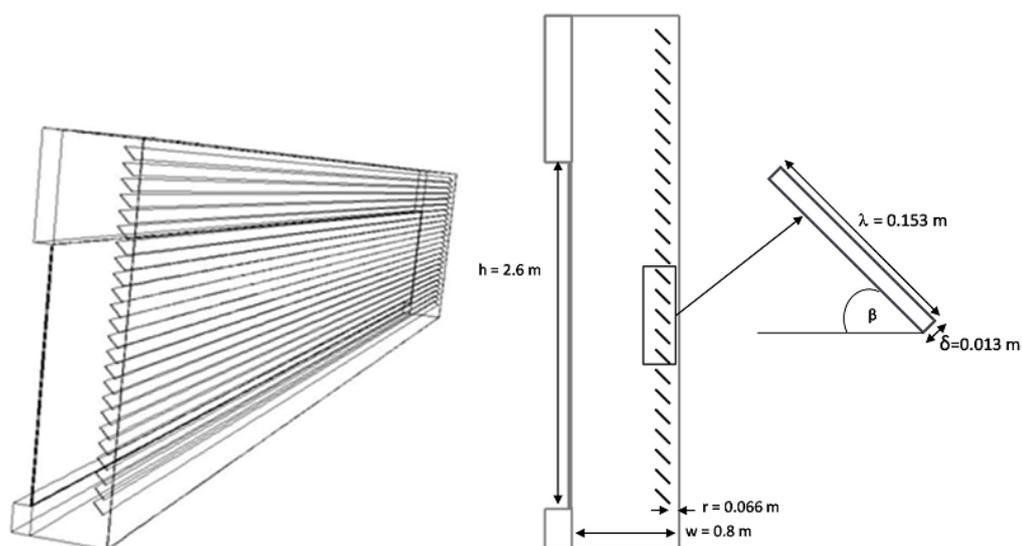
Além disso, com a persiana, a contribuição da luz artificial aumenta, especialmente em dias nublados, porque o nível de iluminância média diária é reduzido em aproximadamente 59%. Finalizando, os autores confirmaram que as simulações mostraram que o resfriamento diminui a demanda de energia em 29% devido às persianas, mas ao mesmo tempo o consumo de energia para aquecimento aumenta em 15% no inverno.

Um outro estudo, também atual, descreve as pesquisas de Parra et al (2015): os autores estudaram a dinâmica dos fluidos do calor por meio computacional em meio a janelas com a persianas em Barcelona, Espanha. O programa utilizado provou ser uma ferramenta útil para modelagem de fluxo e transferência de calor nessas fachadas em vidro com persianas, incluindo condução, convecção e radiação de transferência de calor. Os estudos avaliaram, por meio do programa, a influência de vários parâmetros ópticos de construção e operação de paredes

² Também denominado termômetro comum.

envidraçadas com persianas, tais como as propriedades óticas dos materiais, relações geométricas das condições das aletas das persianas (FIGURA 8) ou corrente de fluxo. Em termos de EE medido como redução da carga de energia solar que entra no edifício, os resultados obtidos mostraram que parâmetros como a proximidade da persiana para o a fachada ou um tratamento de superfície diferenciada para as faces internas e externas das aletas, pode nitidamente melhorar o resfriamento do edifício e o desempenho térmico da fachada [PARRA et al, 2015].

FIGURA 8 - Embasamento de configuração de estudo geométrico das aletas da persiana em estudo de carga térmica computacional.



Fonte: Parra et al (2015)

4 METODOLOGIA

Para realizar a análise da EEE envidraçadas na cidade de Campo Grande-MS, foram executadas simulações no *software EnergyPlus* compiladas de quatro variáveis: orientação solar, porcentagem de abertura das paredes envidraçadas, tipo de vidro e uso de persianas internas. Com os resultados do *software*, foi possível controlar e observar as propriedades que as variáveis produziram no experimento, ou seja, em uma pesquisa de causa e efeito.

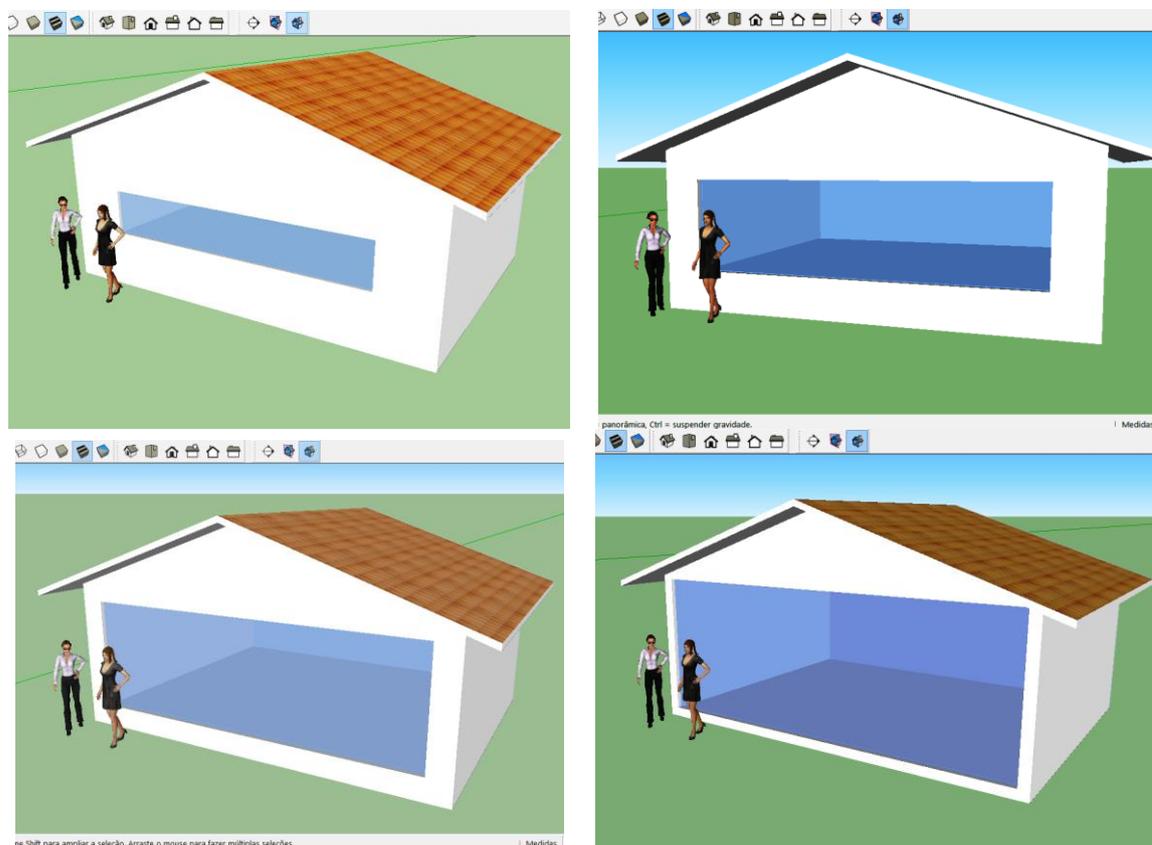
O ambiente para as simulações foi projetado com quatro paredes, piso e cobertura. Suas dimensões foram de 7,50 x 5,00 m, e pé direito de 2,65 m. As medidas foram captadas como dimensões médias de salas projetadas por construtora que edifica prédios comerciais e corporativos na cidade de Campo Grande-MS.

Observa-se que nas simulações, apenas uma parede teve vedação em vidro. As outras 3 paredes, assim como o piso e a cobertura não tiveram alterações em suas dimensões e nem nos materiais durante todas as simulações.

O ambiente foi simulado em alvenaria com tijolo cerâmico oito furos (9,0 x 19,0 x 19,0 cm), com argamassa de reboco de 2,5 cm (duas faces) e de assentamento de 2,0 cm, totalizando espessura final da parede de 14 cm. Com acabamento no próprio reboco com traço de 1:2:8 (cimento, cal e areia), com pintura interna e externa na cor clara (branco neve). O piso é de laje de concreto maciço de 12,0 cm de espessura e acabamento em piso cerâmico com 0,7 cm de espessura.

A cobertura é em laje de concreto maciço de 12 cm de espessura com telha cerâmica tipo romana, com 1,0 cm de espessura, não esmaltada, com estrutura em madeira. Com duas águas (no maior comprimento do ambiente e oitão do mesmo material da alvenaria descrito acima) e inclinação de 35%, com beiral de 60 cm de projeção em toda sua extensão, conforme modelo demonstrado na FIGURA 9. Em “Anexo A- índices de densidade (ρ), resistência térmica (λ) e calor específico (c) dos materiais de edificação”, apresentam-se as características das propriedades térmicas dos materiais descritos acima, obtidos pela NBR 15220 (ABNT 2013) e utilizados nas simulações.

FIGURA 9 - Modelo tridimensional dos 4 ambientes a serem simulados, com as vedações em vidro em 25%, 50%, 75% e 100% da área de vedação da alvenaria.



Fonte: arquivo do autor

4.1 Características das variáveis utilizadas nas simulações

Cada uma das quatro variáveis utilizadas nas simulações foram modificadas (denominadas parâmetros). São elas:

- O tipo de vidro utilizado na vedação (4 parâmetros);
- A orientação solar da parede envidraçada do ambiente de estudo (5 parâmetros);
- O uso de persianas para uso como protetores solares térmicos (2 parâmetros); e
- A proporção de área da parede envidraçada (4 parâmetros).

Desta maneira, foram realizadas 160 simulações (4x5x2x4 parâmetros) para um dia típico de verão em Campo Grande. As quatro variáveis são descritas nas subseções seguintes.

Para as simulações, por se tratar especificamente de calor em ambiente interno provindos da energia solar, não foram consideradas as cargas térmicas provenientes de

equipamentos, de iluminação e até mesmo de pessoas no ambiente. Nota-se que só há mudança de uma variável por simulação, considerando-se as demais condições, todas iguais. Não foram realizadas análises sobre as propriedades e intensidade da iluminação natural do ambiente mesmo sabendo que suas qualidades são oriundas de maiores vedações transparentes.

4.1.1 Vidros

O critério para a escolha dos quatro tipos de vidro usado nas simulações foi do vidro mais utilizado em vedações (vidro temperado) e outros três definidos popularmente como “eficientes” energeticamente (laminado, refletivo metalizado pirolítico e refletivo metalizado a vácuo). Todos os vidros são incolores e transparentes. As únicas exceções são os vidros refletivos, que não possuem modelos incolores. A TABELA 1 apresenta os índices térmicos dos vidros em estudo e expressam como se comportam em relação às suas propriedades de radiações solares. Esses índices foram obtidos na Abrividro & CB3E (2015).

TABELA 1 - Variáveis dos tipos de vidros e suas propriedades.

Tipo de vidro	Temperado incolor	Laminado incolor	Refletivo pirolítico prata	Refletivo a vácuo prata
Referência (marca/modelo)	Vidro temperado -----	RAC 5-Cool Lite SKN	RAC 32-Reflecta Incolor	RAC 52-Silver 20 clear
Esp. (mm)	8	8	8	8
Tsol	0,75	0,24	0,37	0,15
Rsol1	0,07	0,37	0,35	0,30
Rsol2	0,07	0,36	0,34	0,24
Tvis	0,87	0,51	0,32	0,19
Rvis1	0,08	0,17	0,48	0,32
Rvs2	0,08	0,18	0,51	0,25
Tinf	0	0	0	0
Emis1	0,84	0,84	0,84	0,84
Emis2	0,84	0,84	0,84	0,84
Condutividade (W/mK)	1	1	1	1

Fonte: Adaptado de Abrividro & CB3E (2015)

Pela tabela, são demonstradas as seguintes características dos vidros:

- Referência: os 4 tipos de vidros e suas marcas. Apenas o vidro temperado não possui a marca, visto que suas características são inerentes de marca;
- Esp. (mm): espessura do vidro, em milímetros;

- T_{sol} : transmitância à radiação solar por incidência solar normal. É a transmissão de calor por unidade de tempo que o vidro passa de uma face (externa, que recebe a incidência, também denominada face 1) para a face oposta a ela (interna, denominada face 2). Valores entre 0 a 1.
- R_{sol1} : refletância à radiação solar na face 1 por incidência normal. Propriedade do vidro em refletir luz pela face incidente do sol.
- R_{sol2} : refletância à radiação solar na face 2 por incidência normal. Propriedade do vidro em refletir luz pela face oposta à incidência do sol.
- T_{vis} : transmitância à radiação solar no espectro visível por incidência normal.
- R_{vis1} : refletância radiação visível na face 1 por incidência normal.
- R_{vis2} : refletância radiação visível na face 2 por incidência normal.
- T_{inf} : transmitância a infravermelho. O valor é 0,0 para todos os vidros.
- $Emis1$: emissividade de ondas longas na face 1 por incidência normal.
- $Emis2$: emissividade de ondas longas na face 2 por incidência normal.
- Condutividade (W/mK): condutividade térmica do vidro.

4.1.2 Orientação solar da parede envidraçada

A orientação solar de uma parede em vidro é muito importante para o cálculo de carga térmica de uma edificação. Desta forma, o ambiente foi simulado para a cidade de Campo Grande-MS, com cinco orientações solares. A alvenaria com a vedação em vidro ficou estrategicamente orientada para as maiores incidências do sol no período de verão: Leste, Nordeste, Norte, Noroeste e Oeste.

4.1.3 Persiana

A utilização de persianas em ambientes com envoltórias em vidro contribuem significativamente para o ganho e perda de carga térmica em um ambiente. Desta forma, as simulações com esta variável ocorreram com dois parâmetros: com persianas englobando 100% de vedação solar da envoltória em vidro (instaladas há 2,0 cm da parede), e sem persianas. As

propriedades do material da persiana foram obtidas pelo guia do EnergyPlus³ (2016b). Nos casos sem persiana, esse objeto não é utilizado. A

TABELA 2 demonstra os dados da persiana.

TABELA 2 - Propriedades da persiana.

Material (variação)	PVC
Cor	Bege
Transmitância (0-1)	0,00
Refletância (0-1)	0,65
Emissividade (0-1)	0,90

Fonte: *EnergyPlus* (2016b)

Pela tabela, foi definido que o material da persiana foi o PVC, de cor clara bege (Pantone⁴ 13-1404 TCX Pale Dogwood)). O manual do *software* define suas características de transmitância (característica do material em transmitir luz), refletância (característica do material em refletir a luz que incide sobre ele) e emissividade (razão entre a radiância de um corpo numa dada temperatura e a radiância de um corpo negro na mesma temperatura) do material PVC bege.

4.1.4 Área envidraçada

Sabe-se que os edifícios não respondem de maneira uniforme a sistemas de iluminação natural: o sucesso ou a necessidade de melhorias dependem das características arquitetônicas do edifício, do *design* interior, das obstruções exteriores e, até mesmo, das condições meteorológicas, entre outros fatores. Além disso, conforme cita Procel Info (2016a), é aconselhável observar a posição solar da edificação para determinar toda a estratégia do sistema de iluminação natural. É importante compreender o impacto que estas orientações solares

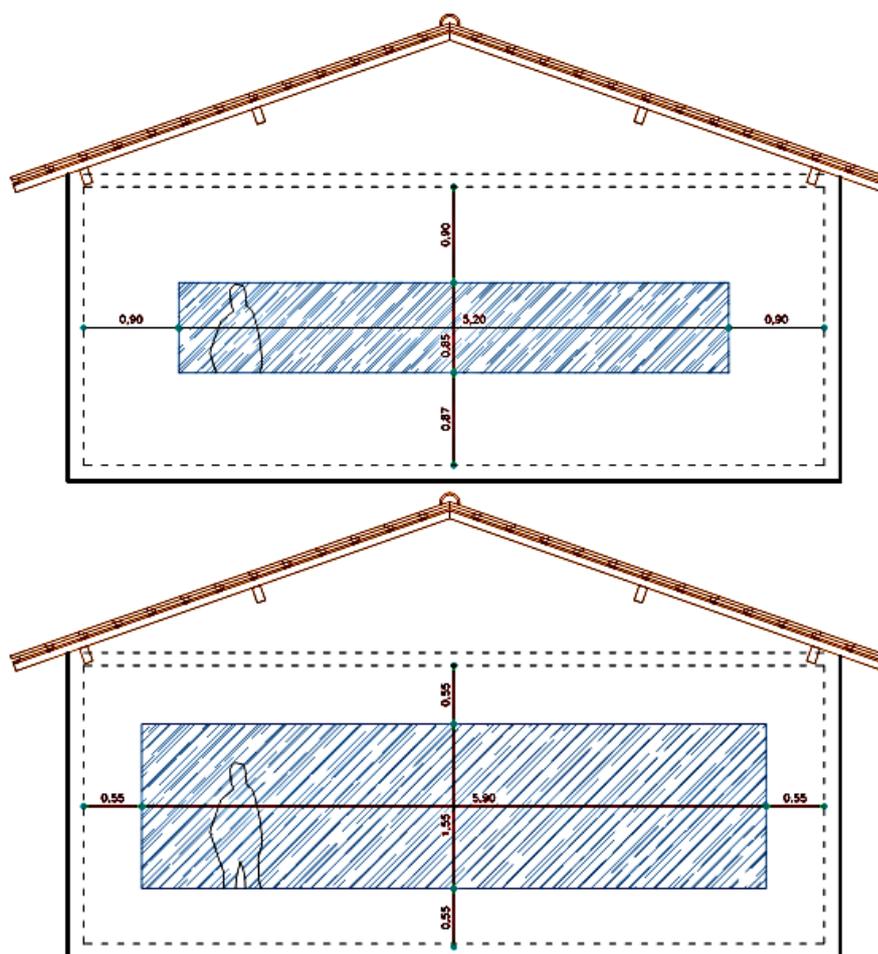
³ O programa possui um manual com as características térmicas de alguns materiais utilizados na construção civil

⁴ Pantone Inc. é uma empresa de indústria de cores, de sede americana. É mundialmente conhecida por seu sistema de cores, largamente utilizado na indústria gráfica. Considerada hoje uma autoridade na área, é conhecido mundialmente como a linguagem padrão para a comunicação em todas as fases do processo de gerenciamento de cores, desde o designer até o fabricante, desde o revendedor e até o consumidor, em várias indústrias. Seus códigos de cores têm hoje abrangência internacional, servindo de referência para tal (NA).

proporcionam no sistema de iluminação natural, pois ao planejar estrategicamente, levando-se em conta estes fatores, é possível chegar a um sistema ideal para um determinado empreendimento, da mesma forma, o tamanho das aberturas envidraçadas também vão agregar, além de uma maior ou menor iluminação natural, um ganho de carga térmica solar. Portanto, ao se estudar a proporção das paredes envidraçadas, resulta-se em maior ou menor EE no ambiente edificado.

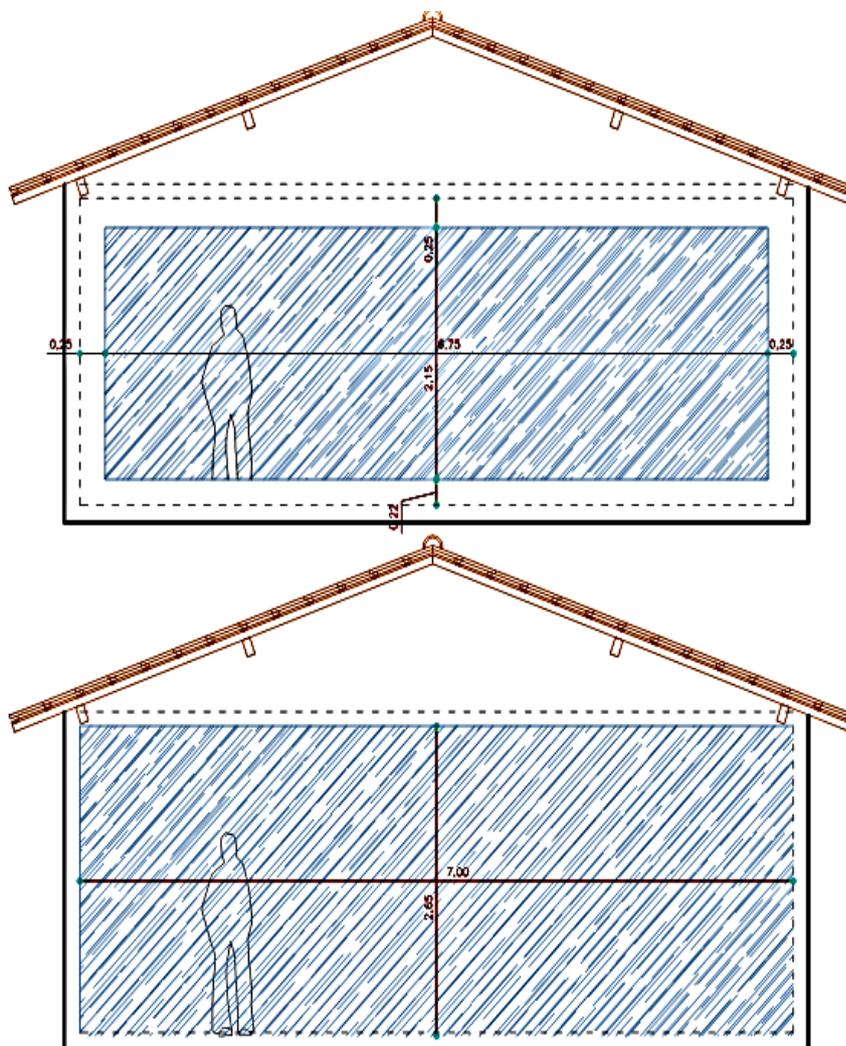
Para a conformação desses dados, em cada análise, houve 4 diferentes tamanhos de aberturas com vedações em vidro na parede que recebeu a incidência solar. As aberturas foram de 100% da área total da parede (19,87 m²), e aberturas em aproximadamente 75% (15,05 m²), 50% (9,92 m²), e 25% (4,84 m²). Nestes 3 últimos casos, as aberturas serão localizadas nos eixos médios das dimensões da parede (altura e largura) e cujos vãos proporcionais às dimensões da parede. A FIGURA 10 e a FIGURA 11 exemplificam os modelos propostos.

FIGURA 10- Modelo proposto para fachadas com 25% e 50% de área envidraçada. As espessuras das paredes, piso e laje não são cotadas.



Fonte: arquivo do autor

FIGURA 11 - Modelo proposto para fachadas com 75% e 100% de área envidraçada. As espessuras das paredes, piso e laje não são cotadas.



Fonte: arquivo do autor

O subcapítulo seguinte descreve o *software* que fez as simulações e as entradas de alimentação assim como as balizas que o alimenta.

4.2 *Software EnergyPlus* e a inserção de dados

O uso de programas computacionais tem contribuído em muito na busca de soluções para a área energética, seja na escolha de um sistema de condicionamento de ar, de lâmpadas e luminárias eficientes, no desenvolvimento de proteções solares, na definição de um sistema de co-geração ou até mesmo na análise das contas de energia elétrica de uma edificação [MORAES, 2013; WESTPHAL, 2016].

O *software EnergyPlus*, internacionalmente conhecido, é um programa Norteamericano disponível gratuitamente e que possibilita simulações confiáveis de diversos tipos de projetos, de sistemas construtivos. Moraes (2013) descreve que o *software* foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, a partir de dois outros, o BLAST e o DOE-2 e pode ser baixado pelo portal do *software EnergyPlus* (2016b). Ainda segundo o portal, para configuração mínima de uso, o computador deve suportar as plataformas Windows 7, 8, ou 10 (32 ou 64 bit), Linux: Ubuntu 14.04 (ou compatíveis, 64 bit), ou Mac: OSX 10.9 (64 bit).

É um *software* de simulação diferenciada, de cálculo de curta duração (de menos de 1 hora), com sistema modular e integrado com outros sistemas, tais como a plataforma *Sketchup*, de modelagem de edificação. Outra vantagem deste *software* é que ele aceita mais de uma variável para cada parâmetro, isto é, os dados podem ser inseridos todos de uma única vez, não sendo necessária apenas uma variável por vez, para cada cálculo de ganho térmico. Utilizando a simulação, é necessário, inicialmente, modelar a edificação e inserir seus componentes construtivos. Essa modelagem da geometria é realizada através de outra plataforma, como o *Sketchup*. [MELO, WESTPHAL & MATOS, 2009].

Além disso, este programa integra vários módulos que trabalham juntos para calcular a energia requerida para aquecer ou resfriar um edifício usando uma variedade de sistemas e fontes de energia. Ele faz isso simulando o edifício e os sistemas associados em diferentes condições ambientais e operacionais. A essência da simulação está no modelo do edifício que utiliza princípios fundamentais de balanço energético. Também é possível analisar o comportamento térmico da edificação frente a diferentes materiais construtivos.

De acordo com Moraes (2013), na realização da simulação térmica é necessário que o profissional possua conhecimentos básicos (como volumes de controle e conservação de massa e energia, e mecanismos de transferência de calor), além de conhecimentos específicos dos sistemas e estratégias adotados no projeto ou edificação construída. Os objetivos da simulação se dividem em duas categorias: cálculo de carga térmica e análise energética. O cálculo da carga térmica é usado geralmente para realizar o dimensionamento de sistemas de condicionamento de ar, como ventiladores ou condicionadores de ar, entre outros.

A partir das definições das variáveis, os dados coletados foram então, inseridos no *software*. Para iniciar a modelagem da simulação, foi necessário realizar um levantamento de todos os fatores que influenciam a carga térmica. Posteriormente, foi necessária a criação, em outra plataforma (*Sketchup*), da edificação com suas dimensões. Os parâmetros das variáveis foram modificados para totalizar as 160 simulações. Em seguida, na plataforma *EnergyPlus*,

foram inseridos as características dos materiais construtivos dessa edificação. Definiram-se então os sistemas de coordenadas geográficas orientadas inicialmente pelo Norte, em que as paredes sofreram a incidência do clima.

Para as configurações de arquivo climático, foram inseridos os dados climatológicos (zona térmica) da cidade de Campo Grande. O arquivo para a simulação foi obtido no formato **ddy* (dias típicos de inverno e de verão), que é disponibilizado pelo próprio portal do *software* [ENERGYPLUS, 2016a]. Para tal, somente um dia típico de verão foi simulado. O dia selecionado é considerado o mais quente para todo o verão. Ainda assim, para esse dia, as simulações de carga foram realizadas de hora em hora, perfazendo 24 cargas térmicas para o dia mais quente. Para isso, o banco de dados do dia mais quente existente no *software* foi utilizado no arquivo para as simulações.. Utilizou-se ainda a temperatura do solo do arquivo climático no formato **stat*, também fornecida pelo *EnergyPlus* (2016a).

Para as configurações de simulação, os seguintes critérios foram utilizados:

- *Simulation Control*: simulação configurada para “*Sizing periods*” (no nosso caso, dia típico de verão). Dessa forma, não foi necessário utilizar um arquivo climático anual (o *software* utiliza os dados descritos no *SizingPeriod: DesignDay* abaixo);
- *Building*: apenas alterada a distribuição solar para *fullexterior*, o restante está o *default* do programa. A orientação varia conforme as variáveis paramétricas entre 270 (Oeste), 315 (Noroeste), 0 (Norte), 45 (Nordeste) e 90 (Leste), de modo que a edificação é rotacionada para que a fachada principal (com o vidro) esteja nas orientações descritas;
- *Timestep*: 6 (é o mínimo recomendado, e suficiente para simulações simples);
- *SiteLocation*: informações colhidas do arquivo climático acima descrito (*ddy*);
- *SizingPeriod:DesignDay*: informações colhidas do arquivo climático acima descrito (8º dado, é o dia típico de verão que foi utilizado);
- *GLocalGeometryRules*: escolhido o sistema de coordenadas relativas para facilitar na modelagem geométrica utilizando o *software OpenStudio*. O restante foi mantido em *default*;
- *HVACTemplate:Thermostat*: utilizado 24°C (temperatura interna da edificação a ser mantida pelo equipamento de condicionamento fictício, caso seja superior a isso);
- *HVACTemplate:Zone:IdealLoadAirSystem*: utilizado para fornecer a carga térmica (é como um equipamento de ar condicionado ideal, fictício). Foi considerado o termostato

configurado acima com *setpoint* de umidade em 50%. As demais configurações foram deixadas em *default*.

Como variáveis paramétricas, foram realizados 8 arquivos (com e sem persiana, e variando o tipo dos vidros), sendo as demais variáveis a serem alteradas configuradas no objeto de variáveis paramétricas:

- *Parametric:SetValueForRun*: foram configuradas 20 simulações variando o tamanho das aberturas (25%, 50%, 75% e 100% da área da fachada) e a orientação (270°, 315°, 0°, 45° e 90° com relação ao Norte);

A modelagem da geometria foi realizada através do *software OpenStudio* e adaptado no *EnergyPlus*. Para o programa, os traçados das paredes, cobertura e proteção solar são todos planos, de modo que são consideradas as dimensões internas da edificação. As outras configurações para a modelagem foram:

- *Zone*: objeto criado automaticamente com o *OpenStudio*;
- *BuildingSurface:Detailed*: objeto gerado automaticamente com o *OpenStudio* (descrição das paredes, da cobertura e do piso). *Construction* (componentes construtivos) adicionado posteriormente com base nos materiais;
- *Shading:Building:Detailed*: objeto gerado automaticamente com o *OpenStudio*. O sombreamento é o beiral da cobertura, feito em 4 planos representando a sua projeção horizontal (0,60m);
- *Window*: janela criada com base em material adicionado posteriormente (*Construction*), na parede Norte e com tamanho que varia conforme as configurações paramétricas (25%, 50%, 75% e 100% da área da fachada).

Para a configuração de material, apresenta-se:

- *Material:AirGap*: utilizado conforme valores da NBR 15220 (2013). No caso da parede, a câmara de ar utilizada foi definida também com base no método de cálculo de componentes equivalentes;
- *WindowMaterial:Glazing*: propriedades dos 4 tipos de vidros, sendo configurado cada modelo em arquivos diferentes (além da persiana, sendo um total de 8 arquivos).

Depois da inserção de todos os dados e da conferência das informações, as simulações foram, então, realizadas durante o período de 1º a 28 de outubro de 2016, utilizando a versão 8.6 do *software*.

O trabalho foi feito com base na ABNT 16401-1 (2008) de forma que a carga térmica para cada caso simulado é o maior valor para o dia típico de verão. Foi adotada também a temperatura de 24°C como temperatura interna da edificação a ser mantida pelo equipamento de ar condicionado, caso ele seja necessário. Esse valor da temperatura interna foi utilizado apenas como temperatura de referência, porém, que ainda se encontra dentro dos valores definidos por Ayoade (2012) como fator de conforto humano em repouso.

O resultado em potência de calor para cada uma das 160 simulações foi obtido na unidade em W de potência e posteriormente tabelados. As análises descritas para as simulações são demonstradas no capítulo seguinte.

5 RESULTADO DAS SIMULAÇÕES E ANÁLISES

Os diversos cenários com os respectivos valores de carga térmica fornecidos pelo *software* e suas respectivas análises comparativas são descritas neste capítulo. Primeiramente são demonstrados os valores em tabelas simples, sem descrições comparativas. Na sequência, novas tabelas são organizadas, para melhores comparações entre as simulações. Para leitura das tabelas, foi criada uma legenda, representada pela TABELA 3.

TABELA 3 - Legenda para as tabelas de cargas térmicas

VARIÁVEL	TIPO	LEGENDA
Tipos de vidro	Temperado	Vtemp
	Laminado	Vlami
	Refletivo pirolítico	Vpiro
	Refletivo a vácuo	Vvacuo
Área envidraçada	100%	100
	75%	75
	50%	50
	25%	25
Orientação solar	Leste	L
	Noroeste	NO
	Norte	N
	Nordeste	NE
	Oeste	O
Persiana	com	on
	sem	off

Fonte: arquivo do autor

Os resultados descritos pelo *software* são apresentados na

FIGURA 12. Os valores foram divididos em quatro partes (por tipos de vidro) cujas colunas apresentam as orientações solares, as linhas e as proporções de aberturas em vidro com o uso ou não de persiana. Para melhor compreensão, todos os valores das tabelas foram apresentados com uma graduação de cores, vermelho, amarelo e verde, sendo a cor vermelha para a maior carga térmica, graduando para a amarela até finalizar na verde (menor carga térmica).

FIGURA 12 - Resultado das simulações descritas pelo *software*.

Vtemp					
	O	NO	N	NE	L
25off	2345,88	2059,54	1796,56	1855,39	1881,21
50off	2987,85	2400,57	1901,46	1975,41	2039,78
75off	3559,85	2669,72	1999,51	2087,60	2171,65
100off	3926,82	2870,86	2073,80	2171,43	2274,11
25on	2336,96	2039,67	1755,34	1796,93	1798,96
50on	2979,64	2355,16	1833,08	1871,98	1887,43
75on	3511,35	2606,37	1904,32	1948,09	1970,26
100on	3859,42	2822,14	1972,98	2011,11	2206,40
Vpiro					
	O	NO	N	NE	L
25off	2153,67	1950,67	1761,34	1810,08	1822,57
50off	2591,57	2188,70	1825,37	1878,71	1915,30
75off	2989,14	2377,55	1893,09	1954,82	2003,43
100off	3244,52	2517,56	1945,79	2013,37	2068,34
25on	2223,17	1976,96	1748,83	1788,80	1788,82
50on	2736,37	2234,54	1809,68	1844,83	1855,57
75on	3173,84	2435,39	1869,92	1908,35	1923,86
100on	3458,84	2605,07	1918,11	1959,16	1978,06
Vlami					
	O	NO	N	NE	L
25off	2144,59	1942,14	1752,41	1798,57	1807,58
50off	2562,25	2169,31	1809,18	1857,23	1886,82
75off	2944,15	2348,63	1870,26	1925,16	1964,87
100off	3186,32	2479,78	1918,23	1978,01	2023,34
25on	2206,97	1967,24	1747,19	1786,68	1786,13
50on	2705,57	2215,76	1804,89	1838,95	1848,54
75on	3129,26	2409,00	1862,83	1899,73	1913,65
100on	3404,13	2572,55	1909,16	1948,36	1965,37
Vvacuo					
	O	NO	N	NE	L
25off	2202,98	1970,14	1749,94	1795,20	1803,20
50off	2663,69	2218,96	1810,42	1856,77	1884,69
75off	3087,08	2414,21	1872,17	1925,03	1962,99
100off	3351,49	2554,70	1921,00	1978,57	2022,40
25on	2246,33	1985,39	1747,74	1787,19	1786,72
50on	2794,81	2250,15	1808,77	1842,77	1853,02
75on	3251,28	2455,97	1868,43	1905,29	1920,26
100on	3540,58	2637,06	1916,14	1955,30	1973,72

Fonte: arquivo do autor

Entretanto, para um diagnóstico das simulações, os valores foram reorganizados e novamente tabelados, possibilitando melhor comparação e análise entre as 4 variáveis.

5.1 Tipos de análises

Foram elaboradas 3 análises: por comparativo entre as orientações solares, por comparativo entre os tipos de vidro e por comparativo por *payback* simples. Ressalta-se que foi utilizada para todas, duas casas decimais para melhor precisão.

5.1.1 Análise por comparativo entre orientações solares

Para esta análise, foram utilizados os seguintes critérios:

- Inicialmente é apresentada uma tabela com os valores de carga térmica por orientação solar: com e sem persiana, com as quatro proporções de aberturas em vidro e os quatro tipos de vidro;
- Em seguida outras tabelas menores são apresentadas por proporção de abertura (para a mesma orientação descrita): com e sem persiana e com os quatro tipos de vidro. Esses dois conjuntos de tabelas foram analisados pelos seguintes critérios:
 - %↑- apresenta a porcentagem que o vidro tem de carga térmica a mais em relação ao vidro de menor carga térmica, com as mesmas orientações solares, proporções de aberturas e com o uso ou não de persianas;
 - W↑- apresenta, em valores absolutos de carga térmica (W) e quanto o vidro tem a mais de carga térmica em relação ao vidro de menor carga, para as mesmas orientações solares, proporções de aberturas e com a persiana. Posteriormente, é apresentada outra tabela sem a persiana.
 - VR↓- apresenta as menores cargas térmicas (W) para a mesma orientação solar, considerando todos os tipos de vidros e de aberturas, com ou sem a persiana;
 - VR↑- apresenta as maiores cargas térmicas (W) para a mesma orientação solar, considerando todos os tipos de vidros e de aberturas, com ou sem a persiana;
 - V%↑↓- equivale ao valor, em porcentagem, de quanto a carga térmica do vidro com persiana é maior ou menor em relação ao vidro sem persiana, para a mesma orientação solar, tipo de vidro e tamanho das aberturas;
 - W↑↓- equivale ao valor absoluto, da diferença de carga térmica (W) com e sem persiana, para a mesma orientação solar, tipo de vidro e tamanho das aberturas.

O conjunto de tabelas de carga térmica para a orientação Oeste é apresentado na FIGURA 13, e posteriormente sua análise.

FIGURA 13 - Tabela de carga térmica por variáveis para a orientação Oeste (valores em W).

Orientação solar: O																
Persiana: on																
100		%↑	W↑	75		%↑	W↑	50		%↑	W↑	25		%↑	W↑	VR↓ (W)
Vlami	3404,13			Vlami	3129,26			Vlami	2705,57			Vlami	2206,97			2206,97
Vpiro	3458,84	1,61	54,71	Vpiro	3173,84	1,42	44,58	Vpiro	2736,37	1,14	30,8	Vpiro	2223,17	0,73	16,2	
Vvacuo	3540,58	4,01	136,45	Vvacuo	3251,28	3,90	122,02	Vvacuo	2794,81	3,30	89,24	Vvacuo	2246,33	1,04	39,36	VR↑ (W)
Vtemp	3859,42	13,37	455,29	Vtemp	3511,35	12,21	382,09	Vtemp	2979,64	10,13	274,07	Vtemp	2336,96	5,89	129,99	3859,42
Persiana: off																
100		%↑	W↑	75		%↑	W↑	50		%↑	W↑	25		%↑	W↑	VR↓ (W)
Vlami	3186,32			Vlami	2944,15			Vlami	2562,25			Vlami	2144,59			2144,59
Vpiro	3244,52	1,83	58,2	Vpiro	2989,14	1,53	44,99	Vpiro	2591,57	1,14	29,32	Vpiro	2153,67	0,42	9,08	
Vvacuo	3351,49	5,18	165,17	Vvacuo	3087,08	4,85	142,93	Vvacuo	2663,69	3,96	101,44	Vvacuo	2202,98	2,72	49,31	VR↑ (W)
Vtemp	3926,82	23,24	740,5	Vtemp	3559,85	20,91	615,7	Vtemp	2987,85	16,61	425,60	Vtemp	2345,88	9,39	201,29	3926,82

100				
vidro	on	off	V%↑↓	W↑↓
Vvacuo	3540,58	3926,82	-9,84	-386,24
Vpiro	3458,84	3351,49	3,20	107,35
Vlami	3404,13	3244,52	4,92	159,61
Vtemp	3404,13	3186,32	6,84	217,81

75				
vidro	on	off	V%↑↓	W↑↓
Vvacuo	3511,35	3559,85	-1,36	-48,5
Vpiro	3251,28	3087,08	5,32	164,2
Vlami	3173,84	2989,14	6,18	184,7
Vtemp	3129,26	2944,15	6,29	185,11

50				
vidro	on	off	V%↑↓	W↑↓
Vvacuo	2979,64	2987,85	-0,27	-8,21
Vpiro	2794,81	2663,69	4,92	131,12
Vlami	2736,37	2591,57	5,59	144,8
Vtemp	2705,57	2562,25	5,59	143,32

25				
vidro	on	off	V%↑↓	W↑↓
Vvacuo	2336,96	2345,88	-0,38	-8,92
Vpiro	2246,33	2202,98	1,97	43,35
Vtemp	2206,97	2144,59	2,91	62,38
Vlami	2223,17	2153,67	3,23	69,5

Fonte: arquivo do autor

- O maior valor de carga térmica com persiana foi de 3859,42 W para o vidro temperado, com 100% de abertura e o menor valor foi de 2206,97 W, para o vidro laminado, com 25% de abertura.
- O maior valor de carga térmica sem persiana foi de 3926,82 W, para o vidro temperado, com 100% de abertura e o menor valor foi de 2144,59 W, para o vidro laminado com 25% de abertura.
- Com a persiana, a maior porcentagem obtida foi de 13,37% a mais de carga térmica para o vidro temperado em relação ao vidro laminado, com 100% de abertura. Isso equivale a 455,29 W de gasto energético a mais no ambiente. Para os outros 2 vidros com a mesma abertura, a diferença foi de 1,61% do vidro pirolítico e de 4,01% do vidro a vácuo, ambos em relação ao laminado. Essas diferenças são bem menores porque os 3 vidros têm as características de EE superiores às do vidro temperado.
- Sem o uso da persiana, a maior porcentagem foi de 23,24% a mais de carga térmica para o vidro temperado em relação ao vidro laminado, com 100% de abertura, com 740,50 W de energia a mais no ambiente. Para os outros 2 vidros com a mesma abertura, a diferença foi de 1,83% do vidro pirolítico e de 5,18% do vidro a vácuo, ambos em relação ao laminado.
- Com a persiana, com 100% de abertura, o vidro temperado apresentou carga térmica de 217,81 W a mais no ambiente do que sem a persiana em uso, o vidro laminado 159,61 W e o pirolítico 107,35 W. Já o vidro a vácuo apresentou perda de carga com o uso das persianas, com 386,34 W a menos. Com 75% de abertura, o vidro temperado apresentou 185,11 W a mais de carga térmica no ambiente com persiana, o vidro laminado 184,70 W e o vidro pirolítico 164,20 W. Já o vidro a vácuo apresentou perda de carga de 386,34 W. Com 50% de abertura, o vidro temperado apresentou 143,32 W de carga térmica a mais no ambiente com o uso da persiana, 144,80 W para o vidro laminado e 131,12 W para o vidro pirolítico. Já o vidro a vácuo apresentou perda de carga de 8,21 W. Com 25 % de abertura, o vidro temperado apresentou 69,50 W a mais de carga no ambiente com a persiana, 62,38 W para o vidro laminado e 43,35 W para o vidro pirolítico. Já o vidro a vácuo apresentou perda de carga com a persiana, de 8,92 W.

Como análise da orientação Oeste, o vidro temperado apresentou as maiores cargas térmicas, com valores significativos em relação aos outros 3. Entretanto, em relação entre os outros 3 vidros, essa diferença não chegou a ser alta, variando de 0,42 a 5,18%.

É importante descrever que não é aconselhável a utilização de persianas quando o vidro for temperado, laminado ou pirolítico, em qualquer porcentagem de abertura. Já a utilização do vidro a vácuo é recomendável, principalmente para aberturas com 100% em vidro, quando apresenta a maior variação percentual, de 9,84%.

O conjunto de tabelas de carga térmica para a orientação Noroeste é apresentado pela FIGURA 14, e posteriormente sua análise.

FIGURA 14 - Tabela de carga térmica por variáveis para a orientação Noroeste (valores em W).

Orientação solar: NO																
Persiana: on																
100		%↑	W↑	75		%↑	W↑	50		%↑	W↑	25		%↑	W↑	VR↓ (W)
Vlami	2572,55			Vlami	2409,01			Vlami	2215,76			Vlami	1967,24			1967,24
Vpiro	2605,07	1,26	32,52	Vpiro	2435,39	1,10	26,38	Vpiro	2234,54	0,85	18,78	Vpiro	1976,96	0,49	9,72	
Vvacuo	2637,06	2,51	64,51	Vvacuo	2455,97	1,95	46,96	Vvacuo	2250,15	1,55	34,39	Vvacuo	1985,39	0,43	18,15	VR↑ (W)
Vtemp	2822,14	9,70	249,59	Vtemp	2606,37	8,19	197,36	Vtemp	2355,16	6,29	139,4	Vtemp	2039,67	3,68	72,43	2822,14
Persiana: off																
100		%↑	W↑	75		%↑	W↑	50		%	W↑	25		%↑	W↑	VR↓ (W)
Vlami	2479,78			Vlami	2348,63			Vlami	2169,31			Vlami	1942,14			1942,14
Vpiro	2517,56	1,52	37,78	Vpiro	2377,55	1,23	28,92	Vpiro	2188,7	0,89	19,39	Vpiro	1950,67	0,44	8,53	
Vvacuo	2554,7	3,02	74,92	Vvacuo	2414,21	2,79	65,58	Vvacuo	2218,96	2,29	49,65	Vvacuo	1970,14	1,44	19,47	VR↑ (W)
Vtemp	2870,86	15,77	391,08	Vtemp	2669,72	13,67	321,09	Vtemp	2400,57	10,66	231,26	Vtemp	2059,54	6,04	117,4	2870,86

100				
vidro	on	off	V%↑↓	W↑↓
Vtemp	2822,14	2870,86	-1,70	-48,72
Vvacuo	2637,06	2554,7	3,22	82,36
Vpiro	2605,07	2517,56	3,48	87,51
Vlami	2572,55	2479,78	3,74	92,77

75				
vidro	on	off	V%↑↓	W↑↓
Vtemp	2606,37	2669,72	-2,37	-63,35
Vvacuo	2455,97	2414,21	1,73	41,76
Vpiro	2435,39	2377,55	2,43	57,84
Vlami	2409	2348,63	2,57	60,37

50				
vidro	on	off	V%↑↓	W↑↓
Vtemp	2355,16	2400,57	-1,89	-45,41
Vvacuo	2250,15	2218,96	1,41	31,19
Vpiro	2234,54	2188,7	2,09	45,84
Vlami	2215,76	2169,31	2,14	46,45

25				
vidro	on	off	V%↑↓	W↑↓
Vtemp	2039,67	2059,54	-0,96	-19,87
Vvacuo	1985,39	1970,14	0,77	15,25
Vlami	1967,24	1942,14	1,29	25,1
Vpiro	1976,96	1950,67	1,35	26,29

Fonte: arquivo do autor

- O maior valor de carga térmica com persiana foi de 2822,14 W para o vidro temperado, com 100% de abertura e o menor valor foi de 1967,24 W, para o vidro laminado, com 25% de abertura.
- O maior valor de carga térmica sem persiana foi de 2870,86 W, para o vidro temperado, com 100% de abertura e o menor valor foi de 1942,14 W, para o vidro laminado a 25% de abertura.
- Com a persiana, a maior porcentagem obtida foi de 9,70%, a mais de carga térmica para o vidro temperado em relação ao vidro laminado, com 100% de abertura. Isso equivale a 249,59 W de gasto energético a mais no ambiente. Para os outros 2 vidros com a mesma abertura, a diferença foi de 1,26 % do vidro pirolítico e de 2,51% do vidro a vácuo, ambos em relação ao temperado.
- Sem o uso da persiana, a maior porcentagem foi de 15,77% a mais de carga térmica para o vidro temperado em relação ao vidro laminado, com 100% de abertura, com 391,08 W de energia a mais no ambiente. Para os outros 2 vidros com a mesma abertura, a diferença foi de 1,52% para o pirolítico e de 3,02% para o vidro a vácuo, ambos em relação ao laminado.
- Com a persiana com 100% de abertura, o vidro laminado apresentou carga térmica de 92,77 W a mais no ambiente, 87,51 W com o vidro pirolítico e 82,36 W com o a vácuo. Já o vidro temperado apresentou perda de carga com o uso das persianas, sendo 48,72 W de carga a menos. Apresentando 75% de abertura, o vidro laminado apresentou 60,37 W a mais de carga térmica no ambiente, 57,84 W para o vidro pirolítico e 41,76 W para o vidro a vácuo. Já o vidro temperado apresentou perda de carga de 63,35 W. Com 50% de abertura, o vidro laminado apresentou 46,45 W a mais de carga térmica no ambiente, 45,84 W para o pirolítico e 31,19 W para o vidro a vácuo. Já o vidro temperado apresentou perda de carga de 8,21 W. Em 25 % de abertura, o vidro pirolítico apresentou 26,29 W a mais de carga térmica, 25,10 W para o vidro laminado e 15,25 W para o vidro a vácuo. Já o temperado apresentou perda de carga, com 8,92 W.

Como análise da orientação Noroeste, o vidro temperado apresentou as maiores cargas térmicas, com valores de significativos em relação aos outros 3. Entretanto, em relação entre os outros 3 vidros, essa diferença não chegou a ser alta, variando de 0,44 a 3,02%.

Não é aconselhável a utilização de persianas quando o vidro for laminado, pirolítico ou a vácuo, em qualquer porcentagem de abertura. Quanto à utilização do vidro temperado já é

recomendada. Entretanto, a variação de porcentagem da utilização ou não de persianas não é muito alta, oscilando de - 2,37 a 3,74%. Nesse aspecto, pode ser considerado opcional o seu uso da persiana em aberturas em vidro na orientação Noroeste.

O conjunto de tabelas de carga térmica para a orientação Norte é apresentado pela FIGURA 15, e posteriormente sua análise.

FIGURA 15 - Tabela de carga térmica por variáveis para a orientação Norte (valores em W).

Orientação solar: N																
Persiana: on																
100		%↑	W↑	75		%↑	W↑	50		%↑	W↑	25		%↑	W↑	VR↓ (W)
Vlami	1909,16			Vlami	1862,83			Vlami	1804,89			Vlami	1747,19			1747,19
Vvacuo	1916,14	0,37	6,98	Vvacuo	1868,43	0,30	5,6	Vvacuo	1808,77	0,21	3,88	Vvacuo	1747,74	0,03	0,55	
Vpiro	1918,11	0,47	8,95	Vpiro	1869,92	0,38	7,09	Vpiro	1809,68	0,27	4,79	Vpiro	1748,83	0,06	1,64	VR↑ (W)
Vtemp	1972,98	3,34	63,82	Vtemp	1904,32	2,23	41,49	Vtemp	1833,08	1,56	28,19	Vtemp	1755,34	0,47	8,15	1972,98
Persiana: off																
100		%↑	W↑	75		%↑	W↑	50		%↑	W↑	25		%↑	W↑	VR↓ (W)
Vlami	1918,23			Vlami	1870,26			Vlami	1809,18			Vvacuo	1749,94			1749,94
Vvacuo	1921,00	0,14	2,77	Vvacuo	1872,17	0,10	1,91	Vvacuo	1810,42	0,07	1,24	Vlami	1752,41	0,14	2,47	
Vpiro	1945,79	1,44	27,56	Vpiro	1893,09	1,22	22,83	Vpiro	1825,37	0,89	16,19	Vpiro	1761,34	0,65	8,93	VR↑ (W)
Vtemp	2073,80	8,11	155,57	Vtemp	1999,51	6,91	129,25	Vtemp	1901,46	5,10	92,28	Vtemp	1796,56	2,66	46,62	2073,8

100				
vidro	on	off	V%↑↓	W↑↓
Vtemp	1972,98	2073,8	-4,86	-100,82
Vpiro	1918,11	1945,79	-1,42	-27,68
Vlami	1909,16	1918,23	-0,47	-9,07
Vvacuo	1916,14	1921	-0,25	-4,86

75				
vidro	on	off	V%↑↓	W↑↓
Vtemp	1904,32	1999,51	-4,76	-95,19
Vpiro	1869,92	1893,09	-1,22	-23,17
Vlami	1862,83	1870,26	-0,40	-7,43
Vvacuo	1868,43	1872,17	-0,20	-3,74

50				
vidro	on	off	V%↑↓	W↑↓
Vtemp	1833,08	1901,46	-3,60	-68,38
Vpiro	1809,68	1825,37	-0,86	-15,69
Vlami	1804,89	1809,18	-0,24	-4,29
Vvacuo	1808,77	1810,42	-0,09	-1,65

25				
vidro	on	off	V%↑↓	W↑↓
Vtemp	1755,34	1796,56	-2,29	-41,22
Vpiro	1748,83	1761,34	-0,71	-12,51
Vlami	1747,19	1752,41	-0,30	-5,22
Vvacuo	1747,74	1749,94	-0,13	-2,2

Fonte: arquivo do autor

- O maior valor de carga térmica com persiana foi de 1972,98 W para o vidro temperado, com 100% de abertura e o menor valor foi de 1747,19 W, para o vidro laminado, com 25% de abertura.
- O maior valor de carga térmica sem persiana foi de 2073,80 W, para o vidro temperado, com 100% de abertura e o menor valor foi de 1749,94 W, para o vidro a vácuo a 25% de abertura.
- Com a persiana, a maior porcentagem obtida foi de 3,34% a mais de carga térmica para o vidro temperado, em relação ao vidro laminado, com 100% de abertura. Isso equivale a 63,82 W de gasto energético a mais no ambiente. Para os outros 2 vidros com a mesma abertura, a diferença foi de 0,47% do vidro pirolítico e de 0,37% do vidro a vácuo, ambos em relação ao laminado.
- Sem o uso da persiana, a maior porcentagem foi de 8,11% a mais de carga térmica para o vidro temperado em relação ao vidro laminado, com 100% de abertura, com 155,57 W de energia a mais no ambiente. Para os outros 2 vidros com a mesma abertura, a diferença foi de 1,44% para o vidro pirolítico e de 5,18% para o vidro a vácuo, ambos em relação ao laminado.
- Com a persiana com 100% de abertura, todos os vidros apresentaram perda de carga térmica: o vidro a vácuo com 4,86 W de perda no ambiente, o vidro laminado com de 9,07 W, o vidro pirolítico com 27,68 W e o temperado com a maior perda de carga com 100,82 W. Com 75% de abertura, o vidro a vácuo apresentou carga térmica de 3,74 W menos no ambiente com persiana. O vidro laminado também com perda de 7,43 W, o vidro pirolítico com perda de 23,17 W e o temperado com a maior perda de 95,19 W. Com 50% de abertura, o vidro a vácuo apresentou a menor perda de carga com o uso das persianas, com 1,65 W. O vidro laminado apresentou perda de 4,29 W, o vidro pirolítico com perda de 15,69 W e o temperado com a maior perda de carga com 68,38 W. Com 25% de abertura, o vidro a vácuo apresentou a menor perda de carga com o uso da persiana, com 2,20 W. O vidro laminado com perda de 5,22 W, o vidro pirolítico com perda de 12,51 W e o temperado com a maior perda de carga com 41,22 W.

Como análise da orientação Norte, o vidro temperado apresentou as maiores cargas térmicas, entretanto, com valores de carga não muito mais altas em relação aos outros 3. Comparando-os, essa diferença não é muito alta, variando de 0,47-3,34% em relação ao vidro de menor carga (laminado) com persiana e de 2,66-8,11% sem persiana. Já em relação entre os

outros 3 vidros, essa diferença é baixa, variando de 0,03 a 0,47% com a persiana e 0,07 a 1,44% sem a persiana.

Para esta orientação, é aconselhável o uso de persianas em qualquer situação. Entretanto, a diferença entre os valores com e sem o uso da mesma não chega a ser grande, a não ser pelo vidro temperado com 100, 75 e 50 % de abertura. Usando os outros 3 vidros, a diferença do uso ou não é praticamente indiferente, variando de 0,09-1,42%.

O conjunto de tabelas de carga térmica para a orientação Nordeste é apresentado pela FIGURA 16, e posteriormente sua análise.

FIGURA 16 - Tabela de carga térmica por variáveis para a orientação Nordeste (valores em W).

Orientação solar: NE																
Persiana: on																
100		%↑	W↑	75		%↑	W↑	50		%↑	W↑	25		%↑	W↑	VR↓ (W)
Vlami	1948,36			Vlami	1899,73			Vlami	1838,95			Vlami	1786,68			1786,68
Vvacuo	1955,3	0,36	6,94	Vvacuo	1905,29	0,29	5,56	Vvacuo	1842,77	0,21	1842,77	Vvacuo	1787,19	0,03	0,51	
Vpiro	1959,16	0,55	10,8	Vpiro	1908,35	0,45	8,62	Vpiro	1844,83	0,32	5,88	Vpiro	1788,8	0,09	2,12	VR↑ (W)
Vtemp	2011,11	3,22	62,75	Vtemp	1948,09	2,55	48,36	Vtemp	1871,98	1,80	33,03	Vtemp	1796,93	0,57	10,25	2011,11
Persiana: off																
100		%↑	W↑	75		%↑	W↑	50		%↑	W↑	25		%↑	W↑	VR↓ (W)
Vlami	1978,01			Vvacuo	1925,03			Vvacuo	1856,77			Vvacuo	1795,2			1795,2
Vvacuo	1978,57	0,03	0,56	Vlami	1925,16	0,01	0,13	Vlami	1857,23	0,02	0,46	Vlami	1798,57	0,19	3,37	
Vpiro	2013,37	1,79	35,36	Vpiro	1954,82	1,55	29,79	Vpiro	1878,71	1,18	21,94	Vpiro	1810,08	0,83	11,51	VR↑ (W)
Vtemp	2171,43	9,78	193,42	Vtemp	2087,6	8,45	162,57	Vtemp	1975,41	6,39	118,64	Vtemp	1855,39	3,35	60,19	2171,43

100				
vidro	on	off	V%↑↓	W↑↓
Vtemp	2011,11	2171,43	-7,38	-160,32
Vpiro	1959,16	2013,37	-2,69	-54,21
Vlami	1948,36	1978,01	-1,50	-29,65
Vvacuo	1955,3	1978,57	-1,18	-23,27

75				
vidro	on	off	V%↑↓	W↑↓
Vtemp	1948,09	2087,6	-6,68	-139,51
Vpiro	1908,35	1954,82	-2,38	-46,47
Vlami	1899,73	1925,16	-1,32	-25,43
Vvacuo	1905,29	1925,03	-1,03	-19,74

50				
vidro	on	off	V%↑↓	W↑↓
Vtemp	1871,98	1975,41	-5,24	-103,43
Vpiro	1844,83	1878,71	-1,80	-33,88
Vlami	1838,95	1857,23	-0,98	-18,28
Vvacuo	1842,77	1856,77	-0,75	-14,00

25				
vidro	on	off	V%↑↓	W↑↓
Vtemp	1796,93	1855,39	-3,15	-58,46
Vpiro	1788,8	1810,08	-1,18	-21,28
Vlami	1786,68	1798,57	-0,66	-11,89
Vvacuo	1787,19	1795,2	-0,45	-8,01

Fonte: arquivo do autor

- O maior valor de carga térmica com persiana foi de 2011,11 W para o vidro temperado, a 100% de abertura e o menor valor foi de 1786,68 W, para o vidro laminado, a 25% de abertura.
- O maior valor de carga térmica sem persiana foi de 2171,43 W, para o vidro temperado, com 100% de abertura e menor valor foi de 1795,20 W, para o vidro a vácuo a 25% de abertura.
- Com a persiana, a maior porcentagem obtida foi de 3,22% a mais de carga térmica para o vidro temperado em relação ao vidro laminado, com 100% de abertura. Isso equivale a 62,75 W de gasto energético a mais no ambiente. Para os outros 2 vidros com a mesma abertura, a diferença foi de 0,55% para vidro pirolítico e de 0,36% para vidro a vácuo, ambos em relação ao vidro laminado
- Sem o uso da persiana, a maior porcentagem obtida foi de 9,78% a mais de carga térmica para o vidro temperado em relação ao vidro laminado, com 100% de abertura, com 193,42 W de energia a mais no ambiente. Para os outros 2 vidros com a mesma abertura, a diferença foi de 1,79% para o pirolítico e de 0,03% para o vidro a vácuo, ambos em relação ao vidro laminado.
- Com a persiana com 100% de abertura, o vidro a vácuo apresentou perda de carga térmica, com 23,27 W de carga a menos no ambiente com persiana em uso. O vidro laminado também apresentou perda de 29,65 W, o vidro pirolítico com perda de 54,32 W e o temperado com a maior perda com 160,32 W. Com 75% de abertura, o vidro a vácuo apresentou a menor perda de carga térmica com a persiana, com a redução de 19,74 W. O vidro laminado com perda de 25,43 W, o vidro pirolítico com perda de 46,47 W e o temperado com a maior perda de carga térmica com 139,51 W. Com 50% de abertura, o vidro a vácuo apresentou a menor perda de carga térmica com o uso das persianas, com redução de 14,00 W. O vidro laminado também com perda de 18,28 W, o vidro pirolítico com perda de 33,88 W e o temperado com a maior perda de carga com 103,43 W com a persiana. Com 25% de abertura, o vidro a vácuo apresentou a menor perda de carga com o uso das persianas, com redução de 8,01 W de carga a menos no ambiente. O vidro laminado com perda de 11,89 W, o vidro pirolítico com perda de 21,28 W e o temperado com a maior perda de carga com 58,46 W com a persiana.

Como análise da orientação Nordeste, o vidro temperado apresentou as maiores cargas térmicas, entretanto, com valores de carga não muito altas em relação aos outros 3.

Comparando-os, essa diferença não foi muito alta, variando de 0,57-3,32% em relação ao vidro de menor carga (laminado) com persiana e de 3,35-9,78% sem persiana. Já em relação entre os outros 3 vidros, essa diferença foi bem baixa, variando de 0,03 a 0,55% com a persiana e 0,02 a 1,79% sem a persiana.

Para esta orientação, é aconselhável o uso de persianas em qualquer situação. Os valores chegam a ser consideráveis para a abertura de 100 e 75%, principalmente para o vidro temperado. Entretanto, o uso dos outros 3 vidros, a diferença do uso ou não, foi baixo, variando de 0,45 a 2,69%, para todas as outras situações.

O conjunto de tabelas de carga térmica para a orientação Leste é apresentado pela FIGURA 17, e posteriormente sua análise.

FIGURA 17 - Tabela de carga térmica por variáveis para a orientação Leste (valores em W).

Orientação solar: L																			
Persiana: on																			
100			%↑	W↑	75			%↑	W↑	50			%↑	W↑	25		%↑	W↑	VR↓ (W)
Vlami	1965,37				Vlami	1913,65				Vlami	1848,54				Vlami	1786,13			1786,13
Vvacuo	1973,72	0,42	8,35		Vvacuo	1920,26	0,35	6,61		Vvacuo	1853,02	0,24	1853,02		Vvacuo	1786,72	0,03	0,59	
Vpiro	1978,06	0,65	12,69		Vpiro	1923,86	0,53	10,21		Vpiro	1855,57	0,38	7,03		Vpiro	1788,82	0,12	2,69	VR↑ (W)
Vtemp	2206,4	12,26	241,03		Vtemp	1970,26	2,96	56,61		Vtemp	1887,43	2,10	38,89		Vtemp	1798,96	0,72	12,83	2206,4
Persiana: off																			
100			%↑	W↑	75			%↑	W↑	50			%↑	W↑	25		%↑	W↑	VR↓ (W)
Vvacuo	2022,4				Vvacuo	1962,99				Vvacuo	1884,69				Vvacuo	1803,2			1803,2
Vlami	2023,34	0,05	0,94		Vlami	1964,87	0,10	1,88		Vlami	1886,82	0,11	2,13		Vlami	1807,58	0,24	4,38	
Vpiro	2068,34	2,27	45,94		Vpiro	2003,43	2,06	40,44		Vpiro	1915,3	1,62	30,61		Vpiro	1822,57	1,07	14,99	VR↑ (W)
Vtemp	2274,11	12,45	251,71		Vtemp	2171,65	10,63	208,66		Vtemp	2039,78	8,23	155,09		Vtemp	1881,21	4,33	78,01	2274,11

100				
vidro	on	off	V%↑↓	W↑↓
Vpiro	1978,06	2068,34	-4,36	-90,28
Vtemp	2206,4	2274,11	-2,98	-67,71
Vlami	1965,37	2023,34	-2,87	-57,97
Vvacuo	1973,72	2022,4	-2,41	-48,68

75				
vidro	on	off	V%↑↓	W↑↓
Vtemp	1970,26	2171,65	-9,27	-201,39
Vpiro	1923,86	2003,43	-3,97	-79,57
Vlami	1913,65	1964,87	-2,61	-51,22
Vvacuo	1920,26	1962,99	-2,18	-42,73

50				
vidro	on	off	V%↑↓	W↑↓
Vtemp	1887,43	2039,78	-7,47	-152,35
Vpiro	1855,57	1915,3	-3,12	-59,73
Vlami	1848,54	1886,82	-2,03	-38,28
Vvacuo	1853,02	1884,69	-1,68	-31,67

25				
vidro	on	off	V%↑↓	W↑↓
Vtemp	1798,96	1881,21	-4,37	-82,25
Vpiro	1788,82	1822,57	-1,85	-33,75
Vlami	1786,13	1807,58	-1,19	-21,45
Vvacuo	1786,72	1803,2	-0,91	-16,48

Fonte: arquivo do autor

- O maior valor de carga térmica com persiana foi de 2206,4 W para o vidro temperado, com 100% de abertura e o menor valor foi de 1786,13 W, para o vidro laminado, a 25% de abertura.
- O maior valor de carga térmica sem persiana foi de 2274,11 W, para o vidro temperado com 100% de abertura e o menor valor foi de 1803,20 W, para o vidro a vácuo a 25% de abertura.
- Com a persiana, a maior porcentagem obtida foi de 12,26% a mais de carga térmica para o vidro temperado em relação ao vidro laminado, com 100% de abertura. Isso equivale a 241,03 W de gasto energético a mais no ambiente. Para os outros 2 vidros com a mesma abertura, a diferença foi de 0,65% do vidro pirolítico e de 0,42% para o vidro a vácuo, ambos em relação ao laminado.
- Sem a persiana, a maior porcentagem obtida foi de 12,45% para o vidro temperado em relação ao vidro laminado, com 100% de abertura, com 251,71 W de gasto energético no ambiente. Para os outros 2 vidros com a mesma abertura, a diferença foi de 0,05% para o vidro a vácuo e de 2,27% para o vidro pirolítico, ambos em relação ao laminado.
- Com a persiana com 100% de abertura, o vidro a vácuo apresentou a menor perda de carga térmica com o uso das persianas, com 48,68 W de redução com a persiana. O vidro laminado também apresentou perda de 57,97 W, o vidro temperado com perda de 67,71 W e o pirolítico com a maior perda de carga térmica, com 90,28 W. Com 75% de abertura, o vidro a vácuo apresentou a menor perda de carga térmica com a persiana, com redução de 42,73 W. O vidro laminado com perda de 51,22 W, o vidro pirolítico com perda de 79,57 W e o temperado com a maior perda de carga com 201,39 W com o uso. Com 50% de abertura, o vidro a vácuo apresentou a menor perda de carga térmica com o uso das persianas, com 31,67 W de carga a menos no ambiente. O vidro laminado com perda de 38,28 W, o vidro pirolítico com perda de 59,73 W e o temperado com a maior perda com 152,35 W com a persiana. Com 25% de abertura, o vidro a vácuo apresentou a menor perda de carga com a persiana, com 16,49 W de carga a menos no ambiente. O vidro laminado com perda de 21,45 W, o vidro pirolítico com perda de 33,75 W e o temperado com a maior perda de carga com 82,25 W com o uso.

Como análise da orientação Leste, o vidro temperado apresentou as maiores cargas térmicas, entretanto, com carga de valores numéricos não muito altas em relação aos outros 3 vidros. Houve apenas uma exceção, com a abertura em 100% com a persiana, que apresentou

12,45% a mais de carga em relação ao vidro temperado. Comparando-os com as aberturas de 75, 50 e 25% com persiana, essa diferença não chega a ser muito importante, variando de 0,72-2,96% em relação ao vidro de menor carga (laminado) com persiana. Entretanto, com a persiana, esses valores variaram de 4,33-10,63%.

Para esta orientação, é aconselhável o uso de persianas em qualquer situação. Os valores chegam a ser consideráveis para a abertura de 100, 75 e 50%, principalmente para o vidro temperado. Com o uso dos outros 3 vidros, a diferença do uso ou não é baixa, variando de 0,91-3,97%, para todas as situações.

5.1.1.1 Análise geral por orientação solar

Como análise geral das cinco orientações, as com maiores cargas térmicas são em ordem: Oeste, Noroeste, Leste, Nordeste e Norte. As maiores diferenças de carga em relação ao tipo de vidro se concentraram na fachada Oeste, com a diferença em todas as 160 simulações de 23,24% entre os vidros temperado e laminado, com 100% de abertura e sem persiana.

O vidro de maior eficiência energética, para todas as orientações, foi o laminado. Na sequência, oscilavam entre o pirolítico e o a vácuo, sendo o menos eficiente, em todos os casos, o temperado. Em relação aos outros 3 vidros, a diferença entre eles não foi importante.

Percebe-se pelos resultados que, quanto maior a abertura do vidro, maior a carga térmica nos ambientes. Porém, esses valores de carga e suas porcentagens não são lineares ao aumento de área de abertura em vidro, isto é, a carga térmica com 100% de área envidraçada não é o dobro da carga na área com 50%.

Caso o uso da persiana seja apenas para fins térmicos, essas são aconselhadas nas seguintes situações:

- Orientação Oeste: nos vidros a vácuo apenas, em todas as aberturas, principalmente para as aberturas envidraçadas em 100%;
- Orientação Noroeste: nos vidros temperados apenas, em todas as aberturas, mas com diferenças de carga térmica não muito altas;
- Orientação Norte: nos vidros temperados em todas as aberturas, principalmente para as aberturas envidraçadas em 100, 75 e 50%. Já nos vidros laminados, a persiana pode ser utilizada em todas as aberturas, nos vidros a vácuo em todas as aberturas e nos vidros pirolíticos em todas as aberturas. Entretanto nesses 3 últimos vidros, as diferenças de cargas térmicas com e sem a persianas não são muito altas.

- Orientação Nordeste: nos vidros temperados em todas as aberturas, nos vidros laminados em todas as aberturas, nos vidros a vácuo em todas as aberturas e nos vidros pirolíticos em todas as aberturas. Nesses casos, a melhor utilização da persiana seria com o vidro temperado, com valores de redução de carga superiores a 100 W nas aberturas de 50,75 e 100%.
- Orientação Leste: nos vidros temperados em todas as aberturas, nos vidros laminados em todas as aberturas, nos vidros a vácuo em todas as aberturas e nos vidros pirolíticos em todas as aberturas. De todas as orientações, a orientação leste foi a que registrou as maiores diferenças entre o uso ou não da persiana.

Conforme já definido, as diferentes características demonstradas pelo uso ou não de persianas, podem ser explicadas pelo fato dos vidros barrarem a energia solar de uma face para a outra. Quando a radiação solar se transforma em onda longa (calor), ao se deparar com o material opaco (persiana, no caso), ela tende a se dissipar pelo ambiente. Estando perto de um vidro e de suas propriedades de transmitância (τ), refletância (ρ) e absorvância (α), essa onda longa não consegue atravessá-lo, até o momento que haja uma equiparação de temperatura entre o vidro e o colchão de ar entre o vidro e a persiana. Com isso, é a orientação solar que vai facilitar ou dificultar a entrada de carga térmica no ambiente, com o uso ou não de persiana. Como as maiores cargas térmicas simuladas concentravam-se entre 16h00min a às 18h00min, isto é, quando o sol encontra-se com maior incidência nas faces Noroeste e oeste, o uso de persianas é válido, então para todos os vidros nas orientações Norte, Nordeste e Leste, isto é, quando a carga térmica nessas faces não são tão superiores quanto as faces Noroeste e Oeste. Desta maneira, no geral, quanto mais a Leste, melhor o uso de persianas e quanto mais a oeste, menor eficiência no uso desse elemento decorativo. Isso se deve à grande quantidade de carga térmica no ambiente.

Entretanto, é válido dizer que muitos dos valores comparativos apresentados com o uso ou não da persiana, são valores baixos, na ordem de 3% de ganho ou de perda energética. A exceção foi dada ao vidro á vácuo, com 100% de abertura na fachada Oeste, com a maior redução de carga térmica, de 9,84%, totalizando 386,24 W não presentes no ambiente, com a persiana.

5.1.2 Análise por comparativo entre tipos de vidros

Nesta análise, foram utilizados os seguintes critérios:

- Tabela com os valores de carga térmica por tipo de vidro: com e sem persiana, com as quatro aberturas e com as cinco orientações solares;
- Tabelas menores, com proporção de abertura para o mesmo tipo de vidro: com e sem persiana e com as cinco orientações solares.

Esses dois conjuntos de tabelas foram analisadas pelos seguintes critérios:

- %↑- apresenta a porcentagem que o vidro tem de carga térmica a mais em relação ao vidro de menor carga térmica, com as mesmas orientações solares, proporções de aberturas e com o uso ou não de persianas;
- $W\uparrow$ - apresenta, em valores absolutos de carga térmica (W) quanto o vidro tem a mais de carga térmica em relação ao vidro de menor carga térmica, para as mesmas orientações solares, proporções de aberturas e com a persiana. Posteriormente, é apresentada outra tabela sem a persiana;
- $V\% \uparrow \downarrow$ - equivale ao valor em porcentagem de quanto a carga térmica com o vidro com persiana é maior ou menor com o vidro sem persiana, para a mesma orientação solar, tipo de vidro e tamanho das aberturas;
- $W \uparrow \downarrow$ - apresenta, em valores absolutos de carga térmica (W) o quanto o vidro tem a mais de carga térmica em relação ao vidro de menor carga térmica, com uso ou não de persiana, para as mesmas orientações solares, tipo de vidro e tamanho de aberturas.

O conjunto de tabelas de carga térmica para a o vidro temperado é apresentado na FIGURA 18, e posteriormente sua análise.

FIGURA 18 - Tabela de carga térmica por variáveis para o vidro temperado (valores em W).

Vtemp																			
Persiana: on																			
	O	%↑	W↑	NO		%↑	W↑	N		%↑	W↑	NE		%↑	W↑	L			
25	2336,96			25	2039,67			25	1755,34			25	1796,93			25	1798,96		
50	2979,64	27,50	642,68	50	2355,16	15,47	315,49	50	1833,08	4,43	77,74	50	1871,98	4,18	75,05	50	1887,43	4,92	88,47
75	3511,35	50,25	1174,39	75	2606,37	27,78	566,7	75	1904,32	8,49	148,98	75	1948,09	8,41	151,16	75	1970,26	9,52	171,3
100	3859,42	65,15	1522,46	100	2822,14	38,36	782,47	100	1972,98	12,40	217,64	100	2011,11	11,92	214,18	100	2206,40	22,65	407,44
Persiana: off																			
	O	%↑	W↑	NO		%↑	W↑	N		%↑	W↑	NE		%↑	W↑	L			
25	2345,88			25	2059,54			25	1796,56			25	1855,39			25	1881,21		
50	2987,85	27,37	641,97	50	2400,57	16,56	341,03	50	1901,46	5,84	104,9	50	1975,41	6,47	120,02	50	2039,78	8,43	158,57
75	3559,85	51,75	1213,97	75	2669,72	29,63	610,18	75	1999,51	11,30	202,95	75	2087,60	12,52	112,19	75	2171,65	15,44	290,44
100	3926,82	67,39	1580,94	100	2870,86	39,39	811,32	100	2073,80	15,43	277,24	100	2171,43	17,03	316,04	100	2274,11	20,89	392,9

Vtemp				
O	on	off	V%↑↓	W↑↓
25	2336,96	2345,88	-0,38	-8,92
50	2979,64	2987,85	-0,27	-8,21
75	3511,35	3559,85	-1,36	-48,5
100	3859,42	3926,82	-1,72	-67,4

Vtemp				
NO	on	off	V%↑↓	W↑↓
25	2039,67	2059,54	-0,96	-19,87
50	2355,16	2400,57	-1,89	-45,41
75	2606,37	2669,72	-2,37	-63,35
100	2822,14	2870,86	-1,70	-48,72

Vtemp				
N	on	off	V%↑↓	W↑↓
25	1755,34	1796,56	-2,29	-41,22
50	1833,08	1901,46	-3,60	-68,38
75	1904,32	1999,51	-4,76	-95,19
100	1972,98	2073,80	-4,86	-100,82

Vtemp				
NE	on	off	V%↑↓	W↑↓
25	1796,93	1855,39	-3,15	-58,46
50	1871,98	1975,41	-5,24	-103,43
75	1948,09	2087,60	-6,68	-139,51
100	2011,11	2171,43	-7,38	-160,32

Vtemp				
L	on	off	V%↑↓	W↑↓
25	1798,96	1881,21	-4,37	-82,25
50	1887,43	2039,78	-7,47	-152,35
75	1970,26	2171,65	-9,27	-201,39
100	2206,40	2274,11	-2,98	-67,71

Fonte: arquivo do autor

- O maior valor de carga térmica com persiana foi de 3959,42 W, para a orientação Oeste a 100% de abertura e o menor valor foi de 1755,34 W, para a orientação Norte, com 25% de abertura.
- O maior valor de carga térmica sem persiana foi de 3926,82 W, para a orientação Oeste a 100% de abertura e o menor valor foi de 1796,56 W, para a orientação Norte, com 25% de abertura.
- Com a persiana, a maior porcentagem apresentada obtida foi de 65,15%, para abertura 100% com orientação Oeste em relação à menor abertura, de 25%. Isso equivale a 1522,46 W de gasto energético a mais no ambiente. Para as outras 2 aberturas nessa orientação, a diferença foi de 50,25% para a abertura de 75% e 27,50% para 50% de abertura.
- Sem a persiana, a maior porcentagem obtida foi de 67,39%, para abertura 100% com orientação Oeste em relação à menor abertura, de 25%. Isso equivale a 1580,94 W de gasto energético a mais. Para as outras 2 aberturas nessa orientação, a diferença foi de 51,75% para a abertura de 75% e 27,37% para a abertura de 50%.
- Com o uso ou não de persiana, o vidro temperado apresentou as maiores cargas térmicas na face Oeste, seguido pela Noroeste, Leste, Nordeste e Norte para abertura 100%. O mesmo acontece para as aberturas em 75, 50 e 25%.

Analisando o vidro temperado, todas as simulações indicaram que o uso de persianas diminui a carga térmica no ambiente. Entretanto, não são valores proporcionais consideradas, onde a maior redução de carga foi de 9,27% com abertura em 75%.

O conjunto de tabelas de carga térmica para a o vidro laminado é apresentado pela FIGURA 19, e posteriormente sua análise.

FIGURA 19 - Tabela de carga térmica por variáveis para o vidro laminado (valores em W)

Vlami																			
Persiana: on																			
O		%↑	W↑	NO		%↑	W↑	N		%↑	W↑	NE		%↑	W↑	L		%↑	W↑
25	2206,97			25	1967,24			25	1747,19			25	1786,68			25	1786,13		
50	2705,57	22,59	498,6	50	2215,76	12,63	248,52	50	1804,89	3,30	57,7	50	1838,95	2,93	52,27	50	1848,54	3,49	62,41
75	3129,26	41,79	922,29	75	2409,00	22,46	441,76	75	1862,83	6,62	115,64	75	1899,73	6,33	113,05	75	1913,65	7,14	127,52
100	3404,13	54,24	1197,16	100	2572,55	30,77	605,31	100	1909,16	9,27	161,97	100	1948,36	9,05	161,68	100	1965,37	10,04	179,24
Persiana: off																			
O		%↑	W↑	NO		%↑	W↑	N		%↑	W↑	NE		%↑	W↑	L		%↑	W↑
25	2144,59			25	1942,14			25	1752,41			25	1798,57			25	1807,58		
50	2562,25	19,48	417,66	50	2169,31	11,70	227,17	50	1809,18	3,24	56,77	50	1857,23	3,26	58,66	50	1886,82	4,38	79,24
75	2944,15	37,28	799,56	75	2348,63	20,93	406,49	75	1870,26	6,73	117,85	75	1925,16	7,04	67,93	75	1964,87	8,70	157,29
100	3186,32	48,57	1041,73	100	2479,78	27,68	537,64	100	1918,23	9,46	165,82	100	1978,01	9,98	179,44	100	2023,34	11,94	215,76

Vlami				
O	on	off	V%↑↓	W↑↓
25	2206,97	2144,59	2,91	62,38
50	2705,57	2562,25	5,59	143,32
75	3129,26	2944,15	6,29	185,11
100	3404,13	3186,32	6,84	217,81

Vlami				
NO	on	off	V%↑↓	W↑↓
25	1967,24	1942,14	1,29	25,1
50	2215,76	2169,31	2,14	46,45
75	2409,00	2348,63	2,57	60,37
100	2572,55	2479,78	3,74	92,77

Vlami				
N	on	off	V%↑↓	W↑↓
25	1747,19	1752,41	-0,30	-5,22
50	1804,89	1809,18	-0,24	-4,29
75	1862,83	1870,26	-0,40	-7,43
100	1909,16	1918,23	-0,47	-9,07

Vlami				
NE	on	off	V%↑↓	W↑↓
25	1786,68	1798,57	-0,66	-11,89
50	1838,95	1857,23	-0,98	-18,28
75	1899,73	1925,16	-1,32	-25,43
100	1948,36	1978,01	-1,50	-29,65

Vlami				
L	on	off	V%↑↓	W↑↓
25	1786,13	1807,58	-1,19	-21,45
50	1848,54	1886,82	-2,03	-38,28
75	1913,65	1964,87	-2,61	-51,22
100	1965,37	2023,34	-2,87	-57,97

Fonte: arquivo do autor

- O maior valor de carga térmica com persiana foi de 3404,13 W, para a orientação Oeste com 100% de abertura, e o menor valor foi de 1747,19 W, para a orientação Norte, com 25% de abertura.
- O maior valor de carga térmica sem persiana foi de 3186,32 W, para a orientação Oeste com 100% de abertura, e o menor valor foi de 1752,41 W, para a orientação Norte, com 25% de abertura.
- Com a persiana, a maior porcentagem obtida foi de 54,24 %, com abertura 100%, com orientação Oeste em relação à menor abertura, de 25%. Isso equivale a 1197,16 W de energia a mais no ambiente. Para as outras 2 aberturas nessa orientação, a diferença foi de 41,79% para a abertura de 75% e 22,59% para a abertura de 50%.
- Sem o uso da persiana, a maior porcentagem obtida foi de 48,57%, para abertura 100%, com orientação Oeste em relação à menor abertura, de 25%. Isso equivale a 1041,73 W de energia no ambiente. Para as outras 2 aberturas nessa orientação, a diferença foi de 37,28% para a abertura de 75% e 219,48% para a abertura de 50%.
- Com uso ou não de persiana, o vidro laminado, com persiana, apresentou cargas térmicas maiores na face Oeste, seguido pela Noroeste, Leste, Nordeste e Norte (para abertura 100% e em 75% e 50%) em relação ao não uso da persiana. A abertura em 25% com a persianas obteve maiores cargas térmicas em ordem pelas faces Oeste, Noroeste, Nordeste, Leste e Norte.

Analisando o vidro laminado, as simulações indicaram que o uso de persianas diminui a carga térmica no ambiente nas faces Norte, Nordeste e Leste. Entretanto, não são valores proporcionais consideráveis, onde a maior redução de carga foi de 2,87% com abertura em 100% para a face Leste, de 1,50% com abertura de 100% na face Nordeste e apenas 0,47% também com 100% de abertura, na face Norte. Já nas faces, Oeste e Noroeste, indicaram que o uso de persiana aumenta a carga térmica no ambiente, com valores de maior carga, em 6,84% para a abertura de 100%, face Oeste, e 3,74% para a face Noroeste, também a 100% de abertura.

O conjunto de tabelas de carga térmica para a o vidro pirolítico é apresentado pela FIGURA 20, e posteriormente sua análise.

FIGURA 20 - Tabela de carga térmica por variáveis para o vidro pirolítico (valores em W).

Vpiro																			
Persiana: on																			
	O	%↑	W↑		NO	%↑	W↑		N	%↑	W↑		NE	%↑	W↑		L	%↑	W↑
25	2223,17			25	1976,96			25	1748,83			25	1788,80			25	1788,82		
50	2736,37	23,08	513,2	50	2234,54	13,03	257,58	50	1809,68	3,48	60,85	50	1844,83	3,13	56,03	50	1855,57	3,73	66,75
75	3173,84	42,76	950,67	75	2435,39	23,19	458,43	75	1869,92	6,92	121,09	75	1908,35	6,68	119,55	75	1923,86	7,55	135,04
100	3458,84	55,58	1235,67	100	2605,07	31,77	628,11	100	1982,11	13,34	233,28	100	1959,16	9,52	170,36	100	1978,06	10,58	189,24
Persiana: off																			
	O	%↑	W↑		NO	%↑	W↑		N	%↑	W↑		NE	%↑	W↑		L	%↑	W↑
25	2153,67			25	1950,67			25	1761,34			25	1810,08			25	1822,57		
50	2591,57	20,33	437,9	50	2188,70	12,20	238,03	50	1825,37	3,64	64,03	50	1878,71	3,79	68,63	50	1915,30	5,09	92,73
75	2989,14	38,79	835,47	75	2377,55	21,88	426,88	75	1893,09	7,48	131,75	75	1954,82	8,00	76,11	75	2003,43	9,92	180,86
100	3244,52	50,65	1090,85	100	2517,56	29,06	566,89	100	1945,79	10,47	184,45	100	2013,37	11,23	203,29	100	2068,34	13,48	245,77

Vpiro				
O	on	off	V%↑↓	W↑↓
25	2223,17	2153,67	3,23	69,5
50	2736,37	2591,57	5,59	144,8
75	3173,84	2989,14	6,18	184,7
100	3458,84	3244,52	6,61	214,32

Vpiro				
NO	on	off	V%↑↓	W↑↓
25	1976,96	1950,67	1,35	26,29
50	2234,54	2188,70	2,09	45,84
75	2435,39	2377,55	2,43	57,84
100	2605,07	2517,56	3,48	87,51

Vpiro				
N	on	off	V%↑↓	W↑↓
25	1748,83	1761,34	-0,71	-12,51
50	1809,68	1825,37	-0,86	-15,69
75	1869,92	1893,09	-1,22	-23,17
100	1982,11	1945,79	1,87	36,32

Vpiro				
NE	on	off	V%↑↓	W↑↓
25	1788,80	1810,08	-1,18	-21,28
50	1844,83	1878,71	-1,80	-33,88
75	1908,35	1954,82	-2,38	-46,47
100	1959,16	2013,37	-2,69	-54,21

Vpiro				
L	on	off	V%↑↓	W↑↓
25	1788,82	1822,57	-1,85	-33,75
50	1855,57	1915,30	-3,12	-59,73
75	1923,86	2003,43	-3,97	-79,57
100	1978,06	2068,34	-4,36	-90,28

Fonte: arquivo do autor

- O maior valor de carga térmica com persiana foi de 3458,84 W, para a orientação Oeste com 100% de abertura e o menor valor foi de 1748,83 W, para a orientação Norte, com 25% de abertura.
- O maior valor de carga térmica sem persiana foi de 3244,52 W, para a orientação Oeste com 100% de abertura e o menor valor foi de 1761,34 W, para a orientação Norte, com 25% de abertura.
- Com a persiana, a maior porcentagem obtida foi de 55,58 %, para abertura 100%, com orientação Oeste em relação à menor abertura, de 25%. Isso equivale a 1235,67 W de gasto energético a mais no ambiente. Para as outras 2 aberturas nessa orientação, a diferença foi de 42,76% para a abertura de 75% e 23,08% para a abertura de 50%.
- Sem a persiana, a maior porcentagem obtida foi de 50,65%, para abertura 100%, com orientação Oeste em relação à menor abertura, de 25 %. Isso equivale a 1090,85 W de gasto energético a mais no ambiente. Para as outras 2 aberturas nessa orientação, a diferença foi de 38,79% para a abertura de 75 % e 20,33 % para a abertura de 50%.
- Com a persiana, o vidro pirolítico apresentou as maiores cargas térmicas na face Oeste, seguido pelas faces Noroeste, Leste, Norte e Nordeste, para abertura 100%. Para as aberturas em 75, 50 e 25% foram as faces Oeste, Noroeste, Leste, Nordeste e Norte. Sem o uso da persiana, o vidro pirolítico apresentou as maiores cargas térmicas na face Oeste, seguido pela Noroeste, Leste, Nordeste e Norte, para abertura 100% e também para as aberturas em 75, 50 e 25%.

Analisando o vidro pirolítico comparando-o com o uso ou não de persiana, as simulações indicaram que o uso de persianas diminui a carga térmica no ambiente nas faces Norte, Nordeste e Leste para todas as aberturas, com exceção da face Norte com 100 % de abertura. O uso de persiana no vidro pirolítico nas faces Oeste e Noroeste aumenta a carga térmica no ambiente. Entretanto, tanto para o ganho ou perda de carga no ambiente, os valores não são muito consideráveis, variando de - 4,36-6,61%.

O conjunto de tabelas de carga térmica para a o vidro pirolítico é apresentado FIGURA 21, e posteriormente sua análise.

FIGURA 21 - Tabela de carga térmica por variáveis para o vidro a vácuo (valores em W).

Vvacuo																			
Persiana: on																			
	O	%↑	W↑		NO	%↑	W↑		N	%↑	W↑		NE	%↑	W↑		L	%↑	W↑
25	2246,33			25	1985,39			25	1747,74			25	1787,19			25	1786,72		
50	2794,81	24,42	548,48	50	2250,15	13,34	264,76	50	1808,77	3,49	61,03	50	1842,77	3,11	55,58	50	1853,02	3,71	66,3
75	3251,28	44,74	1004,95	75	2455,97	23,70	470,58	75	1868,43	6,91	120,69	75	1905,29	6,61	118,1	75	1920,26	7,47	133,54
100	3540,58	57,62	1294,25	100	2637,06	32,82	651,67	100	1916,14	9,64	168,4	100	1955,30	9,41	168,11	100	1973,72	10,47	187
Persiana: off																			
	O	%↑	W↑		NO	%↑	W↑		N	%↑	W↑		NE	%↑	W↑		L	%↑	W↑
25	2202,98			25	1970,14			25	1749,94			25	1795,20			25	1803,20		
50	2663,69	20,91	460,71	50	2218,96	12,63	248,82	50	1801,42	2,94	51,48	50	1856,77	3,43	61,57	50	1884,69	4,52	81,49
75	3087,08	40,13	884,1	75	2414,21	22,54	444,07	75	1872,17	6,98	122,23	75	1925,03	7,23	68,26	75	1962,99	8,86	159,79
100	3351,49	52,13	1148,51	100	2554,70	29,67	584,56	100	1921,00	9,78	171,06	100	1978,57	10,21	183,37	100	2022,40	12,16	219,2

Vvacuo				
O	on	off	V%↑↓	W↑↓
25	2246,33	2202,98	1,97	43,35
50	2794,81	2663,69	4,92	131,12
75	3251,28	3087,08	5,32	164,2
100	3540,58	3351,49	5,64	189,09

Vvacuo				
NO	on	off	V%↑↓	W↑↓
25	1985,39	1970,14	0,77	15,25
50	2250,15	2218,96	1,41	31,19
75	2455,97	2414,21	1,73	41,76
100	2637,06	2554,70	3,22	82,36

Vvacuo				
N	on	off	V%↑↓	W↑↓
25	1747,74	1749,94	-0,13	-2,2
50	1808,77	1801,42	0,41	7,35
75	1868,43	1872,17	-0,20	-3,74
100	1916,14	1921,00	-0,25	-4,86

Vvacuo				
NE	on	off	V%↑↓	W↑↓
25	1787,19	1795,20	-0,45	-8,01
50	1842,77	1856,77	-0,75	-14
75	1905,29	1925,03	-1,03	-19,74
100	1955,30	1978,57	-1,18	-23,27

Vvacuo				
L	on	off	V%↑↓	W↑↓
25	1786,72	1803,20	-0,91	-16,48
50	1853,02	1884,69	-1,68	-31,67
75	1920,26	1962,99	-2,18	-42,73
100	1973,72	2022,40	-2,41	-48,68

Fonte: arquivo do autor

- O maior valor de carga térmica com persiana foi de 3540,58 W, para a orientação Oeste com 100% de abertura e o menor valor foi de 1747,74 W, para a orientação Norte, com 25% de abertura.
- O maior valor de carga térmica sem persiana foi de 3351,49 W, para a orientação Oeste com 100% de abertura e o menor valor foi de 1749,94 W, para a orientação Norte, com 25% de abertura.
- Com o uso da persiana, a maior porcentagem obtida foi de 57,62%, para abertura 100%, com orientação Oeste em relação à menor abertura, de 25%. Isso equivale a 1294,25 W de energia a mais no ambiente. Para as outras 2 aberturas nessa orientação, a diferença foi de 44,74% para a abertura de 75% e 24,42% para a abertura de 50%.
- Sem a persiana, a maior porcentagem obtida foi de 52,13 %, para abertura 100 %, com orientação Oeste em relação à menor abertura, de 25 %. Isso equivale a 1148,51 W de energia a mais no ambiente. Para as outras 2 aberturas nessa orientação, a diferença foi de 40,13% para a abertura de 75 % e 20,91% para a abertura de 50%.
- Com a persiana, o vidro a vácuo apresentou as maiores cargas térmicas na face Oeste, seguido pelas faces Noroeste, Leste, Norte e Nordeste, para abertura 100% com a persiana. Já para as aberturas em 75, 50 e 25 % foram as faces Oeste, Noroeste, Leste, Nordeste e Norte. Sem a persiana, o vidro apresentou as maiores cargas térmicas na face Oeste, seguidas pela Noroeste, Leste, Nordeste e Norte, para todas as aberturas.

Analisando o vidro a vácuo comparando-o com o uso ou não de persiana, as simulações indicaram que o uso de persianas diminui a carga térmica no ambiente nas faces Norte (menos para a abertura de 50%), Nordeste e Leste para todas as aberturas. O uso de persianas no vidro a vácuo nas faces Oeste e Noroeste aumenta a carga térmica no ambiente. Entretanto, tanto para o ganho ou perda de carga no ambiente, os valores não são muito altos, variando de – 2,41 a 5,64%.

5.1.2.1 Análise geral por tipo de vidro

Como análise geral pelo tipo de vidro, o vidro temperado apresentou as maiores cargas térmicas em todas as simulações. Suas maiores cargas concentraram-se nas faces Oeste, com as aberturas em 100, 75 e 25%. Outro fator importante a ser definido é que, o uso de persianas em qualquer orientação solar e tipo de abertura para este vidro, é aconselhável, pois as

simulações demonstraram que houve redução de carga térmica no ambiente, mesmo que em pouca proporção.

Os outros 3 vidros apresentaram cargas inferiores ao vidro temperado em todas as simulações. Entretanto, entre eles a diferença não foi relevante. As maiores cargas térmicas encontradas nas simulações concentraram-se nas faces Oeste, com as aberturas em 100, 75 e 25%.

Sobre o uso de persianas para esses 4 vidros, são aconselhados nos seguintes casos:

- Nos vidros pirolíticos: Norte em todas as aberturas, Nordeste em todas as aberturas, Leste em todas as aberturas;
- Nos vidros a vácuo: Oeste em todas as aberturas, Norte em todas as aberturas, Nordeste em todas as aberturas, Leste em todas as aberturas;
- Nos vidros laminados: Norte em todas as aberturas, Nordeste em todas as aberturas, Leste em todas as aberturas;
- Nos vidros temperados: todas as simulações.

5.1.3 Análise por comparativo econômico (*payback simples*)

Para esta análise, é apresentada uma avaliação econômico-financeira do uso dos vidros utilizados nas simulações sob a ótica do consumidor. Foram utilizados para discussão da viabilidade do material o *payback simples*⁵ (tempo de retorno sobre o investimento). Apesar deste método não ser muito recomendado (pois não considera o valor do dinheiro no tempo, o que o torna um método matematicamente incorreto, pois destoa dos conceitos de relações de equivalência entre taxas da matemática financeira), ele é muito usado na prática, principalmente por leigos na área financeira [WR PRATES, 2017].

⁵ O *payback simples* é o método mais simples para se analisar a viabilidade de um investimento. É definido como o número de períodos (anos, meses, semanas) para se recuperar um dado investimento inicial. Para se calcular o período de *payback* de um projeto, basta somar os valores dos fluxos de caixa auferidos, período a período, até que essa soma se iguale ao valor do investimento inicial. Uma vez que o período é encontrado quando os fluxos de caixa “pagam” o investimento, basta somar os fluxos de caixa ao valor do investimento inicial. Possui como vantagens a simplicidade e rapidez, e é uma medida de risco do investimento, pois quanto menor o período de *payback*, mais líquido é o investimento e, portanto menos arriscado. Como desvantagens, não considera o valor do dinheiro no tempo, não considera os fluxos de caixa após o período de *payback* e não leva em conta o custo de capital da empresa [WR PRATES, 2017].

Para isso, foi simulada a viabilidade econômica supondo apenas a troca dos vidros eficientes pelo menos eficiente. O custo da tarifa energética foi feito considerando o cenário apenas de Mato Grosso do Sul.

Para esta análise, foram utilizados os dados simulados da seguinte forma:

- São apresentadas 5 tabelas, com os valores de carga térmica, por orientação solar, com e sem persiana, com as 4 aberturas em vidro e os 4 tipos de vidros estudados;
- É definida, para a verificação de conformidade econômica, a vida útil dos vidros em 10 anos. Conforme a Abravidro (2017), não existe uma Norma Técnica que defina a vida útil do vidro plano utilizado na construção civil. Desta maneira, sua vida útil pode ter mais de 10 anos.

A Tabela foi então analisada pelos seguintes itens:

- $W\uparrow$ - apresenta, em valores absolutos de carga térmica (W), ou seja, o quanto o vidro em análise tem a mais de carga térmica em relação ao vidro de menor carga térmica, para as mesmas orientações solares, proporções de aberturas e com a persiana. Posteriormente, será apresentada outra tabela sem a persiana.
- kW/ano- equivale ao valor de carga térmica (kW) que o ambiente recebeu em um ano, em comparação ao vidro de menor carga térmica. Considerando que a incidência dessa carga tenha ocorrido durante 8 horas por dia, 22 dias por mês, 12 meses, de forma constante;
- R\$/ano- equivale ao valor em moeda nacional (Reais) de gasto com a carga elétrica durante o ano em relação à diferença do valor de menor carga térmica. Considerando-se o valor do kW/h de R\$ 0,66 sendo consumido a baixa tensão, bifásico, grupo B (ENERGISA, 2017);
- PBK- equivale ao número de períodos em anos (*payback* simples), do vidro analisado, em relação ao vidro com maior EE. Neste caso, esse valor informa em quanto tempo recupera-se o investimento da diferença do valor dos vidros que estão sendo comparados e a economia obtida em kW/h do vidro mais eficiente. Para essa análise, foram obtidos os valores, em moeda nacional, dos vidros por m². Para o vidro temperado, o valor foi de R\$ 166,00 o m², para o vidro laminado, R\$ 310,00 o m², para o vidro pirolítico, R\$ 367,00 o m² e para o a vácuo, R\$ 580,00 o m². Desta forma, para a análise, foi utilizada a Equação (1):

$$PBK = \frac{\$V_{lami} - \$V_x}{R\$x/ano} \text{ [anos]} \quad (1)$$

R\$x/ano

Onde,

- \$V_{lami}: valor em moeda nacional, do vidro mais eficiente energeticamente para cada simulação, no caso, o laminado. Os seguintes valores foram obtidos:
 - Para 25% de área envidraçada, equivalente a 4,84 m², valor total de R\$ 1.539,93;
 - Para 50% de área envidraçada, equivalente a 9,92 m², valor total de R\$ 3.079,85;
 - Para 75% de área envidraçada, equivalente a 15,05 m², valor total de R\$ 4.619,78;
 - Para 100% de área envidraçada, equivalente a 19,87 m², valor total de R\$ 6.159,70.
- \$V_x: valores em moeda nacional, do vidro a ser comparado com o vidro laminado. Desta forma, os seguintes valores foram obtidos para o vidro temperado:
 - Para 25% de área envidraçada, valor total de R\$ 824,61;
 - Para 50% de área envidraçada, valor total de R\$ 1.649,21;
 - Para 75% de área envidraçada, valor total de R\$ 2.493,82;
 - Para 100% de área envidraçada, equivalente a 19,87 m², valor total de R\$ 3.298,42.

Para o vidro pirolítico, foram obtidos os seguintes valores:

 - Para 25% de área envidraçada, valor total de R\$ 1.823,07;
 - Para 50% de área envidraçada, valor total de R\$ 3.646,15;
 - Para 75% de área envidraçada, valor total de R\$ 5.469,22;
 - Para 100% de área envidraçada, valor total de R\$ 7.292,29.

Para o vidro a vácuo, foram obtidos os seguintes valores:

 - Para 25% de área envidraçada, valor total de R\$ 2.881,15;
 - Para 50% de área envidraçada, valor total de R\$ 5.762,30;
 - Para 75% de área envidraçada, valor total de R\$ 8.643,45;
 - Para 100% de área envidraçada, valor total de R\$ 11.524,60.
- R\$x/ano- equivale, ao valor em moeda nacional (reais), de quanto custaria o kW/ano a mais em análise.

É importante ressaltar que, como o vidro laminado, além de mais eficiente em relação ao pirolítico e a vácuo, é também o mais barato dentre os 3. Dessa forma, o *payback* com a utilização deste vidro, só é válido em relação ao vidro temperado, que além de mais barato que ele, e também menos eficiente. O conjunto de tabelas de *payback* para a orientação Oeste é apresentado pela FIGURA 22e posteriormente sua análise.

FIGURA 22 - Tabela de *payback* simples dos vidros para a orientação Oeste.

Orientação solar: O																				
Persiana: on																				
	100	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	75	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	50	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	25	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK
Vlami	3404,13					3129,26					2705,57					2206,97				
Vpiro	3458,84	54,71	115,55	76,26	-14,85	3173,84	44,58	94,15	62,14	-13,67	2736,37	30,80	65,05	42,93	-13,19	2223,17	16,20	34,21	22,58	-12,54
Vvacuo	3540,58	136,45	288,18	190,20	-28,21	3251,28	122,02	257,71	170,09	-23,66	2794,81	89,24	188,47	124,39	-21,56	2246,33	39,36	83,13	54,86	-24,45
Vtemp	3859,42	455,29	961,57	634,64	4,51	3511,35	382,09	806,97	532,60	4,03	2979,64	274,07	578,84	382,03	3,74	2336,96	129,99	274,54	181,20	3,95
Persiana: off																				
	100	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	75	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	50	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	25	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK
Vlami	3186,32					2944,15					2562,25					2144,59				
Vpiro	3244,52	58,20	122,92	81,13	-13,96	2989,14	44,99	95,02	62,71	-13,55	2591,57	29,32	61,92	40,87	-13,86	2153,67	9,08	19,18	12,66	-22,37
Vvacuo	3351,49	165,17	348,84	230,23	-23,30	3087,08	142,93	301,87	199,23	-20,20	2663,69	101,44	214,24	141,40	-18,97	2202,98	58,39	123,32	81,39	-16,48
Vtemp	3926,82	740,50	1563,94	1032,20	2,77	3559,85	615,70	1300,36	858,24	2,50	2987,85	425,60	898,87	593,25	2,41	2345,88	201,29	425,12	280,58	2,55

Fonte: arquivo do autor

- Com a utilização de persiana, o vidro temperado apresentou *payback* com baixa variação em relação ao laminado, variando de 4,51 anos (100% de abertura) a 3,74 anos (50% de abertura). Os valores intermediários foram de 4,03 anos (75% de abertura) e 3,95 anos (25% de abertura). Ou seja, no pior caso, a diferença de valor inicial do vidro laminado, será pago com a economia de energia elétrica em 4,51 anos.
- Sem a persiana, o vidro temperado apresentou *payback* simples com baixa variação em relação ao laminado, de 2,77 anos (100% de abertura) a 2,41 (50% de abertura). Os valores intermediários foram 2,50 anos e de 2,55 anos (75% e 25%, respectivamente).

Pela tabela de orientação solar Oeste, percebem-se *paybacks* simples com uma variação em relação ao uso e não uso de persiana, de 2,41 a 4,51 anos. Dessa forma, para essa orientação solar, é econômico a utilização do vidro laminado, com e sem persiana. Em menos de 10 anos o investimento no vidro de melhor EE é pago.

O conjunto de tabelas de *payback* para a orientação Noroeste é apresentado pela FIGURA 23 e posteriormente sua análise.

FIGURA 23 - Tabela de *payback* simples dos vidros para a orientação Noroeste.

Orientação solar: NO																				
Persiana: on																				
	100	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	75	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	50	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	25	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK
Vlami	2572,55					2409,01					2215,76					1967,24				
Vpiro	2605,07	32,52	68,68	45,33	-24,99	2435,39	26,38	55,71	36,77	-23,10	2234,54	18,78	39,66	26,18	-21,63	1976,96	9,72	20,53	13,55	-20,90
Vvacuo	2637,06	64,51	136,25	89,92	-59,66	2455,97	46,96	99,18	65,46	-61,47	2250,15	34,39	72,63	47,94	-55,96	1985,39	18,15	38,33	25,30	-53,01
Vtemp	2822,14	249,59	527,13	347,91	8,22	2606,37	197,36	416,82	275,10	7,80	2355,16	139,40	294,41	194,31	7,36	2039,67	72,43	152,97	100,96	7,09
Persiana: off																				
	100	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	75	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	50	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	25	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK
Vlami	2479,78					2348,63					2169,31					1942,14				
Vpiro	2517,56	37,78	79,79	52,66	-21,51	2377,55	28,92	61,08	40,31	-21,07	2188,70	19,39	40,95	27,03	-20,95	1950,67	8,53	18,02	11,89	-23,81
Vvacuo	2554,70	74,92	158,23	104,43	-51,37	2414,21	65,58	138,50	91,41	-44,02	2218,96	49,65	104,86	69,21	-38,76	1970,14	28,00	59,14	39,03	-34,36
Vtemp	2870,86	391,08	825,96	545,13	5,25	2669,72	321,09	678,14	447,57	4,79	2400,57	231,26	488,42	322,36	4,44	2059,54	117,40	247,95	163,65	4,37

Fonte: arquivo do autor

- Com a utilização de persiana, o vidro temperado apresentou *payback* com baixa variação em relação ao laminado, variando de 8,22 anos (100% de abertura) a 7,09 anos (25% de abertura). Os valores intermediários foram de 7,80 anos (75% de abertura) e 7,36 anos (50% de abertura). Ou seja, no pior caso, a diferença de valor inicial do vidro laminado, será pago com a economia de energia elétrica em 8,22 anos.
- Sem a persiana, o vidro temperado apresentou *payback* simples com baixa variação em relação ao laminado, de 5,25 anos (100% de abertura) a 4,37 anos (25% de abertura). Os valores intermediários foram de 4,79 anos e de 4,44 anos (75% e 50%, respectivamente).

Pela tabela de orientação solar Noroeste, percebem-se *paybacks* simples com uma variação em relação ao uso ou não de persiana, de 4,37 a 8,22 anos. Dessa forma, para essa orientação solar, é econômico a utilização do vidro laminado, com e sem o uso da persiana. Em menos de 10 anos o investimento no vidro de melhor EE é pago.

O conjunto de tabelas de *payback* para a orientação Norte é apresentado pela FIGURA 24 e posteriormente sua análise.

FIGURA 24 - Tabela de *payback* simples dos vidros para a orientação Norte.

Orientação solar: N																				
Persiana: on																				
	100	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	75	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	50	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	25	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK
Vlami	1909,16					1862,83					1804,89					1747,19				
Vpiro	1918,11	8,95	18,90	12,48	-90,78	1869,92	7,09	14,97	9,88	-85,95	1809,68	4,79	10,12	6,68	-84,81	1748,83	1,64	3,46	2,29	-123,86
Vvacuo	1916,14	6,98	14,74	9,73	-551,40	1868,42	5,59	11,81	7,79	-516,38	1808,77	3,88	8,19	5,41	-495,98	1747,74	0,55	1,16	0,77	-1749,45
Vtemp	1972,98	63,82	134,79	88,96	32,16	1904,32	41,49	87,63	57,83	37,11	1833,08	28,19	59,54	39,29	36,41	1755,34	8,15	17,21	11,36	62,97
Persiana: off																				
	100	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	75	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	50	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	25	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK
Vlami	1918,23					1870,26					1809,18					1749,94				
Vpiro	1945,79	27,56	58,21	38,42	-29,48	1893,09	22,83	48,22	31,82	-26,69	1825,37	16,19	34,19	22,57	-25,09	1761,34	11,40	24,08	15,89	-17,82
Vvacuo	1921	2,77	5,85	3,86	-1389,45	1872,17	1,91	4,03	2,66	-1511,30	1810,42	1,24	2,62	1,73	-1551,93	1752,41	2,47	5,22	3,44	-389,55
Vtemp	2073,80	155,57	328,56	216,85	13,19	1999,51	129,25	272,98	180,16	11,91	1901,46	92,28	194,90	128,63	11,12	1796,56	46,62	98,46	64,98	11,01

Fonte: arquivo do autor

- Com a utilização de persiana, o vidro temperado não apresentou *payback* satisfatório em relação ao laminado, sendo de 32,16 anos (100% de abertura) a 62,97 anos (25% de abertura). Ou seja, a diferença de valor inicial do vidro laminado, será pago com a economia de energia elétrica em mais de 32 anos.
- Sem a persiana, o vidro temperado não apresentou *payback* satisfatório em relação ao laminado, sendo de 11,01 anos (25% de abertura) a 13,19 anos (25% de abertura). Ou seja, a diferença de valor inicial do vidro laminado, será pago com a economia de energia elétrica em mais de 11 anos.

Pela tabela de orientação solar Norte, percebem-se *paybacks* simples com uma variação em relação ao uso ou não de persiana, de 11,01 a 62,97 anos. Dessa forma, para essa orientação solar, não é econômico a utilização do vidro laminado, com ou sem o uso da persiana. Nesta orientação, em menos de 10 anos o investimento no vidro de melhor EE não é pago.

O conjunto de tabelas de *payback* para a orientação Nordeste é apresentado pela FIGURA 25 e posteriormente sua análise.

FIGURA 25 - Tabela de *payback* simples dos vidros para a orientação Nordeste.

Orientação solar: NE																				
Persiana: on																				
	100	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	75	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	50	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	25	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK
Vlami	1948,36					1899,73					1838,95					1786,68				
Vpiro	1955,3	6,94	14,66	9,67	-117,08	1905,29	5,56	11,74	7,75	-109,60	1842,77	3,82	8,07	5,32	-106,35	1787,19	0,51	1,08	0,71	-398,29
Vvacuo	1959,16	10,80	22,81	15,05	-356,37	1908,35	8,62	18,21	12,02	-334,87	1844,83	5,88	12,42	8,20	-327,28	1788,8	2,12	4,48	2,96	-453,87
Vtemp	2011,11	62,75	132,53	87,47	32,71	1948,09	48,36	102,14	67,41	31,83	1871,98	33,03	69,76	46,04	31,07	1796,93	10,25	21,65	14,29	50,07
Persiana: off																				
	100	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	75	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	50	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	25	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK
Vlami	1978,01					1925,03					1856,77					1795,2				
Vpiro	1978,57	0,56	1,18	0,78	-1450,93	1925,16	0,13	0,27	0,18	-4687,62	1857,23	0,46	0,97	0,64	-883,18	1798,57	3,37	7,12	4,70	-60,28
Vvacuo	2013,37	35,36	74,68	49,29	-108,85	1954,82	29,79	62,92	41,52	-96,90	1878,71	21,94	46,34	30,58	-87,71	1810,08	14,88	31,43	20,74	-64,66
Vtemp	2171,43	193,42	408,50	269,61	10,61	2087,6	162,57	343,35	226,61	9,47	1975,41	118,64	250,57	165,37	8,65	1855,39	60,19	127,12	83,90	8,53

Fonte: arquivo do autor

- Com a utilização de persiana, o vidro temperado não apresentou *payback* satisfatório em relação ao laminado, sendo de 31,07 anos (50% de abertura) a 50,07 anos (25% de abertura). Ou seja, a diferença de valor inicial do vidro laminado, será pago com a economia de energia elétrica em mais de 31 anos.
- Sem a persiana, o vidro temperado apresentou *payback* simples com baixa variação em relação ao laminado, de 8,53 anos (25% de abertura) a 9,47 anos (75% de abertura). O valor intermediário foi de 8,65 anos (50%). Entretanto, o vidro temperado não apresentou *payback* satisfatório em relação ao laminado com a abertura em 100%, sendo de 10,61 anos. Ou seja, a diferença de valor inicial do vidro laminado, será pago com a economia de energia elétrica em mais de 10 anos.

Pela tabela de orientação solar Nordeste, percebem-se *paybacks* simples com uma variação em relação ao uso ou não de persiana, de 8,53 a 50,07 anos. Sendo assim, para essa orientação solar, não é econômico a utilização do vidro laminado com a persiana. E sem o uso da mesma, não é aconselhado com aberturas em 100%.

O conjunto de tabelas de *payback* para a orientação Leste é apresentado pela FIGURA 26 e posteriormente sua análise.

FIGURA 26 - Tabela de *payback* simples dos vidros para a orientação Leste.

Orientação solar: L																				
Persiana: on																				
	100	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	75	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	50	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	25	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK
Vlami	1965,37					1913,65					1848,54					1786,13				
Vpiro	1973,72	8,35	17,64	11,64	-97,31	1920,26	6,61	13,96	9,21	-92,19	1853,02	4,48	9,46	6,24	-90,68	1786,72	0,59	1,25	0,82	-344,29
Vvacuo	1978,06	12,69	26,80	17,69	-303,29	1923,86	10,21	21,56	14,23	-282,72	1855,57	7,03	14,85	9,80	-273,74	1788,82	2,69	5,68	3,75	-357,69
Vtemp	2206,4	241,03	509,06	335,98	8,52	1970,26	56,61	119,56	78,91	27,20	1887,43	38,89	82,14	54,21	26,39	1798,96	12,83	27,10	17,88	40,00
Persiana: off																				
	100	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	75	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	50	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK	25	W↑	kW/ano	R\$/ano	PBK
Vlami	2022,4					1962,99					1884,69					1803,2				
Vpiro	2023,34	0,94	1,99	1,31	-864,38	1964,87	1,88	3,97	2,62	-324,14	1886,82	2,13	4,50	2,97	-190,73	1807,58	4,38	9,25	6,11	-46,38
Vvacuo	2068,34	45,94	97,03	64,04	-83,78	2003,43	40,44	85,41	56,37	-71,38	1915,3	30,61	64,65	42,67	-62,87	1822,57	19,37	40,91	27,00	-49,67
Vtemp	2274,11	251,71	531,61	350,86	8,15	2171,65	208,66	440,69	290,86	7,38	2039,78	155,09	327,55	216,18	6,62	1881,21	78,01	164,76	108,74	6,58

Fonte: arquivo do autor

- Com a utilização de persiana, o vidro temperado não apresentou *payback* satisfatório em relação ao laminado, para as aberturas de 75%, 50% e 25%, sendo de 27,20 anos, de 26,39 anos e de 40,00, respectivamente. Ou seja, a diferença de valor inicial do vidro laminado, será pago com a economia de energia elétrica em mais de 26 anos na melhor das hipóteses. Com a abertura de 100%, o *payback* simples se completou em 8,52 anos. Isto é, com pouco mais de 8 anos, o vidro laminado se paga com a redução da conta de energia elétrica.
- Sem a persiana, o vidro temperado apresentou *payback* simples com baixa variação em relação ao laminado, de 6,58 anos (25% de abertura) a 8,15 anos (100% de abertura). Os valores intermediários foram de 6,62 anos e de 7,38 anos (50% e 75%, respectivamente).

Pela tabela de orientação solar Lesta, percebem-se *paybacks* simples com uma variação em relação ao uso ou não de persiana, de 8,53 a 50,07 anos. Para essa orientação solar, não é econômico a utilização do vidro laminado com a persiana nas aberturas de 75%, de 50% e com 25%. Na abertura de 100% já é aconselhado.

Sem a persiana, entretanto, é aconselhável o laminado para todas as aberturas nessa orientação solar.

5.1.3.1 Análise geral por *payback* simples

Pela análise geral por orientação solar, proporção de abertura, o uso ou não de persiana e considerando a vida útil do vidro laminado em 10 anos, o *payback* deste em relação ao vidro temperado é válido nos seguintes casos:

- Orientação Oeste: em todas as situações simuladas (proporção de aberturas e uso ou não de persianas). Foram os menores *paybacks* encontrados para todas as simulações;
- Orientação Noroeste: em todas as situações simuladas (proporção de aberturas e uso ou não de persianas);
- Orientação Norte: em nenhuma situação simulada. Todos os *paybacks* foram acima de 10 anos. É interessante notar, conforme já explicado, os altos valores de *payback* com a persiana.

- Orientação Nordeste: nas simulações sem a persiana, com 75%, 50% e 25% de abertura. Entretanto a abertura de 100% não chegou a 11 anos. Com a persianas, foram encontrados altos valores de *payback*, todos acima de 10 anos.
- Orientação Leste: nas simulações com a persiana e 100% de abertura em vidro e em todas as simulações sem o uso de persiana.

5.2 Análise geral

Como análise geral, comprovou-se a EE dos vidros laminados, pirolíticos e a vácuo em relação aos vidros temperados. Com vantagens superiores em eficiência e em valores do preço do produto, dos vidros laminados. Entretanto, pelo resultado obtido com a modificação das variáveis nas simulações, percebeu-se que o vidro laminado, assim também como o a vácuo e o pirolítico, não respondem linearmente, para cada situação analisada.

Considerando-se as aberturas, as proporções de 25%, 50%, 75% e 100% apresentaram crescentes cargas térmicas ao ambiente, sem uma relação linear.

Em relação ao uso da persiana, também deve ser estudada isoladamente, pois seu uso para fins de EE foi útil em determinados vidros e em determinadas orientações solares. De modo geral, nas aberturas de 75% e 100%, porém nas aberturas de 25% e de 50% seu uso não foi tão eficiente. É interessante notar que o *payback* está diretamente relacionado com o uso ou não da persiana. Normalmente, o uso da persiana não apresentou um retorno financeiro em curto prazo.

Como visão geral dos resultados, e de forma sucinta, são apresentados na TABELA 4 quais os melhores vidros a serem utilizados para se obter EE, conforme orientação solar, porcentagem de abertura e com persianas. Na TABELA 5 são apresentadas as mesmas condições, sem o uso de persianas. Dessa forma, essas informações poderão ser bastante úteis para os projetistas que executam projetos em Campo Grande ou em outras cidades, com condições semelhantes.

A Tabela 4 está organizada na coluna 1 com as diversas orientações solares analisadas, nas colunas 2 a 5, refere-se às aberturas de 100%, sendo que a coluna 2 apresenta o melhor tipo de vidro, a coluna 3 o segundo melhor tipo de vidro, e assim sucessivamente dentre os quatro. A coluna 6 a 9 refere-se à abertura de 75%, com as mesmas condições citadas, e assim sucessivamente com todas as aberturas. Todas essas com o uso de persianas. Já a Tabela 5, é organizada da mesma forma, entretanto, com o uso de persianas.

TABELA 4 - Tabela resumo de uso do vidro pela sua EE com uso de persiana

Orientação Solar	100-on				75-on				50-on				25-on			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
O	Vlami	Vpiro	Vvacuo	Vtemp	Vlami	Vpiro	Vvacuo	Vtemp	Vlami	Vpiro	Vvacuo	Vtemp	Vlami	Vpiro	Vvacuo	Vtemp
NO	Vlami	Vpiro	Vvacuo	Vtemp	Vlami	Vpiro	Vvacuo	Vtemp	Vlami	Vpiro	Vvacuo	Vtemp	Vlami	Vvacuo	Vpiro	Vtemp
N	Vlami	Vvacuo	Vpiro	Vtemp	Vlami	Vvacuo	Vpiro	Vtemp	Vlami	Vvacuo	Vpiro	Vtemp	Vlami	Vvacuo	Vpiro	Vtemp
NE	Vlami	Vvacuo	Vpiro	Vtemp	Vlami	Vvacuo	Vpiro	Vtemp	Vlami	Vvacuo	Vpiro	Vtemp	Vlami	Vvacuo	Vpiro	Vtemp
L	Vlami	Vvacuo	Vpiro	Vtemp	Vlami	Vvacuo	Vpiro	Vtemp	Vlami	Vvacuo	Vpiro	Vtemp	Vlami	Vvacuo	Vpiro	Vtemp

MATERIAIS DA EDIFICAÇÃO E SUAS PROPRIEDADES (conforme NBR 15220/2013)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mk)	c (kJ/kgK)	
Parede: tijolo cerâmico, argamassa de reboco 2,5 cm (2 faces) e de assentamento de 2 cm				
tijolo cerâmico 8 furos (9x19x19 cm)	1600	0,9	0,92	
Argamassa comum	2000	1,15	1	
Cobertura: telha cerâmica romana (1 cm espessura), câmara de ar, laje em concreto maciço de 12 cm				
Cerâmica (telha)	2000	1,05	0,92	
Concreto	2200	1,75	1	
Piso: laje concreto maciço, 12 cm, piso cerâmico				
Cerâmica (piso)	1400	0,9	0,92	
Concreto	2200	1,75	1	

Imagem ilustrativa para abertura de janela em 50% da parede

Uma parede teve vedação em vidro. As outras 3 paredes, assim como o piso e a cobertura não tiveram alterações em suas dimensões e nem nos materiais durante todas as simulações.
Alvenaria com tijolo cerâmico oito furos (9,0 x 19,0 x 19,0 cm), com argamassa de reboco de 2,5 cm (duas faces) e de assentamento de 2,0 cm, totalizando espessura final da parede de 14 cm. Acabamento no próprio reboco com traço de 1:2:8 (cimento, cal e areia), com pintura interna e externa na cor clara (branco neve). O piso é de laje de concreto maciço de 12,0 cm de espessura e acabamento em piso cerâmico com 0,7 cm de espessura.
A cobertura é em laje de concreto maciço de 12 cm de espessura com telha cerâmica tipo romana, com 1,0 cm de espessura, não esmaltada, com estrutura em madeira. Com duas águas (no maior comprimento do ambiente e oitão do mesmo material da alvenaria descrita acima) e inclinação de 35%, com beiral de 60 cm de projeção em toda sua extensão.

Fonte: arquivo do autor

TABELA 5 - Tabela resumo de uso do vidro pela sua EE sem uso de persiana.

Orientação Solar	100-off				75-off				50-off				25-off			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
O	Vlami	Vpiro	Vvacuo	Vtemp	Vlami	Vpiro	Vvacuo	Vtemp	Vlami	Vpiro	Vvacuo	Vtemp	Vlami	Vpiro	Vvacuo	Vtemp
NO	Vlami	Vpiro	Vvacuo	Vtemp	Vlami	Vpiro	Vvacuo	Vtemp	Vlami	Vpiro	Vvacuo	Vtemp	Vlami	Vpiro	Vvacuo	Vtemp
N	Vlami	Vvacuo	Vpiro	Vtemp	Vlami	Vvacuo	Vpiro	Vtemp	Vlami	Vvacuo	Vpiro	Vtemp	Vlami	Vpiro	Vvacuo	Vtemp
NE	Vlami	Vvacuo	Vpiro	Vtemp	Vvacuo	Vlami	Vpiro	Vtemp	Vvacuo	Vlami	Vpiro	Vtemp	Vvacuo	Vlami	Vpiro	Vtemp
L	Vvacuo	Vlami	Vpiro	Vtemp	Vvacuo	Vlami	Vpiro	Vtemp	Vvacuo	Vlami	Vpiro	Vtemp	Vvacuo	Vlami	Vpiro	Vtemp

MATERIAIS DA EDIFICAÇÃO E SUAS PROPRIEDADES (conforme NBR 15220/2013)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	c (kJ/kgK)	
Parede: tijolo cerâmico, argamassa de reboco 2,5 cm (2 faces) e de assentamento de 2 cm				 <p>Imagem ilustrativa para abertura de janela em 50% da parede</p>
tijolo cerâmico 8 furos (9x19x19 cm)	1600	0,9	0,92	
Argamassa comum	2000	1,15	1	
Cobertura: telha cerâmica romana (1 cm espessura), câmara de ar, laje em concreto maciço de 12 cm				
Cerâmica (telha)	2000	1,05	0,92	
Concreto	2200	1,75	1	
Piso: laje concreto maciço, 12 cm, piso cerâmico				
Cerâmica (piso)	1400	0,9	0,92	
Concreto	2200	1,75	1	
<p>Uma parede teve vedação em vidro. As outras 3 paredes, assim como o piso e a cobertura não tiveram alterações em suas dimensões e nem nos materiais durante todas as simulações.</p> <p>Alvenaria com tijolo cerâmico oito furos (9,0 x 19,0 x 19,0 cm), com argamassa de reboco de 2,5 cm (duas faces) e de assentamento de 2,0 cm, totalizando espessura final da parede de 14 cm. Acabamento no próprio reboco com traço de 1:2:8 (cimento, cal e areia), com pintura interna e externa na cor clara (branco neve). O piso é de laje de concreto maciço de 12,0 cm de espessura e acabamento em piso cerâmico com 0,7 cm de espessura.</p> <p>A cobertura é em laje de concreto maciço de 12 cm de espessura com telha cerâmica tipo romana, com 1,0 cm de espessura, não esmaltada, com estrutura em madeira. Com duas águas (no maior comprimento do ambiente e bitão do mesmo material da alvenaria descrito acima) e inclinação de 35%, com beiral de 60 cm de projeção em toda sua extensão.</p>				

Fonte: arquivo do autor

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme descrito, precebe-se uma crescente preocupação acerca dos problemas ambientais e obrigações legais relacionadas à EE e ao meio ambiente no mundo. No Brasil, tais obrigações legais são regulamentadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANELL), que tem o objetivo de proporcionar condições favoráveis para que o mercado de energia elétrica se desenvolva com equilíbrio entre os agentes e em benefício da sociedade.

Conforme lembram Almeida, Pompeu e Barbosa (2016), observa-se que o país passa por um período de aumento constante nas tarifas de energia, remetendo a ações que prezem pela redução de custos, com a finalidade de minimizar as incertezas econômicas, com enfoque na sustentabilidade e na EE. Os autores, ao explicar que a palavra “eficiência” se traduz por “uma força ou virtude de se produzir um efeito”, acabam por definir, também, como a “forma mais competente e otimizada em se produzir energia”. Nesse sentido, ao adotar ações que proporcionem EE, pode-se obter economia com a implementação de planos eficientes, em inúmeros ambientes utilizados pelo homem, tais como ambientes de trabalho. Tais planos podem alcançar resultados mais expressivos se adotados em locais que possuem diversos espaços ou salas com muito uso de pessoas como: salas comerciais, escritórios, escolas, faculdades, universidades, shopping centers, aeroportos, entre outros. A EE em ambientes, portanto, torna-se essencial.

Em se tratando da tarifa de energia elétrica, Araújo (2016) informa que as mesmas podem não seguir uma trajetória bem definida de aumento ou diminuição de valores. As alterações podem ser explicadas em razão de políticas adotadas, intervenções governamentais e diferentes fases do próprio setor elétrico brasileiro.

Ainda segundo o autor, esse comportamento ainda pode ser visto quando se analisa o cenário nacional: no período de 1995 a 2004, as tarifas cresceram acima do índice de inflação (IPCA), com destaque para a classe residencial, que teve o maior aumento de tarifas no período, e a tarifa média, com impostos, cresceu mais do que a tarifa média sem impostos.

Além disso,

em Junho de 2001 o Governo Federal decreta o racionamento de energia, com meta de redução de 20% no consumo de energia elétrica. No ano seguinte, em 2002 é declarado o fim do racionamento e o consumidor começa a pagar o Encargo de Capacidade Emergencial (taxa extra para custear térmicas emergenciais). Neste ano ainda foi

criado o Comitê de Revitalização do Modelo do Setor Elétrico [ARAÚJO, 2016].

Este trabalho pretendeu, portanto, contribuir para a melhoria nos estudos em EE e conseqüentemente na economia brasileira, pois analisa um conjunto de elementos que compõe os resultados de carga térmica em um ambiente proveniente dos raios solares, através de uma janela em vidro. Desta maneira, buscou-se entender quais simulações são as mais eficientes em Campo Grande.

Pretendeu-se também, desta maneira, que o profissional projetista, tais como arquitetos, engenheiros ou até mesmo *designers* de interiores (com o estudo do uso de persiana) pudesse entender melhor cada situação/simulação fornecida. Com isso, é importante que cada projeto, sendo de arquitetura ou de interiores possa sair da melhor maneira possível para que se obtenha a EEE.

Desta maneira, não se pode descartar o uso das simulações, mesmo quando as características dos vidros são fornecidas pelos seus fabricantes. São muitas informações técnicas que, às vezes, podem levar o profissional a uma leitura equivocada de uma propriedade do vidro, e conseqüentemente, atrapalhando a EE ao qual se pretende. Um dos exemplos comparativos que pode ser feito é a respeito da propriedade de Transmitância à radiação solar por incidência solar normal (T_{sol}). Pela Tabela 1, descrita no capítulo “4.1.1 Vidros”, percebe-se que o vidro temperado possui o maior índice (0,75) em relação aos outros 3. Isto é, dentre os 4 vidros analisados, ele é o que mais transmite calor em determinado tempo, de uma de suas faces para outra, demonstrando sua ineficiência térmica. A mesma Tabela 1 informa que o vidro mais eficiente, para essa mesma propriedade, é o a vácuo, pois apresentou o menor valor (0,15). Entretanto, as simulações comprovaram que o vidro laminado proporcionou melhor EE. Esse, por sua vez, possui a T_{sol} quase 2 vezes superior ao a vácuo (0,24). Comprova-se assim, que as propriedades dos vidros devem ser analisadas em conjunto e não por suas características isoladas.

Assim, as simulações indicaram a quantidade de carga térmica no interior de um ambiente para a cidade de Campo Grande, com a utilização de 4 variáveis da edificação. Algumas dificuldades surgiram, tais como, o uso do *software EnergyPlus*, que demanda bastante horas de estudo para sua utilização. Não foi considerado um *software* de fácil uso, e houve a necessidade de ajuda especializada para as 160 simulações. Outra dificuldade encontrada foi a definição do tamanho do ambiente, pois não há um tamanho de sala padrão na

cidade. Chegar nas dimensões propostas, demandou horas de pesquisas e entrevistas com profissionais da construção civil.

Entretanto, talvez a maior das dificuldades encontradas foi, na sequência das simulações, compilar os dados. Vários arranjos poderiam ter sido feitos: comparações entre as variáveis, comparações financeiras (*payback* simples), comparativo entre os próprios vidros com o uso ou não de persianas. Definir-las foi considerado, neste estudo, um fator de extrema importância para que se chegasse em resultado comparativo final satisfatório.

Por se tratar de um ambiente simulado, muitos trabalhos poderão surgir em decorrência deste, tais como o uso de outras dimensões de ambientes ou a utilização de novas ou outras técnicas construtivas (mudanças dos materiais das alvenarias ou mesmo de suas espessuras, mudanças na cobertura e no beiral, a utilização de forro de madeira ou PVC no lugar da laje, entre outros).

Também é viável em novos estudos que se trabalhe com outras variáveis da edificação, tais como o uso de protetores físicos (brises, entre outros). Uma outra forma de se trabalhar com novas simulações é modificar os parâmetros das variáveis já existentes, tais como:

- Para as orientações solares: utilizar as orientações Sudoeste, Sul e Sudeste, que poderia trazer boas simulações e análises para o conforto térmico de inverno.
- Para o tamanho de aberturas: o uso de proporções diferentes das simuladas, ou até mesmo com o uso de esquadrias existentes no mercado, cujas dimensões fogem de proporções pré-definidas. Com isso, as novas simulações poderiam já pré-definir quais seriam as esquadrias existentes no comércio que teriam a possibilidade de se tornar mais eficientes para determinada edificação.
- Para o tipo de vidro: o uso de outros vidros eficientes existentes no uso da construção civil.
- Para o uso ou não de persianas: com o estudo de persianas com cores diferentes (medias e escuras), de materiais diferentes (metal ou madeira, por exemplo), ou até mesmo com as aletas semiabertas, ao invés de 100% fechadas (como foi utilizado nessas simulações). Isso poderia tornar as novas simulações mais precisas no funcionamento das persianas.

CONCLUSÃO

Com a implementação das simulações, pôde-se perceber que foi possível atingir o objetivo geral de se verificar quais são as melhores condições técnicas, para que se diminua a carga térmica em um ambiente envidraçado, para um dia típico de verão, considerando-se quatro variáveis físicas da edificação.

Com o desenvolvimento do trabalho, comprovou-se, portanto, que não é apenas o uso de um vidro eficiente (*low-E*) que vai definir se uma edificação será mais eficiente energeticamente, de outra com vidro comum (temperado). Outras variáveis também devem, portanto, ser consideradas. Sobre as variáveis utilizadas pode-se descrever que:

- A **orientação solar** é a variável mais importante a ser estudado, pois, sabendo-se que o sol do verão no dia mais quente obtém valores crescentes a partir das 14h00min e com picos de sua maior carga entre 16h00min a 18h00min, é notório que o maior ganho de calor estará, então, vinculado às orientações compreendidas entre o Norte, Noroeste e Oeste. E essas altas cargas trazem importantes alterações quando se utilizam as outras variáveis para critérios comparativos de carga térmica. Desta maneira, percebeu-se que as maiores diferenças de carga térmica entre os 3 vidros em relação ao vidro temperado, foram nas orientações Norte, Noroeste e Oeste (em ordem crescente). Sendo assim, , quanto maior a carga térmica no ambiente, maior era a EE dos 3 vidros, em relação ao vidro temperado.
- A **utilização do vidro *low-E*** é muito eficiente em relação ao vidro temperado. Existem no mercado vários tipos e modelos e com características térmicas, acústicas, e estéticas próprias. Com custo de produção mais elevado em relação ao vidro temperado, seu uso deve ser bem estudado para que a EE seja acompanhada com alto retorno financeiro.
- O **tamanho da abertura envidraçada** deve levar 2 importantes considerações: quantidade de carga térmica inserida no ambiente e quantidade de iluminação natural. Um balanceamento desses itens, somados à bloqueadores solares externos, tais como brises ou pergolados, podem auxiliar em ganho parara as duas partes: mais claridade natural e menos calor no ambiente.
- Sobre o **uso de persianas**, pode-se descrever que seu uso foi uma variável polêmica no desenvolvimento deste trabalho, pois em várias situações, ela aumenta consideravelmente a carga térmica no ambiente, principalmente com o uso dos vidros *low-E*, entretanto, em algumas outras simulações e também com o uso do vidro

temperado, seu uso já se faz necessário. Se trata de um elemento considerado decorativo, pois não está relacionado ao projeto da edificação, como as outras 3 variáveis estão. É ainda um material barato, e seu uso desnecessário (ou até mesmo necessário, em decorrência eventual em barrar a incidência de luz natural) pode acabar aumentando a carga térmica no ambiente. Outro item discutível em relação ao seu uso e na quantidade de carga térmica, se deve ao fator cor do material: nas simulações foram utilizadas persianas de cor clara. A cor clara, como se sabe, reflete mais a energia da luz do que absorve, e isso é fator importante para seu uso interno. Com a persiana clara, há menor energia solar se convertendo em calor. Com a persiana escura, esse fator muda, e isso vai necessariamente mudar a quantidade de carga no ambiente. E isso será notado mesmo sem se alterar nenhuma outra variável para as simulações com uma persiana clara e depois, com uma escura. E ainda, mas não menos importante, esse material, por mais comprovada sua importância na carga térmica final de um ambiente (tanto auxiliando a EE ou até mesmo atrapalhando), é um elemento que não é considerado no RTQ-C e no RTQ-R.

REFERÊNCIAS

ABIVIDRO. Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro. **Anuário**, São Paulo, 2007.

_____. **Catálogo de propriedades térmicas e óticas de vidros comercializados no Brasil**. Florianópolis, mar. 2015.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12010: Condicionador de ar doméstico - Determinação do coeficiente de eficiência energética - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1990.

_____. **NBR 16401-1: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários-Parte 1: Projetos das instalações**. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2013.

ABRAVIDRO. Normas vigentes para vidros. Disponível em <http://abravidro.org.br/normas-tecnicas/normas-vigentes/>. Acesso em 23 de maio. 2017.

ALMEIDA, Octavio F. L de; POMPEU, Adriano M.; BARBOSA, Andrea T. R. Estudo em eficiência energética em iluminação em salas de aula. **Revista Multitemas**, Campo Grande-MS, vol. 21, n. 49, p. 59-78, 2016.

ANDREASI, Wagner A. **Método para avaliação de conforto térmico em região de clima quente e úmido do Brasil**. Tese de doutorado. UFSC. Florianópolis-SC, 2009.

APOLO 11. Latitude e longitude da cidade de Campo Grande-MS. Disponível em <www.apolo11com.br>. Acesso em 14 set. 2016.

ARAÚJO, Felipe de O. de. **Projeto, execução e análises econômicas de um gerador solar fotovoltaico composto por microinversores**. Dissertação de mestrado. UFMS. Campo Grande-MS, 2016.

ARNAUD, Alain. **Industrial production of coated glass- Future trends for expanding needs**. Amsterdã. Journal of Non-Crystalline Solids, n 218, pg 12-18, 1997.

AYOADE, J. O; Tradução técnica Maria Juracy Zani dos Santos. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 16ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

BAGNATI, Mariana M. Zoneamento bioclimático e arquitetura brasileira: qualidade do ambiente construído. Tese de mestrado. UFRGS. Porto Alegre-RS, 2013.

BARBOSA, Djean da C; LIMA, Mariana B. de. A arquitetura bioclimática: recomendações apropriadas para Palmas/TO. **1ª jornada de iniciação científica e extensão do IFTO**. Anais eletrônicos, Palmas-TO, vol. ?, p. ?, 2005.

BASTOS, Hugo B; MONTANO, Paulo F. A indústria de vidro plano: conjuntura atual e perspectivas. **Revista BNDS setorial**, Rio de Janeiro, vol. 38, p. 265-290, 2013.

BATISTA, Norma do N.; LA ROVERE, Emilio L; AGUIAR, Joao C. R. Energy efficiency labeling of buildings: An assessment of the Brazilian case. **Energy & Buildings**, vol 43(6), p. 1179, jun. 2011.

BERARDI, Humberto. The development of a monolithic aerogel glazed window for an energy retrofiting Project. **Applied Energy**, vol. 154, p. 603-615, 2015.

BRANDÃO, Ana Maria de P. M. O clima urbano na cidade do Rio de Janeiro. In: MENDONÇA, Carlos A. F M. **Clima urbano: Contexto**, p. 121-154, 2013.

BRANDL, D.; MACH, T.; GROBBAUER, M.; HOCHENAUER, C. Active Solar Thermal Facades (ASTFs): from concept, application to research questions. **Energy and Buildings**, vol. 85, p. 305-320, 2014.

BUORO, Anarrita B. **Conforto térmico e eficiência energética em hotéis econômicos**. Dissertação de mestrado. USP, 2008.

BURKE, Bill; KEELER, Marian; Tradução técnica: Alexandre Salvaterra. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis**. Porto Alegre, RS: Bookman, 2010.

CAMPOS, Clarissa C. de. **Eficiência energética em edifícios hospitalares obtida por meio de estratégias passivas**. Dissertação de mestrado. USP, 2001.

CARUTASIU, M. B. Reducing energy consumption in low energy buildings through implementation of a policy system used in automated heating systems. **Energy and Buildings**, vol. 94, p. 227-239, 2015.

CARVALHO, Benjamin de. **Ecologia e arquitetura. Ecoecologia: onde e como vive o homem**. Rio de Janeiro-RJ, Globo, 1984.

CASTRO, Adriana P. de A. S. **Desempenho térmico de vidros utilizados na construção civil**. Estudo em células teste. Dissertação de mestrado. Unicamp, 2006.

CAVALCANTE, Iracema F. et al. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

CBCS, Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. **Boletim Informativo**. Reportagem especial, São Paulo, n. 11, ago. 2014.

CHANG, Chenchen; ZHAO Jing ; ZHU Neng. Energy saving effect prediction and post evaluation of air-conditioning system in public buildings. **Energy and Buildings**, vol 43, p. 3243-49, 2011.

CHEDWALL, R. Energy saving potential through Energy Conservation Building Code and advance energy efficiency measures in hotel buildings of Jaipur City, India. **Energy and Buildings**, vol. 92, p. 282-295, 2015.

CHAIYAPINUNT, S.; KHAMPOORN, N. Heat transmission through a glass window with a curved venetian blind installed. **Solar Energy**, vol. 110, p. 71-82, 2014.

CLEDWIN-DAVES, D. N. **Float in glass architecture**. Revista Glass thecnology. Sheffield, vol. 34, n. 6, pg 223-93, 1993.

CORBOLI, N. Ar condicionado: janela, split ou central. Para esfriar o ambiente, e o bolso. **Revista Projeto Design**. São Paulo, Ed.297. 2004.

CORBOM. **Catálogo técnico de vidros**. Disponível em <<http://www.corbon.com.br/pages/laminados>>. Acesso em 30 ago. 2015.

CREDER, H. **Instalações de ar condicionado. Calculo de carga térmica. 6ª ed.** Rio de janeiro-RJ: Livros técnicos e científicos, 2004.

DE FOREST, N. United States energy and CO2 savings potential from deployment of near-infrared electrochromic window glazings. **Buildings and Environment**, vol. 89, p. 107-117, 2015.

DE OLIVEIRA, Lilian S.; SHAYANI, Rafael A.; DE OLIVEIRA, Marco A. G. Proposed business plan for energy efficiency in Brazil. **Energy Policy**, vol. 61, p. 523-531, out. 2013.

DONGMEI, Pan; SHIMING A. D.; ZHONGPING L. B.; MING-YIN A. C. Air-conditioning for sleeping environments in tropics and/or sub-tropics a review. **Energy**, vol. 51, p. 18-26, 2013.

ENERGISA. Energisa Mato Grosso do Sul – Distribuidora de Energia S.A. **Conta de energia da UC 14584743**. Fatura do mês 04/2017.

ENERGYPLUS, dados climáticos para a cidade de Campo Grande-MS. **Página para dados de simulação**. Disponível em <https://energyplus.net/weather-location/south_america_wmo_region_3/BRA//BRA_Campo.Grande.836120_SWERA>. Acesso em 13 de nov. 2016a.

_____. **Manual do programa**. Disponível em <<https://energyplus.net/>>. Acesso em 15 de nov. 2016b.

FAVOINO, F.; OVEREND, M., JIN, Q. The optimal thermo-optical properties and energy saving potential of adaptive glazing technologies. **Applied Energy**, vol. 156, p. 1-15.

FERNANDES, L. L. **Lighting energy savings potential of splitpane electrochromic windows controlled for daylighting with visual comfort**. Revista Energy and Buildings. Estados Unidos, n. 61, p. 8-20, 2013.

FROTA, Anésia, SCHIFFER, Sueli R. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Nobel, 2003.

FUENTES, Manuel; THOMAS; Stephanie; Tradução técnica: Alexandre Salvaterra. **Ecohouse, a casa ambientalmente sustentável**. 3. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2009.

GONSALVES, Neyde M. S. Impactos pluviais e desorganização do espaço urbano de Salvador. In: MENDONÇA, Carlos A. F M. **Clima urbano**: Contexto, 2013. p. 69-92.

GOMES, M. G.; SANTOS, A. J.; RODRIGUES, A. M. Solar and visible optical properties of glazing systems with venetian blinds: numerical, experimental and blind control study. **Buildings and Environment**, vol. 71, p. 47-59, 2014.

GONZÁLEZ, A. D. Image-based thermographic modeling for assessing energy efficiency of buildings facades. **Energy and Buildings**, vol. 65, p. 29-36, 2013.

GRYNNING, Steinar. **Transparent facades in low energy office buildings. Numerical simulations and experimental studies**. Tese de doutorado. Norwegian University of Science and Technology. Trondheim, Noruega, maio 2015.

GUERRERO, Jorge R. H. **Modelagem e análise de janelas térmicas**. Tese de doutorado. Unicamp, 2002.

HEUSLER, Winfried. Nutzerorientierte aspekte bei der anwendung von glas in fassaden. **Stahlbau**, Vol. 83 (S1), p.137-147, 2014.

HILLIAHO, K.; MAKITALO, E.; LAHDENSIVU, J. Energy saving potential of glazed space: sensitivity analysis. **Energy and Buildings**, vol. 99, p. 87-97, 2015.

HUIFEN, Z. Mathematical modeling of double-skin facade in Northern area of China. **Mathematical Problems in Engineering**, vol. ano 2013, p. ?, 10 p., 2013.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Obtenção de mapas climatológico e geopolítico**. Disponível em <
ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/clima.pdf>. Acesso em 5 jan. 2016.

IBRAHIM, Mohamed. A study on the thermal performance of exterior walls covered with a recently patented silica-aerogel-based insulating coating. **Energy and buildings**, vol. 81, p. 112-122, 2014.

ILLGUT, M.; SCHULER, C.; BUCAK, O. The effect of optical anisotropy of building glass facades and its measurement methods. **Science Direct**, vol. 4, p. 119-126, 2015.

INMET. Instituto Nacional de Metrologia. **Obtenção de dados climáticos**. Disponível em <
http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em 15 dez. 2015.

INVIDIATA, Andrea ; GHISI, Enedir. Life-cycle energy and cost analyses of window shading used to improve the thermal performance of houses. **Journal of Cleaner Production**, vol.133, p. 1371-1383, 1 out. 2016.

IOANNOU, A.; ITARD, L. C. M. Energy performance and comfort in residential buildings: Sensitivity for building parameters and occupancy. **Energy and Buildings**, vol. 92, p. 216-233, 2015.

IYI Draco; HASAN, Reaz; PENLINGTON, Roger; UNDERWOOD, Chris. Double skin façade: Modelling technique and influence of venetian blinds on the airflow and heat transfer. **Applied Thermal Engineering**, vol. 71, p. 219-29, 2014.

JANIKI, M.; HEIM, D. Double criterion optimisation of transparent facades based on solar thermal processes. **Frontiers of Architecture Research**, vol. 2, p. 23-29, 2013.

KHERZI, N. **Comparative analysis of PV shading devices for energy performance and daylight**. Dissertação de mestrado. Universidade Norueguesa de Ciência e Tecnologia, Faculdade de Arquitetura e Belas Artes de Trondheim, Noruega, 2013.

LAI, C.; HOKOI, S. Solar facades: A review. **Buildings and Environment**, vol. 91, p. 152-165, 2015.

LAMBERTS, RobertO; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. Ed. Ed. dig. disponível em <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Livro%20-%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20na%20Arquitetura.pdf>>. Acesso em 20 out. 2015.

LARSEN, S.; RENGIFO, L.; FILLIPPIN, C. Double skin glazed facades in sunny Mediterranean climates. **Energy and Buildings**, vol. 102, p. 18-31, 2015.

LEITE, Álvaro A. F. **Oportunidades de eficiência energética para a indústria: setor vidreiro**. Brasília-DF, relatório setorial, 2010.

MELO, A. P.; SORGATO, M. J.; LAMBERTS, R. Building energy performance assessment: comparison between ASHRAE standard 90.1 and Brazilian regulation. **Energy & Buildings**, vol. 70, p. 372-383, fev. 2014.

MELO, Miguel O. B. C.; DA SILVA, Luiz B.; COUTINHO, Antonio S.; SOUSA, Vivian; PERAZZO, Normando. Energy efficiency in building installations using thermal insulating materials in northeast Brazil. **Energy & Buildings**, vol. 47, p. 35-43, 2012.

MENDONÇA, Francisco. Clima e planejamento urbano de Londrina. In: MENDONÇA, Carlos A. F. M. **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2013, p. 93-120.

MERTIN, S; HODY-LE Caër V.; JOLY, Martin; MACK, Iris; OELHAFEN, Peter; SCARTEZZINI, Jean-Louis; SCHULER. Reactively sputtered coatings on architectural glazing for coloured active solar thermal façades. **Energy and Buildings**, vol. 68, p. 764-770, 2014.

MICHELATO, Rubia. **Avaliação do desempenho térmico de vidros refletivos**. Dissertação de Mestrado. USP- São Carlos, 2007.

MORAES, Carmelina S. de. **Análise de medidas para eficientização e uso racional da energia elétrica em condicionadores de ar**. Dissertação de mestrado. UFMT. Cuiabá-MT, 2013.

MORETTI, E.; BELLONI, E. Evaluation of energy, thermal, and daylighting performance of solar control films for a case study in moderate climate. **Energy and Buildings**, vol. 94, p. 183-195, 2015.

NICOLETTI, Ana Maria A. A. **Eficiência energética em um ministério da esplanada em Brasília**. Propostas para *retrofit* de envoltória. Dissertação de mestrado. UNB, 2009.

NIU, Yu H. Optimal building envelope design based on simulated performance: History, current status and new potentials. **Accepted Manuscript. Energy and buildings**, 2015.

NOGUEIRA, Carlos E. C.; SIQUEIRA, Jair A. C.; DE SOUZA Samuel N. M.; GOLDONI, Francini S.; KAMINSKI, Talita B.; MELO, Daniela C. Evaluation of natural and artificial lighting in conventional and innovative residences of 'Projeto CASA', UniOeste, Cascavel Campus, Parana Stat. **Acta Scientiarum**, vol. 32(3), p. 245-250, 2010.

NOORA, Khezri. **Comparative Analysis of PV Shading Devices for Energy Performance and Daylight**. Tese de doutorado. Norwegian University of Science and technology. Faculty of architecture and fine art. Oslo, Noruega, 2013.

PARRA, J.; GUARDO, A; EGUSQUIZA, E; ALAVEDRA, P. Reducing interior temperature resulting from solar energy using three-dimensional surface patterns. **Energies**, vol. 8, p. 4882-4898, 2015

PEREIRA, Elza G. da S. A. **Caracterização ótica de vidro e películas de proteção solar utilizados na construção civil e sua relação com o conforto ambiental**. Dissertação de mestrado. UFGO, 2007.

PEREIRA, Fábbyo L. **Determinação computacional da influência de parâmetros físicos no comportamento termoenergético de uma edificação**. Dissertação de mestrado. UFRGS, 2005.

PINATTI, A. A. **Indicações sobre a utilização de filme eletrocromicos Nb2O5 como proteção solar em edifícios**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos-SP, 1999.

PINHEIRO, Ana Paula B. Regulamentação para eficiência em edificações. **Revista online Portal EA**. Disponível em <<http://www.engenhariaearquitectura.com.br/noticias/615/Regulamentacao-para-eficiencia-em-edificacoes.aspx>>. Acesso em 4 jul. 2015.

PROCEL-EDIFICA. **Manual para aplicação do RTQ-C**. Vr 2. 2013a.

_____. **Manual para aplicação do RTQ-R**. Vr 2. 2013b.

PROCEL INFO. **Design de iluminação natural: um ato de equilíbrio**. Disponível em <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?ViewID=%7BF5EAADD6-CCB0-4E29-A0C4-482D3D66BB65%7D¶ms=itemID=%7B408E42CF-233E-4B99-939C-26652C6044CB%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>. Acesso em 12 mai. 2016a.

_____. **Selo Procel de edificações**. Disponível em <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={8E03DCDE-FAE6-470C-90CB-922E4DD0542C}>>>. Acesso em 28 mai. 2016b.

QAHTAN, A.; RAO, S. P.; KEUMALA, N. The effectiveness of the sustainable flowing water film in improving the solar-optical properties of glazing in the tropics. **Energy and Buildings**, vol. 72, p. 247-255, 2014.

QU, Jian. Transparent thermal insulation coatings for energy efficient glass windows and curtain walls. **Energy and buildings**, vol. 77, p. 1-10, 2014.

ROAF, Sue; CRICHTON, David; NICOL, Fergus. Tradução técnica: Alexandre Salvaterra. **A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas. Um guia de sobrevivência para o século XXI**. Porto Alegre, RS: Bookman, 2009.

RODRIGUES Jr, Ary de Araújo. **Vidro comercial como detector e medidor de radiação num radiador de grande porte**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares-USP São Paulo, 2000.

SADEGHIFAMA, A. N. Combined use of design of experiment and dynamic building simulation in assessment of energy efficiency in tropical residential buildings. **Energy and Buildings**, vol. 86, p. 525-533, 2015.

SANTOS, Iara G. **Análise de envoltória e do sistema de iluminação a partir do “Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos” para avaliação de desempenho de sistemas de fachada e de proteções solares**. Dissertação de mestrado. UFGM, 2002.

SHIMBO, Ioshiaqui; SILVA, Sandra R. M. **Proposição básica para os princípios de sustentabilidade**. II encontro nacional e I encontro latino americano sobre edificações e comunidades sustentáveis. Canela, RS: 24 a 27 de abril de 2001.

SILVA, Joene S. da. A eficiência do brise-soleil em edifícios públicos de escritórios: estudos de caso no plano piloto de Brasília. Universidade de Brasília: 2007.

SOUZA, E. P. de. **Economia de Energia em Ar Condicionado no Brasil: Eficiência e Economicidade**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá – MG, 2010.

TRIANA, Maria A.; LAMBERTS, Roberto; SASSI, Paola. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, vol. 87, p. 524-541, 2015.

VENDRAMIN, Aurea Lucia; DE SOUZA, Samuel N. M.; SORDI, Alexandre; SIQUEIRA, Jair A. C.; NOGUEIRA, Carlos E. C. Case analysis of the degree-days method for evaluating energy performance of a single-family construction. **Acta Scientiarum**, vol. 31(1), p. 9-16, 2009.

VILLAR, Jorge D. **O conforto pleno como referencial no processo de projeto arquitetônico**. Tese de doutorado, Unicamp: 2009.

WESTPHAL, Fernando S. **Manual técnico para o vidro plano nas edificações**. São Paulo-SP: Abividro, 2016.

WR PRATES. A diferença entre payback simples e descontado. Disponível em <<http://www.wrprates.com/qual-e-a-diferenca-entre-payback-simples-e-descontado/>>. Acesso em 1º jun. 2017.

XU, Shen. Optimal PV cell coverage ratio for semi-transparent photovoltaic on office building facades in central China. **Energy and buildings**, vol. 77, p. 130-128, 2014.

YI, Hwang; SRINIVASAN, Rave S.; BRAHAM, Willian. An integrated energy/emergy approach to building form optimization: Use of EnergyPlus, emergy analysis and genetic regression method. **Buildings and Environment**, vol. 84, p. 89-104, 2015.

YUAN, Qiuxia; YITAI Ma; CHUNTAO Liu; BAOMIN Dai; QIUHUI Yan. Thermodynamic perfectibility based analysis of energy-efficiency standards for air conditioning products in China. **Energy and Buildings**, vol. 43, p. 3627-34, 2011.

ZANG, X. Active Solar Thermal Facades (ASTFs): From concept, application to research questions. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, vol. 50, p. 32-63, 2015.

ZÓFOLI, Giana da R. **Contribuição termo-energética dos fechamentos transparentes em edifícios comerciais climatizados artificialmente em Santa Maria-RS**. Dissertação de Mestrado. UFSM. Santa Maria-RS, 2011.

ANEXOS

Anexo A- índices de densidade (ρ), resistência térmica (λ) e calor específico (c) dos materiais de edificação

Parede: tijolo cerâmico 8 furos (9x19x19cm), com argamassa de reboco de 2,5cm (duas faces) e de assentamento de 2cm	ρ (kg/m ³)	λ (W/mk)	c (kJ/kgK)
Cerâmica (tijolo)	1600	0,9	0,92
Argamassa comum	2000	1,15	1

Cobertura: telha cerâmica tipo romana (1cm), câmara de ar e laje de concreto maciço de 12cm	ρ (kg/m ³)	λ (W/mk)	c (kJ/kgK)
Cerâmica (telha)	2000	1,05	0,92
Concreto	2200	1,75	1

Piso: laje de concreto maciço 12cm com piso cerâmico (0,7cm)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mk)	c (kJ/kgK)
Cerâmica (piso)	1400	0,9	0,92
Concreto	2200	1,75	1

Anexo B- Tabela de carga térmica por variáveis (valores em Btu)

Orientação solar: Oeste (O)							
Persiana: on							
Área envidraçada: 100		Área envidraçada: 75		Área envidraçada: 50		Área envidraçada: 25	
Vtemp	1130,81	Vtemp	1028,83	Vtemp	873,03	Vtemp	684,73
Vlami	997,41	Vlami	916,87	Vlami	792,73	Vlami	646,64
Vpiro	1013,44	Vpiro	929,93	Vpiro	801,76	Vpiro	651,39
Vvacuo	1037,39	Vvacuo	952,63	Vvacuo	818,88	Vvacuo	658,17
Orientação solar: Oeste (O)							
Persiana: off							
Área envidraçada: 100		Área envidraçada: 75		Área envidraçada: 50		Área envidraçada: 25	
Vtemp	1150,56	Vtemp	1043,04	Vtemp	875,44	Vtemp	687,34
Vlami	933,59	Vlami	862,63	Vlami	750,74	Vlami	628,37
Vpiro	950,64	Vpiro	875,82	Vpiro	759,33	Vpiro	631,03
Vvacuo	981,99	Vvacuo	904,51	Vvacuo	780,46	Vvacuo	645,47

Orientação solar: Noroeste (NO)							
Persiana: on							
Área envidraçada: 100		Área envidraçada: 75		Área envidraçada: 50		Área envidraçada: 25	
Vtemp	826,89	Vtemp	763,67	Vtemp	690,06	Vtemp	597,62
Vlami	753,76	Vlami	705,84	Vlami	649,22	Vlami	576,40
Vpiro	763,29	Vpiro	713,57	Vpiro	654,72	Vpiro	579,25
Vvacuo	772,66	Vvacuo	719,60	Vvacuo	659,29	Vvacuo	581,72
Orientação solar: Noroeste (NO)							
Persiana: off							
Área envidraçada: 100		Área envidraçada: 75		Área envidraçada: 50		Área envidraçada: 25	
Vtemp	841,16	Vtemp	782,23	Vtemp	703,37	Vtemp	603,45
Vlami	726,57	Vlami	688,15	Vlami	635,61	Vlami	569,05
Vpiro	737,65	Vpiro	696,62	Vpiro	641,29	Vpiro	571,55
Vpiro	748,53	Vvacuo	707,36	Vvacuo	650,16	Vvacuo	577,25

Orientação solar: Norte (N)							
Persiana: on							
Área envidraçada: 100		Área envidraçada: 75		Área envidraçada: 50		Área envidraçada: 25	
Vtemp	578,08	Vtemp	557,96	Vtemp	537,09	Vtemp	514,32
Vlami	559,38	Vlami	545,81	Vlami	528,83	Vlami	511,93
Vpiro	562,01	Vpiro	547,89	Vpiro	530,24	Vpiro	512,41
Vvacuo	561,43	Vvacuo	547,45	Vvacuo	529,97	Vvacuo	512,09
Orientação solar: Norte (N)							
Persiana: off							
Área envidraçada: 100		Área envidraçada: 75		Área envidraçada: 50		Área envidraçada: 25	
Vtemp	607,62	Vtemp	585,86	Vtemp	557,13	Vtemp	526,39
Vlami	562,04	Vlami	547,98	Vlami	530,09	Vlami	513,45
Vpiro	570,12	Vpiro	554,67	Vpiro	534,83	Vpiro	516,07
Vvacuo	562,85	Vvacuo	548,55	Vvacuo	530,45	Vvacuo	512,73

Orientação solar: Nordeste (NE)							
Persiana: on							
Área envidraçada: 100		Área envidraçada: 75		Área envidraçada: 50		Área envidraçada: 25	
Vtemp	589,25	Vtemp	570,79	Vtemp	548,49	Vtemp	526,50
Vlami	570,87	Vlami	556,62	Vlami	538,81	Vlami	523,50
Vpiro	574,03	Vpiro	559,15	Vpiro	540,54	Vpiro	524,12
Vvacuo	572,90	Vvacuo	558,25	Vvacuo	539,93	Vvacuo	523,65
Orientação solar: Nordeste (NE)							
Persiana: off							
Área envidraçada: 100		Área envidraçada: 75		Área envidraçada: 50		Área envidraçada: 25	
Vtemp	636,23	Vtemp	611,67	Vtemp	578,79	Vtemp	543,63
Vlami	579,56	Vlami	564,07	Vlami	544,17	Vlami	526,98
Vpiro	589,92	Vpiro	572,76	Vpiro	550,46	Vpiro	530,35
Vvacuo	579,72	Vvacuo	564,03	Vvacuo	544,03	Vvacuo	525,99

Orientação solar: Leste (L)							
Persiana: on							
Área envidraçada: 100		Área envidraçada: 75		Área envidraçada: 50		Área envidraçada: 25	
Vtemp	646,48	Vtemp	577,28	Vtemp	553,02	Vtemp	527,10
Vlami	575,85	Vlami	560,70	Vlami	541,62	Vlami	523,34
Vpiro	579,57	Vpiro	563,69	Vpiro	543,68	Vpiro	524,12
Vvacuo	578,30	Vvacuo	562,63	Vvacuo	542,93	Vvacuo	523,51
Orientação solar: Leste (L)							
Persiana: off							
Área envidraçada: 100		Área envidraçada: 75		Área envidraçada: 50		Área envidraçada: 25	
Vtemp	666,31	Vtemp	636,29	Vtemp	597,66	Vtemp	551,19
Vlami	592,84	Vlami	575,71	Vlami	552,84	Vlami	529,62
Vpiro	606,02	Vpiro	587,01	Vpiro	561,18	Vpiro	534,01
Vvacuo	592,56	Vvacuo	575,16	Vvacuo	552,22	Vvacuo	528,34