

UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO

KÁTIA REGINA SAGGIN

**VIDRO REFLETIVO: ANÁLISE COMPARATIVA PARA
DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DAS
EDIFICAÇÕES**

BAURU
2015

KÁTIA REGINA SAGGIN

**VIDRO REFLETIVO: ANÁLISE COMPARATIVA PARA
DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DAS
EDIFICAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas da Universidade do Sagrado Coração como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação da Profa. Ma. Fabiana Costa Munhoz Ferraz.

BAURU
2015

S1297v	<p data-bbox="454 1444 734 1478">Saggin, Kátia Regina</p> <p data-bbox="454 1512 1272 1646">Vidro refletivo: análise comparativa para desempenho térmico e energético das edificações / Kátia Regina Saggin. - 2015. 48f. : il.</p> <p data-bbox="502 1680 1236 1713">Orientadora: Profa. Ma. Fabiana Costa Munhoz Ferraz.</p> <p data-bbox="454 1747 1272 1848">Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Sagrado Coração – Bauru – SP.</p> <p data-bbox="454 1881 1272 1984">1. Conforto térmico. 2. Vidro refletivo. 3. Desempenho térmico. 4. Eficiência energética. 5. Calor. I. Ferraz, Fabiana Costa Munhoz. II. Título.</p>
--------	--

KÁTIA REGINA SAGGIN

**VIDRO REFLETIVO: ANÁLISE COMPARATIVA PARA DESEMPENHO
TÉRMICO E ENERGÉTICO DAS EDIFICAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas da Universidade do Sagrado Coração como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação da Profa. Ma. Fabiana Costa Munhoz Ferraz.

Banca Examinadora:

Profa. Ma Fabiana Costa Munhoz Ferraz
Universidade do Sagrado Coração

Prof. Me Ricardo Ramos da Rocha
Universidade do Sagrado Coração

Prof. Me Renan Amauri Guaranha Rinaldi
Universidade do Sagrado Coração

Bauru, 08 de dezembro de 2015.

Dedico este trabalho aos meus pais Jorge Luiz Saggin e Maria Celina Pavanello Saggin, por serem exemplos a mim de caráter, esforço e dignidade.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me dar força de enfrentar mais um desafio.

Em especial, o meu profundo agradecimento a minha família, meus pais Jorge Luiz Saggin e Maria Celina Pavanello Saggin e minha irmã Beatriz Angélica Saggin por sempre estarem ao meu lado, me apoiando e pela paciência e incentivo durante toda a realização deste trabalho.

A minha orientadora Fabiana Costa Munhoz Ferraz pelo grande incentivo e ajuda na elaboração do trabalho e pela afeição como coordenadora, professora e orientadora.

A Cebrace (c2015) pela doação dos vidros utilizados nas medidas e informações necessárias sobre estes que foram essenciais para realização deste trabalho.

Aos que me incentivavam de forma positiva a concluir este trabalho. Enfim, obrigado a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho e para a minha formação como ser humano.

RESUMO

O mercado da construção civil apresenta uma variedade enorme de materiais, sempre com alternativas inovadoras e diferenciadas para casos específicos. Dentre estes materiais se encontram os vidros, um dos principais componentes construtivos, visto que colaboram para a iluminação natural. Entretanto, se a escolha do vidro não for correta, devido à transmissão de radiação e alta absorção de calor, é necessária a instalação de aparelhos de ar condicionado que, por sua vez, consomem grande quantidade de energia elétrica, que atualmente apresenta preços altíssimos em virtude da crise hídrica que o país está vivendo. Neste contexto, o principal objetivo deste trabalho é realizar a análise do desempenho térmico dos vidros float, cool lite linha S - 436ST-Green e cool lite knt linha K – 455 – Green, cedidos pela empresa Cebrace e muito utilizados nas fachadas das edificações no Brasil. Para isso foram realizadas medições em protótipos com os três tipos de vidros, comparando a temperatura externa ao vidro e interna (dentro do protótipo). Dentre os vidros analisados, a maior diferença entre as temperaturas externa e interna no protótipo foi com o vidro cool lite linha S. Esta transmissão de calor foi 10% menor se comparada com o vidro float e 15% se comparada com o vidro cool lite linha K. Desta forma, verificou-se que o melhor desempenho térmico no que se refere ao ganho de calor e conforto térmico no ambiente interno foi com a utilização do vidro cool lite linha S no protótipo.

Palavras-chave: Conforto térmico. Vidro refletivo. Desempenho térmico. Eficiência energética. Calor.

ABSTRACT

The construction business offers a huge variety of materials, always with innovative and differentiated alternatives for specific cases. Among these materials are glasses, a major building component, as they collaborate to natural lighting. However, if the choice of glass is not correct, because the transmission of radiation and high heat absorption, installing air conditioners is required which, in turn, consume large amounts of electricity, which currently has very high prices due to the water crisis that the country is passing through. In this context, the main objective of this study is to perform the analysis of the thermal performance of float glass, cool lite line S - 436ST-Green and cool lite knt line K - 455 - Green, assigned by Cebrace company and very used on the windows dressing of buildings in Brazil. To this end measurements were carried out on prototypes with three types of glasses, comparing the outside temperature to the glass and domestic (in the prototype). Among the glasses analyzed, the biggest difference between the external and internal temperatures prototype was with the cool glass lite line S. This heat transfer was 10% lower compared to the float glass and 15% if compared with the cool glass lite line K. Therefore, it was found that the best thermal performance regarding the heat gain and heat comfort in the indoor environment has been the use of glass lite cool line S in the prototype.

Keywords: Thermal Comfort. Reflective glass. Thermal performance. Energy efficiency. Heat.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparação dos níveis dos reservatórios em 2014 e 2015	12
Figura 2 - Índice de Calor	20
Figura 3 - Processos de fabricação do vidro refletivo.....	23
Figura 4 - Distribuição de energia no espectro solar	26
Figura 5 - Espectro da radiação solar	26
Figura 6 - Espectro Eletromagnético	27
Figura 7 - Classificação de iluminância por tarefa.....	28
Figura 8 - Consumo de energia elétrica em edificações no Brasil em 2011.....	30
Figura 9 - Consumo por uso final em residências	30
Figura 10 - Consumo por uso final em edifícios comerciais	31
Figura 11 - Consumo por uso final em edifícios públicos.	31
Figura 12 - Regiões climáticas do Brasil	32
Figura 13 - Vidro Float.....	33
Figura 14 - Vidro laminado refletivo “cool lite linha S - 436ST-Green”	34
Figura 15 - Vidro laminado "cool lite knt linha K – 455 – Green"	34
Figura 16 - Características das classificações dos vidros	35
Figura 17 - Termo-Higrômetro Digital – Modelo ITHT2210 - Instrutemp	36
Figura 18 - Temperaturas do Vidro Float	39
Figura 19 - Temperaturas do Vidro Cool Lite KNT - Linha K.....	40
Figura 20 - Temperaturas do Vidro Cool Lite - Linha S	42
Figura 21 - Gráfico Comparativo da diferença de temperatura nas faces internas e externas dos vidros.....	42
Figura 22 - Gráfico Comparativo da diferença de temperatura ambiente e temperatura interna	43
Figura 23 - Umidade Relativa Interna.....	44
Figura 24 - Índice de temperatura-umidade dos vidros	45
Figura 25 - Simulação do Índice de temperatura-umidade dos vidros para mesma umidade relativa	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperatura Ambiente, Externa e Interna do Vidro Float	38
Tabela 2 - Temperatura Ambiente, Externa e Interna do Vidro Cool Lite KNT linha K - 455 - Green	40
Tabela 3 - Temperatura Ambiente, Externa e Interna do Vidro Vidro Cool Lite linha S - 436ST- Green	41
Tabela 4 - Umidade relativa no interior do protótipo.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ONU – Organização das Nações Unidas

CFC – Clorofluorcarbono

CO₂ – Dióxido de carbono (gás carbônico)

CIB – Conselho Internacional para a Pesquisa e Inovação em Construção

Re – Refletividade externa

UV – Ultravioleta

IV – Infravermelha

TL – Transmissão Luminosa

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ITU – Índice de temperatura-umidade

UR – Umidade relativa

T – Temperatura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral	14
2.2	Objetivos específicos.....	14
3	REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1	Construção Sustentável.....	15
3.2	Eficiência Energética e desempenho térmico das edificações	17
3.3	Propriedades dos vidros	20
3.3.1	Vidro Float	21
3.3.2	Vidro de proteção solar ou Vidro refletivo	21
3.4	ESPECTRO	25
3.5	CONSUMO ENERGÉTICO	29
4	MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1	Materiais	33
4.2	MÉTODOS	37
5	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	38
6	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

O vidro originou-se em 4.000 a.C. onde eram usados como ornamentos e adornos pelos povos mesopotâmicos, sírios, egípcios e gregos, porém foi aproximadamente em 100 a.C. que os romanos idealizaram o vidro plano e começaram a usar em janelas. (PINHEIRO, 2007).

A partir de 1922, com o reflexo da revolução cultural deste período, o modernismo visava à coerência, funcionalidade, as formas geométricas bem definidas e poucas ornamentações nas edificações. Dentro destas características, o vidro tornou-se um dos principais componentes construtivos, pois é um material excelente em relação à economia de luz, visto que a iluminação natural proporcionada por ele dispensa o uso de lâmpadas ao longo do dia. (MICHELATO, 2007).

Ao longo da história, os estilos construtivos passaram por diversos avanços de construção e o arquiteto Mies van der Rohe se destacou com as fachadas de vidro, que se tornou um ícone em edifícios de escritório e globalizou-se, sem que fosse analisado as características climáticas do local e conseqüentemente o efeito estufa nas construções aumentou.

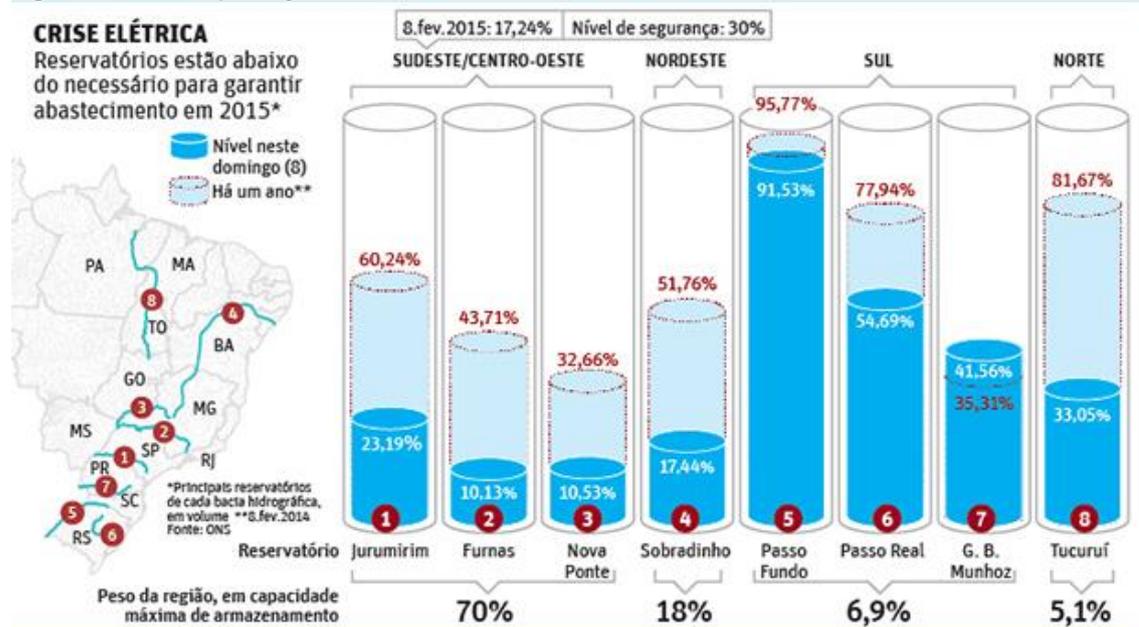
Os aparelhos de ar condicionado, grandes estruturas de aço e concreto foram e estão sendo utilizados para solucionar esse problema, porém é necessário analisar as características do clima e da cultura local para que possa realizar as adaptações necessárias.

A luz solar quando incide sobre o vidro, provoca reflexão, refração, transmissão de radiação e alta absorção de calor, o que acaba muitas vezes acarretando um desconforto térmico, aumentando desta forma o uso de aparelhos condicionadores de ar para reparar tal aspecto. (MICHELATO, 2007).

Atualmente, o Brasil vem enfrentando uma crise energética, pois devido à estiagem (Figura 1), houve uma diminuição considerável na quantidade de água dos reservatórios, chegando à necessidade de utilização do volume morto destes.

Com a redução significativa de água, houve também a redução na geração de energia elétrica e constantes apagões, resultando no aumento do custo da energia em até 80%. (CONTA..., c2015).

Figura 1 - Comparação dos níveis dos reservatórios em 2014 e 2015



Fonte: SETE (2015).

O estudo e a análise do comportamento térmico de vidros em construções se tornam importante uma vez que é conveniente a escolha de técnicas construtivas, estilos, materiais para cobertura, elevação das paredes, fundações e uma sucessão de componentes construtivos para que torne mais adequado e viável para cada tipo de edificação. O vidro também deve ser analisado dentre os diversos tipos existentes para encontrar o melhor nível de iluminação e menor carga térmica.

Assis (2002), afirma que nos últimos trinta anos a tecnologia de fabricação de vidros e os tratamentos evoluíram muito, pois até então as propriedades eram muito semelhantes, principalmente os vidros incolores que eram constituídos de materiais primários básicos. Nessa transformação podem-se incluir os vidros planos, laminados, refletivos e baixo emissivos (low-E).

Muitos edifícios brasileiros utilizam fachadas-cortina, onde os vidros recobrem suas vigas periféricas, formando um colchão de ar não ventilado. É nesse ambiente alvenaria, ar e vidro que se verifica perfeitamente o efeito estufa e onde a temperatura pode atingir até 70°C. O calor acumulado é transferido à alvenaria, aquecendo-a por condução, e esta, por sua vez, aquece o ambiente interno por irradiação. Esse fenômeno se agrava ainda mais quando as alvenarias são pintadas de preto ou os vidros são escuros. (MACEDO FILHO, 1999 apud CASTRO et.al., 2005).

Deve-se ponderar não somente a energia total transmitida através do vidro, mais também a região do espectro solar, ou seja, a intensidade da luz em diferentes comprimentos de onda, que ocorre a transmissão dessa energia. (ASSIS, 2002).

Mascaró (2010) explica que a quantidade de calor recebida pela cobertura e fachadas do edifício depende muito da sua altura. No caso de um edifício de mais de 5 pavimentos, 70% da radiação solar atinge as fachadas e 30% nas coberturas, enquanto que em uma casa térrea, 80% da radiação solar chega na cobertura e 20%. Nesta forma, o isolamento térmico das fachadas é de extrema importância no caso de edifícios de múltiplos pavimentos, do ponto de vista do conforto, da economia e da energia.

Diante da realidade atual, deve-se utilizar um material que provoque uma melhoria térmica no ambiente para reduzir o consumo de energia elétrica. Deste modo, busca-se analisar se o vidro “Cool Lite linha S-436ST-Green” e “Cool Lite KNT linha K-455 Green” apresentam um desempenho superior ao vidro float.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho possui objetivos gerais e específicos, como se pode observar a seguir.

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é realizar a análise do desempenho térmico de protótipos de três tipos de vidros: float, refletivo “cool lite linha S - 436ST-Green” e “cool lite knt linha K – 455 – Green” através de um protótipo, uma vez que a maioria das fachadas das edificações no Brasil utilizam grande quantidade destes vidros apresentados.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

- a) analisar as propriedades térmicas dos vidros refletivos cool lite linha S - 436ST-Green e cool lite knt linha K – 455 – Green;
- b) construir três protótipos com diferentes tipos de vidros e analisar a transmissão de calor com a utilização de termopares;
- c) verificar o conforto térmico de cada ambiente, em virtude da temperatura e umidade relativa no ambiente interno do protótipo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Com o intuito de analisar os motivos determinantes para o uso adequado dos vidros nas edificações, observa-se que os fatores construção sustentável, eficiência energética e desempenho térmico das edificações, propriedades dos vidros, espectro e consumo energético são critérios essenciais para a escolha correta desses materiais.

3.1 CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

O conceito de sustentabilidade surgiu em 1992, onde a Organização das Nações Unidas (ONU) organizou uma conferência com o conteúdo sobre desenvolvimento sustentável, chamada de Eco'92, cujo objetivo era discutir o papel nosso em se desenvolver, atendendo nossas necessidades presentes e garantir as futuras gerações atenderem também as suas. (LAMBERTS et al., 2004).

O mesmo autor ressalva ainda o protocolo de Montreal em 1987, onde o tema destaque foi o empobrecimento da camada de ozônio da atmosfera por substâncias gasosas tipo CFC e o Protocolo de Kyoto em 1992, onde foi estabelecido metas para redução de CO₂ para a atmosfera sendo 40% em edifícios novos e 15% nos existentes.

O termo desenvolvimento sustentável foi conceituado no relatório “O nosso futuro comum”, publicado em 1987 pela Comissão Mundial sobre meio Ambiente e Desenvolvimento, mais conhecido por Relatório Brundtland que tinha como definição suprir as necessidades da geração presente sem afetar a habilidade das gerações futuras de suprir as suas. (CORRÊA, 2009).

O mesmo autor ainda cita que até mesmo as pessoas leigas em conhecimento sobre construção civil pode ver problemas em relação a sustentabilidade, pois estes são muito notórios.

A preocupação com a sustentabilidade surge de forma mais evidente no Brasil na década de 90, associada especialmente aos temas resíduos e energia. (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2013).

Na situação que se encontra o Brasil hoje, em questões ambientais e econômicas, aderir a uma ideia sustentável, combatendo ou melhorando poluições, desmatamento, redução da biodiversidade, mudanças climáticas, produção de lixo e

de esgoto que além de contribuir com a questão ambiental e ecológica, melhora os gastos desnecessários com energia, que está mais elevado devido ao período de estiagem e a crise que se encontra o país. Por isso, incluir práticas e materiais sustentáveis na construção civil, que é uma área de destaque em aspectos econômicos e ambientais, se não praticado, contribui de forma significativa para resultados negativos nos problemas citados.

O Conselho Internacional para a Pesquisa e Inovação em Construção – CIB (2002, p. 8) define a construção sustentável como “o processo holístico para restabelecer e manter a harmonia entre os ambientes natural e construído e criar estabelecimentos que confirmem a dignidade humana e estimulem a igualdade econômica.”

Nota-se que o Conselho fala de processos que favorecem emprego displicente de fatores naturais, como luz, calor, ventilação, foram abandonados com o surgimento da energia elétrica e tecnologias de aquecimento e resfriamento artificiais. Pequenas alterações podem trazer grandes benfeitorias com pouca diferença no custo final do empreendimento ou em seu custo benefício.

Corrêa (2009, p. 29) afirma:

Utilizar novas tecnologias, quando possível é adequado. Caso inviável, buscar soluções criativas respeitando o contexto. É importante que as empresas tenham relações estreitas com agentes promotores de inovação na cadeia produtiva, tanto na oferta de novos materiais e equipamentos, quanto na capacitação da mão-de-obra.
A base para a sustentabilidade na construção é alinhar ganhos ambientais e sociais com os econômicos, daí a necessidade e importância de inovações.

Corrêa (2009) ainda estabelece algumas pré-condições de empreendimentos sustentáveis, que podem ser listados a seguir:

- a) o projeto sustentável deve ter qualidade, pois esta incentiva e estimula a melhoria constante dos processos empresariais, que estão ligados ao consumo de recursos naturais, rendimento, desperdício, resistência, conservação;
- b) selecionar materiais e mão-de obra especializada, pois a seleção destes desperta o aumento da profissionalização e especialização na produção e elimina a execução de empresas sem ou com baixa qualidade de continuarem no mercado, praticando atividades com

baixa produtividade que só se mantêm no mercado por economias sucedidas de práticas não legítimas;

- c) buscar a inovação constantemente, usando novas tecnologias sempre que adequado e possível e em caso de não haver viabilidade, buscar soluções que sejam criativas, porém que respeitem a situação e/ou o ambiente.

O principal contribuinte para a construção sustentável segundo a Federação das Indústrias do Estado do Rio De Janeiro (2013, p.19) é a eficiência energética: “A eficiência energética envolve a redução do consumo de energia para níveis aceitáveis de conforto, qualidade do ar e outros requisitos ocupacionais, incluindo a energia utilizada de materiais para e na construção.”

Dentre as variáveis para que se tenha uma eficiência energética consideravelmente boa, os materiais de construção desempenham grande influência no conforto ambiental, pois com o conhecimento de suas especificidades e a harmonização das características dos edifícios, favorecem o isolamento térmico, a fim de promover a qualidade térmica no interior do ambiente, com o melhor custo benefício e uma estética agradável. Portanto, a escolha dos tipos de paredes, telhados, telhas, janelas e os vidros empregados nessas, devem ser analisados para que sejam estabelecidos de acordo com as condições climáticas do local os melhores materiais para uma boa eficiência energética nas construções.

3.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES

A eficiência energética pode ser entendida como uma característica ligada ao edifício, representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, acústico e lumínico aos usuários e com baixo consumo energético, em outras palavras, pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia, onde um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia. (LAMBERTS et al., 2004).

Em áreas de baixas latitudes, o aumento da eficiência energética pode ser conseguido através da diminuição da carga térmica a qual uma edificação está submetida, uso da iluminação e ventilação naturais e de outros condicionantes que

reduzam o consumo de energia. A crise energética pela qual o país vem passando, faz com que se tomem medidas que visem ao uso eficiente da energia.

Na área da Construção Civil, cabe aos engenheiros e arquitetos repensar as formas como são projetadas e construídas as edificações visando reduzir o consumo de energia. O conceito de eficiência energética deve ser conhecido dos projetistas, mas há uma grande carência nos projetos, pois a maioria deles não leva em consideração um melhor aproveitamento das condições naturais climáticas como meio de reduzir gastos excessivos de energia elétrica, seja com climatização ou iluminação. (CARDOSO, 2002).

Segundo Lamberts et al. (2004) está sendo implantada, por enquanto de forma voluntária, a etiqueta de consumo para edifícios, nos moldes do que vem sendo feito na Europa. Baseando-se em cálculos de aspectos da envoltória do edifício, do sistema de iluminação e do sistema de ar condicionado, esta regulamentação pretende obter a classificação geral do edifício analisado em termos de eficiência energética, que varia do nível A, mais eficiente, ao nível E, menos eficiente.

Por isso, as questões de localização de aberturas e os materiais não devem ser analisados de forma aleatória, pois eles influenciam diretamente melhorando a ventilação de um ambiente, a iluminação e o ganho de calor solar, mas se executados incorretamente ocorre perdas indesejáveis de calor no inverno e ganho excessivo no verão.

Lamberts et al. (2004) afirma que o consumo de energia elétrica que um edifício consome é um fator determinante para definição dos sistemas de controle ambiental utilizados.

Segundo Caram et al (2007):

Entre os componentes da construção, os vidros funcionam como um dos elementos de maior potencialidade de aquecimento interno. Devido à sua transparência à radiação solar, possibilitam facilmente o ingresso de grande parte dessa energia no ambiente.

As áreas envidraçadas em fachadas merecem atenção especial em se tratando de conforto térmico, pois, ao receberem radiação solar, contribuem consideravelmente para a elevação da temperatura no ambiente interno. Considerando seu desempenho como fachadas, devem atender, também, às necessidades de iluminação, as quais, conjugadas com os requisitos necessários para conforto térmico, garantem a eficiência energética da construção.

A eficiência energética de um edifício pode ser maior ou menor, em função de um projeto consciente que tenha considerado as variáveis ambientais físicas e climáticas envolvidas, assim como a prática operacional e a

manutenção dos dispositivos de controle energético, tais como brises, lâmpadas, aparelhos de ar condicionado. Portanto, é na fase do projeto da edificação que as decisões mais importantes referentes ao consumo energético são tomadas.

Cornetet (2009) ressalva um estudo que visa à criação de uma legislação brasileira de eficiência energética desenvolvido por Rosa e Lomardo (2004), onde concluem que unindo a proporção ideal de janelas nas fachadas ao uso de iluminação natural em uma edificação, o consumo de energia pode ser reduzido em até 13,4%, e se forem usados vidros para controle térmico aliado a cortinas internas os resultados são ainda melhores.

Devido a este motivo, destaca-se a importância de identificar quais são os vidros disponíveis para controle térmico, e quais os benefícios oferecidos por eles.

Mascaró (2010) afirma que o isolamento reflexivo é um tipo de adequação térmica que pode ser utilizado tanto para clima quente-seco quanto para clima úmido.

No Brasil, 17,5% do consumo de energia elétrica são relativos aos setores de comércio e serviços, cujas edificações são, geralmente, compostas por fachadas envidraçadas. Desse percentual, cerca de 75% são gastos com iluminação artificial e ar condicionado, indicando que a climatização exige demanda energética maior, e que as fachadas envidraçadas em países predominantemente quentes funcionam como “sugadores” de energia. (NUTAU, 1998 apud CASTRO et al., 2005).

A sensação de temperatura que o corpo humano percebe pode alterar em virtude de vários fatores externos como radiação solar, umidade relativa e ventos fortes.

Devido a constante troca de calor entre o corpo humano e o ar, a evaporação (liberação) através do suor é uma forma natural do nosso corpo controlar a temperatura interna, pois com a evaporação do suor a pele esfria. Se o ar estiver muito úmido a perda de calor é menor. (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, 1999).

A sensação de calor pode ser realizada através de um cálculo que considera a temperatura real e a umidade relativa, denominado de índice de temperatura-umidade (ITU), onde esse índice avalia o conforto do corpo humano para o verão (Figura 2), onde mais próximo da região azul é mais confortável e mais próximo da região vermelho o conforto é menor.

Podemos calcular o ITU pela fórmula:

$$ITU = T - 0,55 (1 - UR) (T - 14)$$

Onde:

T = Temperatura em °C

UR = Umidade relativa (em fração decimal)

Figura 2 - Índice de Calor

	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
42°	48	50	52	55	57	59	62	64	66	68	71	73	75	77	80	82
41°	46	48	51	53	55	57	59	61	64	66	68	70	72	74	76	79
40°	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75
39°	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	66	68	70	72
38°	42	44	45	47	49	51	53	55	56	58	60	62	64	66	67	69
37°	40	42	44	45	47	49	51	52	54	56	58	59	61	63	65	66
36°	39	40	42	44	45	47	49	50	52	54	55	57	59	60	62	63
35°	37	39	40	42	44	45	47	48	50	51	53	54	56	58	59	61
34°	36	37	39	40	42	43	45	46	48	49	51	52	54	55	57	58
33°	34	36	37	39	40	41	43	44	46	47	48	50	51	53	54	55
32°	33	34	36	37	38	40	41	42	44	45	46	48	49	50	52	53
31°	32	33	34	35	37	38	39	40	42	43	44	45	47	48	49	50
30°	30	32	33	34	35	36	37	39	40	41	42	43	45	46	47	48
29°	29	30	31	32	33	35	36	37	38	39	40	41	42	43	45	46
28°	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
27°	27	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
26°	26	26	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37	38	39
25°	25	25	26	27	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37
24°	24	24	24	25	26	27	28	28	29	30	31	32	33	33	34	35
23°	23	23	23	24	25	25	26	27	28	28	29	30	31	32	32	33
22°	22	22	22	22	23	24	25	25	26	27	27	28	29	30	30	31

Fonte: PEGORIM (2013).

3.3 PROPRIEDADES DOS VIDROS

Lamberts et al. (2004), classifica os vidros mais usados na construção civil como:

- a) vidro transparente;
- b) vidro verde;
- c) vidro absorvente;
- d) vidro refletivo.

Caram et al. (2007), denota o procedimento de fabricação do vidro plano incolor é utilizado como matéria prima para produção de demais vidros, como laminados, refletivos, coloridos.

O vidro liso plano transparente apresenta dentre suas características principais a boa visualização, sendo ideal para utilizar onde demanda boa visibilidade e transmissão de luz. A transmissão de radiação solar para dentro do

ambiente é alta e o vidro é pouco refletivo, vindo a causar o efeito estufa, pois o calor transmitido para dentro do ambiente tem dificuldade de saída, ficando acumulado no interior da edificação.

O vidro verde, também é classificado como absorvente, mas permite uma diminuição na transmissão da onda curta, com isso há o aumento na absorção desta, sendo uma maneira de reduzir a visibilidade no interior do ambiente. A absorção da radiação da onda longa é alta e a reflexão relação a onda curta e longa é pouca.

O vidro absorvente ou termoabsorvente, que apareceu em função da necessidade de controle do sol, pode ser o vidro float verde, bronze ou cinza que é colorido por meio da adição de óxidos. (OLIVEIRA, 2009 apud VEDOVELLO, 2012).

O vidro refletivo tem a incidência parcial para o lado onde apresenta mais luz, ou seja, de dia a reflexão é externa e a noite interna.

Porém se a reflexão for em excesso resulta em um calor desagradável e por isso é importante considerar o percentual de refletividade interna.

Além disso, deve ter uma combinação equilibrada entre a radiação transmitida, refletida e absorvida. Isso determinará o desempenho fotoenergético do vidro, ou seja, o equilíbrio entre a transmissão de luz e a passagem de calor.

3.3.1 Vidro Float

O vidro float compõe a matéria-prima para o procedimento de todos os outros vidros, com aplicações específicas, podendo ser laminado, temperado, curvo, serigrafado e usado em duplo envidraçamento.

Dispõe de alta transmissão de luz e não aponta deformidade óptica, portanto é indicado para locais onde demandem boa visibilidade, podendo ser utilizados em janelas, fachadas, portas, prateleiras, revestimentos, balcões, box, tampos de mesa (CEBRACE, c2015).

3.3.2 Vidro de proteção solar ou Vidro refletivo

O vidro de proteção solar ou vidro refletivo ou de controle solar, é indicado para locais onde existe grande incidência de raios solares, proporcionando melhor conforto térmico, pois tem a função de reduzir a entrada de calor e controlar a de luz

para a face interior do edifício através da reflexão de parte da radiação solar que passa pelo envidraçamento, onde parte é automaticamente refletida para o ambiente externo, e parte é absorvida pelo vidro, minimizando a quantidade de calor que atinge efetivamente o ambiente interno. Desse modo a temperatura interna é mais agradável, podendo reduzir o consumo de energia elétrica gastos com luz artificial e ar condicionado.

Sua principal indicação é para locais com grande incidência de luz solar, como fachadas, janelas, portas, coberturas e sacada. (CEBRACE, c2015).

O diferencial entre o vidro da linha S e o da linha KNT é a reflexão. Enquanto o primeiro, segundo o fabricante reduz em até 80% a entrada de calor e impede em até 99% a entrada de raios UV (quando laminado), o segundo, por não apresentar a reflexão impede a entrada de calor, sem barrar a entrada de luz.

Dentre os desafios de um projeto deve-se elaborar ambientes com iluminação natural adequada e que colaborem com a eficiência energética.

O vidro refletivo apresenta desempenho fotoenergético, onde reflete a radiação, filtrando os raios solares, além de ter o controle da transmissão de calor e da intensidade da luz que são transmitidos para o ambiente interno das edificações.

Possui dois processos de fabricação descritos a seguir:

Michelato (2007, p. 59) descreve: “O processo pirolítico consiste na deposição de óxidos metálicos diretamente sobre o vidro em alta temperatura durante a linha de produção.”

Ainda segundo o autor, essa deposição ao longo do processo de fabricação do vidro float garante resistência e uniformidade da camada refletida. (MICHELATO, 2007).

Os vidros refletivos que sofrem transformação através do processo pirolítico, por terem grande estabilidade na camada óxida e resistência ao desgaste podem ser utilizados com essa camada refletiva voltada para o exterior. Vale resaltar que nesse método o vidro apresenta desempenho baixo como filtro solar.

Por possuir camadas mais rígidas pode ser curvado ou endurecido e serigrafado depois do processo de pirólise.

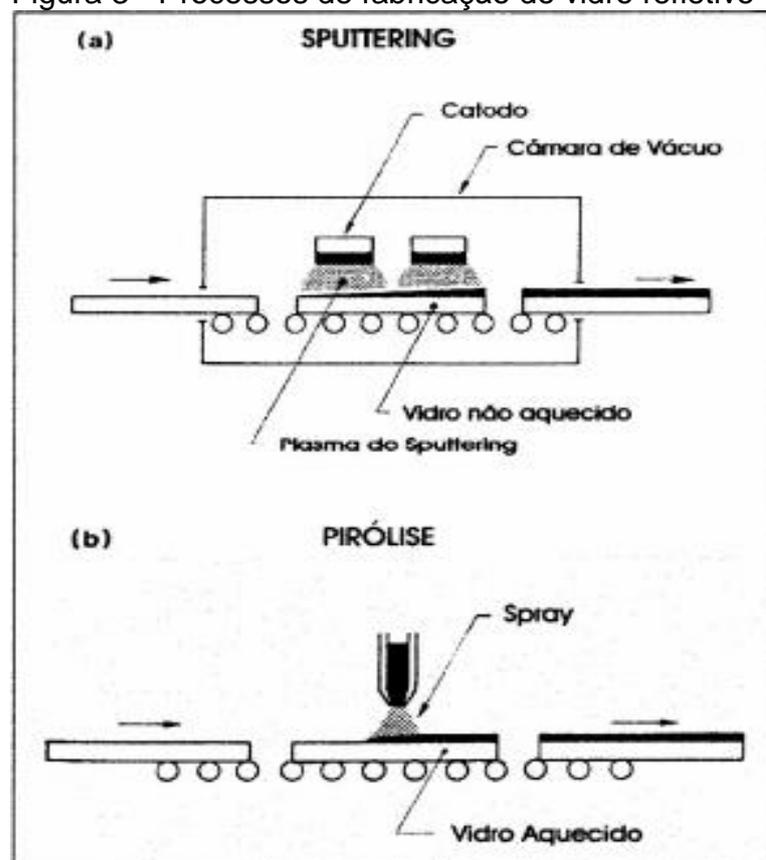
Os vidros refletivos pirolíticos foram desenvolvidos com o objetivo de melhorar o conforto no interior em locais onde predomina o clima frio.

O segundo processo é denominado de metalização a vácuo e possui melhor desempenho de proteção solar em contrapartida a camada refletiva é mais visível,

além de não admitir beneficiamentos que utilizem calor, como a tempera ou a serigrafia, que devem ser feitos anteriormente ao depósito de óxidos.

Michelato (2007) explica que “[...] a produção do vidro consiste na pulverização catódica de íons metálicos sobre a superfície em uma câmara de vácuo, em temperatura ambiente através do processo denominado Sputtering Coating”, conforme visualizado na Figura 3.

Figura 3 - Processos de fabricação do vidro refletivo



Fonte: Cornetet (2009, p.38).

A indicação dos vidros refletivos pede estudo do desempenho e de suas propriedades como a transmissão de luz, reflexão, calor, sua cor, localização da obra e funcionalidade, sendo primordial para não dispor de uma claridade extrema que torne o ambiente desconfortável, ou o aquecimento interno excessivo, transformando o ambiente em uma estufa ou ainda, a quebra do vidro devido ao choque térmico causado pela absorção energética alta.

O vidro reflexivo não pode ser considerado um espelho, ele reflete parcialmente para onde incide mais luz, ou seja, de dia reflete externa e a noite

internamente, sendo que essa reflexão sendo em excesso resulta em algo negativo, pois essa luz incidida converte-se em calor.

Vedovello (2012, p. 120) ressalta:

Como a radiação refletida não faz parte da energia que passa por transmissão direta, e vice-versa, é importante que haja uma combinação entre os percentuais de radiação transmitida, refletida e absorvida. Essa combinação definirá o desempenho foto energético do vidro, que nada mais é do que o balanço desejável entre a transmissão de luz direta e o bloqueio máximo de calor.

A radiação solar se divide de forma onde parte da incidência de luz atravessa o vidro transpondo no interior do ambiente, denominada de transmissão direta; parte reflete para fora e uma parte é absorvida pelo vidro que aquecido decompõe essa energia parte para o exterior e parte para o interior.

Para Duarte (2008), os vidros se classificam de acordo com o índice de refletividade externa (Re), sendo:

- a) alta refletividade (Re superior a 25%);
- b) média (Re entre 25% e 15%);
- c) baixa (Re inferior a 15%).

A cor utilizada nos vidros pode intervir a cor refletida a alterar o comportamento fototérmico do vidro refletivo, diminuindo a condução de luz direta e elevando a absorção de energia, devido a este fator deve atentar-se ao efeito da cor quando referir-se a um vidro refletivo

Assis (2002) ressalta que as cores cinza e bronze tendem a absorver a luz visível e o raio infravermelho, aquecendo o vidro e irradiando calor interna e externamente, podendo sua superfície chegar a uma temperatura entre 50°C a 60°C. Já as cores verde e azul são mais eficazes em relação de boa transmissão das radiações infravermelha e visível.

O vidro refletivo tem incorporado em sua constituição uma espécie de película que reduz a entrada de calor para dentro da edificação (onda curta) e a perda de calor para o exterior (onda longa), além de diminuir a entrada de luz para o interior do ambiente e por isso esse tipo de vidro é de associado a eficiência energética e o conforto ambiental, pois filtra os raios solares por meio de reflexão e radiação.

Caram et al. (2007) atesta que esse tipo de vidro é produzido a partir do vidro plano monolítico, podendo ser o incolor ou o colorido, onde em uma de suas faces é aplicado uma camada de óxidos metálicos ou sais metálicos.

A especificação de vidros refletivos requer estudos de suas características de desempenho e de elementos como a transmissão de luz, calor, refletividade, cor do vidro, região onde a obra está localizada e a finalidade da edificação. Sem esses e outros dados, há riscos de o projeto resultar em problemas como a claridade desconfortável ou o aquecimento dos ambientes internos, ou ainda a quebra de vidros devido ao stress térmico causado pela alta absorção energética. (VEDOVELLO, 2012, p. 120).

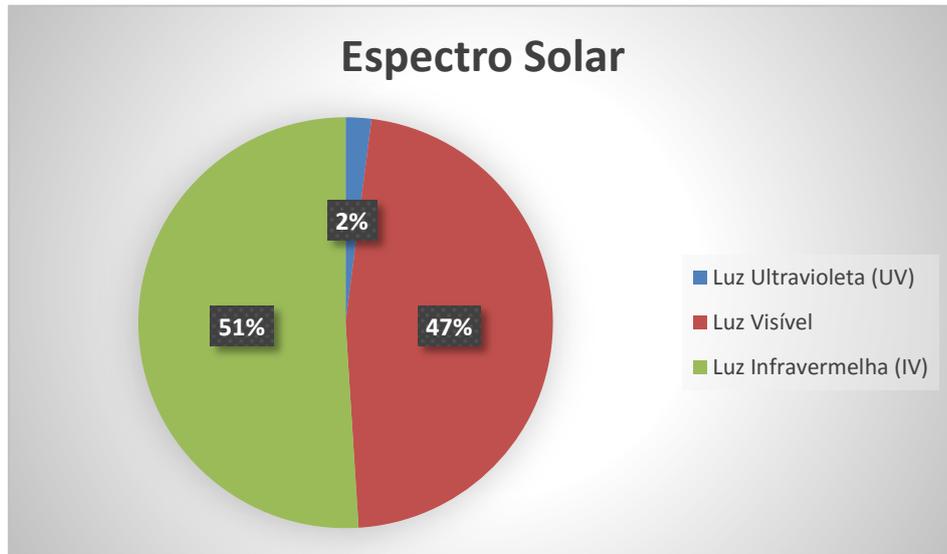
A radiação solar é dividida onde parte atravessa o vidro, penetrando no ambiente interno (transmissão direta); parte é refletida para fora; e uma terceira parte o vidro absorve, e esse se aquece e redistribui essa energia, devolvendo uma parcela para o exterior e outra para o interior.

Para cada comprimento de onda ocorre um balanço matemático, com o intuito de encontrar o equilíbrio entre calor e luz, transmitidos e refletidos respectivamente para o interior do ambiente, de forma que a temperatura fique agradável sem a necessidade de condicionadores de ar e não exigindo iluminação artificial excessiva.

3.4 ESPECTRO

De acordo Glassec (c2015), o espectro solar se caracteriza pelo comprimento das suas ondas. Ele consiste de luz ultravioleta (UV), que representa 2% do total da energia distribuída, de luz visível (47%) e de luz infravermelha (IV), representando 51%, conforme apresentado nas Figuras 4 e 5.

Figura 4 - Distribuição de energia no espectro solar



Fonte: Elaborada pela autora.

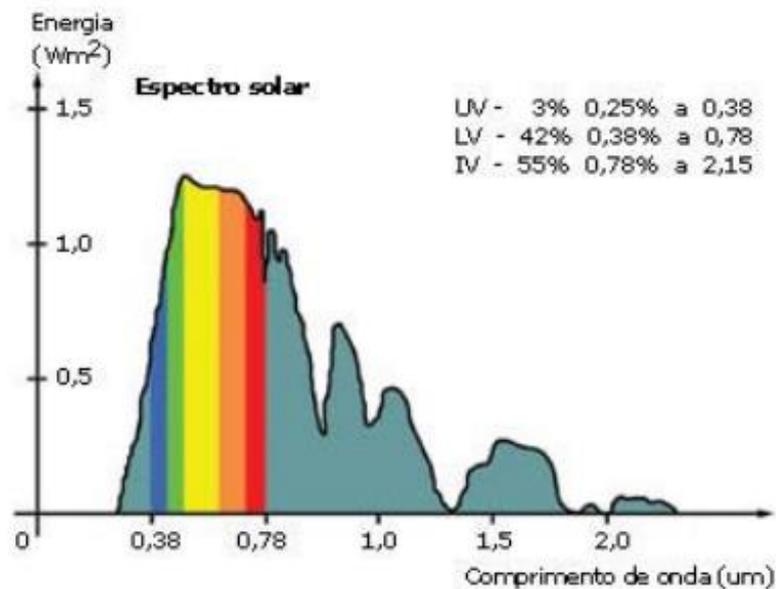
Uma das características do espectro solar é o comprimento de suas ondas, medido em nanômetros (nm), unidade equivalente à bilionésima parte de 1 metro ($1 \text{ nm} = 10^{-9}\text{m}$).

A luz UV é invisível a olho nu e o comprimento de sua onda varia entre 300 – 380 nm. Os danos causados pela exposição à luz UV, a longo prazo, incluem o desbotamento de tecidos e a deterioração de plásticos.

A luz visível, como o próprio nome indica, é a única parte do espectro solar visível a olho nu. O comprimento de sua onda varia entre 380 – 780 nm.

A luz IV é invisível a olho nu, sua onda mede entre 790 – 3000 nm e produz uma sensação de calor penetrante. Suas ondas curtas se convertem em calor quando absorvidas por um objeto. (GLASSEC, c2015).

Figura 5 - Espectro da radiação solar



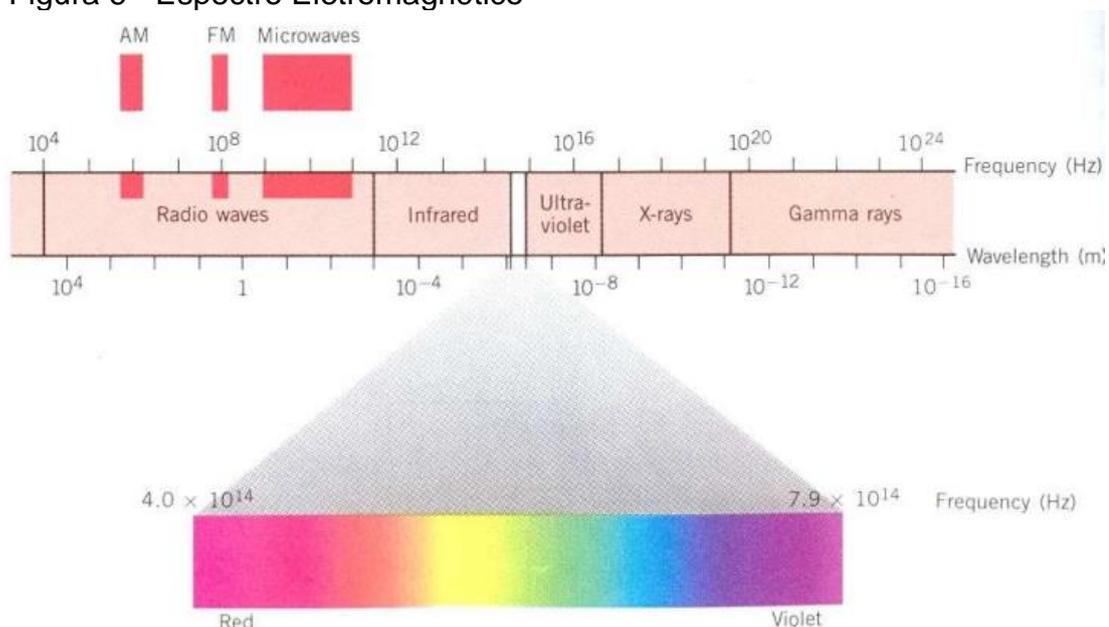
Fonte: Cornetet (2009).

Os vidros apresentam comportamento ótico diferentes nos intervalos do espectro solar, por isso deve-se analisar seu desempenho em relação ao conforto ambiental.

Assis (2002) ressalta que é de extrema importância para construção civil estudar e caracterizar as propriedades óticas dos vidros e películas de controle solar existentes no mercado, pois através de análises comparativas das curvas de transmissão espectral dos diferentes tipos de vidros encontra-se a indicação da quantidade de radiação transmitida e em qual região do espectro (Figura 6), sendo para as áreas quentes, como é a maior parte do país, é interessante a transmissão maior na região de luz visível que a luz infravermelha, pois evita o ganho de calor e produz mais luz.

Duffie e Beckman (1980) afirmam que a radiação que atinge a superfície da Terra apreende um espectro com comprimentos de onda entre 290 a 2500 nm.

Figura 6 - Espectro Eletromagnético



Fonte: Donoso (2015)

O espectro eletromagnético é contínuo, mas diferentes nomes são atribuídos a diferentes intervalos porque seus efeitos, geração, medida e uso são diferentes. Por exemplo, as células da retina do olho humano são sensíveis a uma radiação num estreito intervalo chamado luz visível, com λ (comprimento de onda) entre $0,7 \cdot 10^{-6}$ a $0,4 \cdot 10^{-6}$ m. A maior parte da energia radiante do sol está concentrada nas partes visível e próximo do visível do espectro. (...) Apesar da divisão do espectro em intervalos, todas as formas de radiação são basicamente iguais. Quando qualquer forma de energia radiante é absorvida por um objeto, o resultado é um crescimento

do movimento molecular e um correspondente a aumento da temperatura.” (UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MATO GROSSO DO SUL, c2015).

Vidros float filtram apenas uma pequena parcela da radiação solar, já vidros coloridos, refletivos e insulados podem ter ganhos significativos.

A radiação do sol é o principal aspecto na definição do clima e um dos motivos mais importantes na definição de um projeto arquitetônico, pois influencia decisões, como o posicionamento e orientação de fachadas e aberturas, tipos de vidros e proteções solares a serem escolhidos.

Vidros de tipos determinados possuem um índice de filtro da radiação para o espectro visível, que é informado através da TL (Transmissão Luminosa), fornecido pelos fabricantes.

Um ambiente atinge o conforto visual quando se tem uma luz adequada, sem uma iluminação excessiva, e de preferência ajustável, sem objetos que causem muita reflexão, sem focos de luz intensa e sem grandes contrastes entre cores. Assim como o conforto térmico, o conforto visual em um ambiente é também bastante subjetivo, mas a NB 57 (ABNT, 1991) determina níveis de iluminância mínimos para que se obtenha este conforto, de acordo com a tarefa a ser realizada no ambiente, conforme visualizado na Figura 7.

Figura 7 - Classificação de iluminância por tarefa

Classificação	Nível de iluminação a ser obtido	Tarefa
Baixa	100 a 200 lux	<ul style="list-style-type: none"> • Circulação • Reconhecimento facial • Leitura casual • Armazenamento • Refeição • Terminais de vídeo
Média	300 a 500 lux	<ul style="list-style-type: none"> • Leitura/escrita de documentos com alto contraste • Participação de conferências
Alta	500 a 1.000 lux	<ul style="list-style-type: none"> • Leitura/escrita de documentos com fontes pequenas e de baixo contraste • Desenho técnico

Fonte: Lamberts et al. (1997).

Portanto, vale ressaltar que para determinação do tipo de vidro escolhido para as fachadas é de grande importância a observação do entorno e dos materiais neles

aplicados, como exemplo uma fachada com vidro refletivo que recebe grande incidência solar ao longo do dia se posicionada frente a outro edifício com o mesmo tipo de vidro pode gerar um efeito estufa, pois algumas linhas deste vidro produzem efeito de espelho e isso acaba provocando um grande aumento da temperatura no local e anulando os benefícios que espera deste tipo de vidro.

3.5 CONSUMO ENERGÉTICO

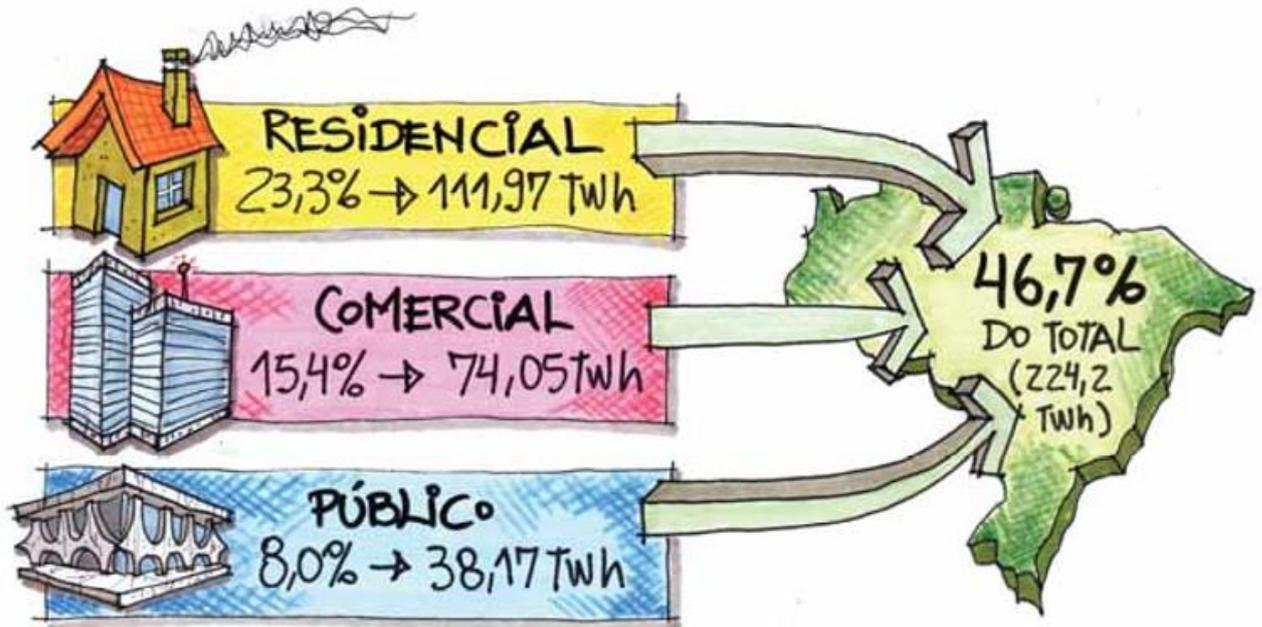
Nota-se que o uso por áreas com vidro é cada vez maior, podendo notar que a partir do XX os edifícios com fachadas de vidro se tornaram modelos, visando sua beleza estética e não levando em consideração os fatores sociais, tecnológicos e econômicos.

Um estudo realizado em edifícios de vidro (sem que seja feito estudo de qual o adequado a fachada) com climatização artificial mostrou que eles consomem cerca de 23 vezes mais energia que a utilizada em sua construção. (MASCARÓ, 1980 apud MICHELATO, 2007).

Segundo Fernandes (1998) apud Cornetet (2009) na análise da influência do vidro no consumo de energia em edificações, conclui-se que o consumo de energia gasto através dos aparelhos de ar condicionado é muitas vezes maior que o consumo com iluminação artificial quando ambos estão presentes na edificação.

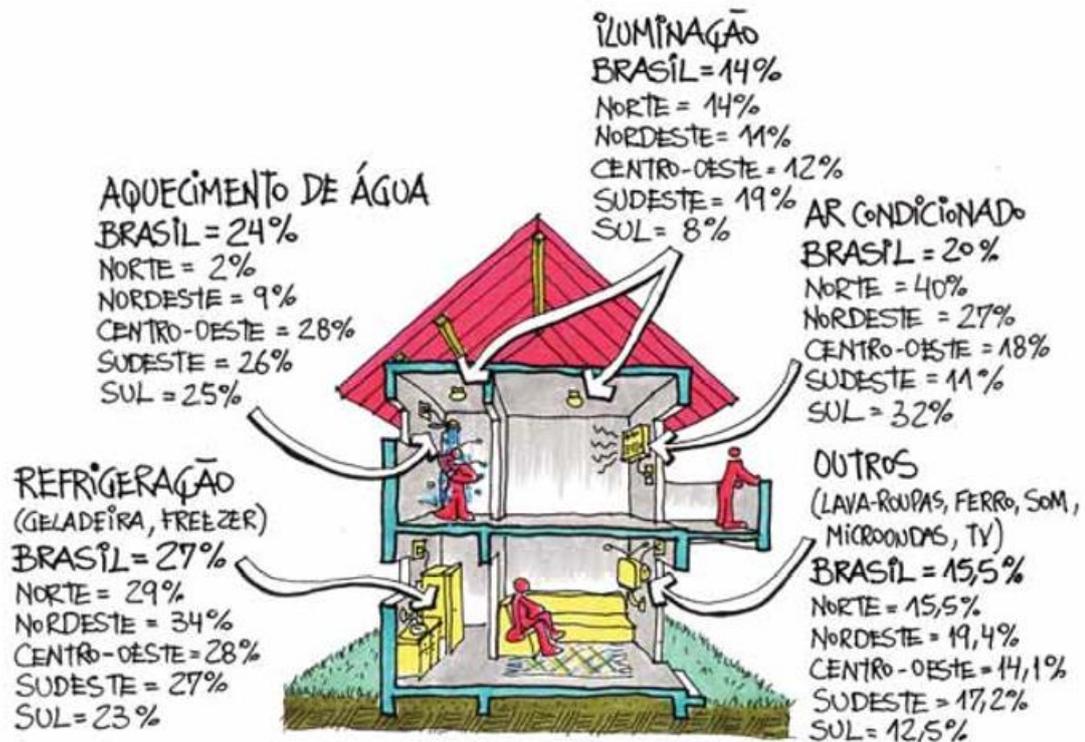
Nas Figuras (8, 9, 10 e 11) pode-se analisar o consumo de energia elétrica em edificações no Brasil no ano de 2011 e o consumo por uso final em residências, edifícios comerciais e públicos no ano de 2007. Observa-se que os aparelhos de ar condicionado e a iluminação artificial ocupam grandes percentuais de consumo, mesmo sendo ligado somente em uma pequena parcela do dia, se comparados com um refrigerador que fica ligado todo o período do mês.

Figura 8 - Consumo de energia elétrica em edificações no Brasil em 2011



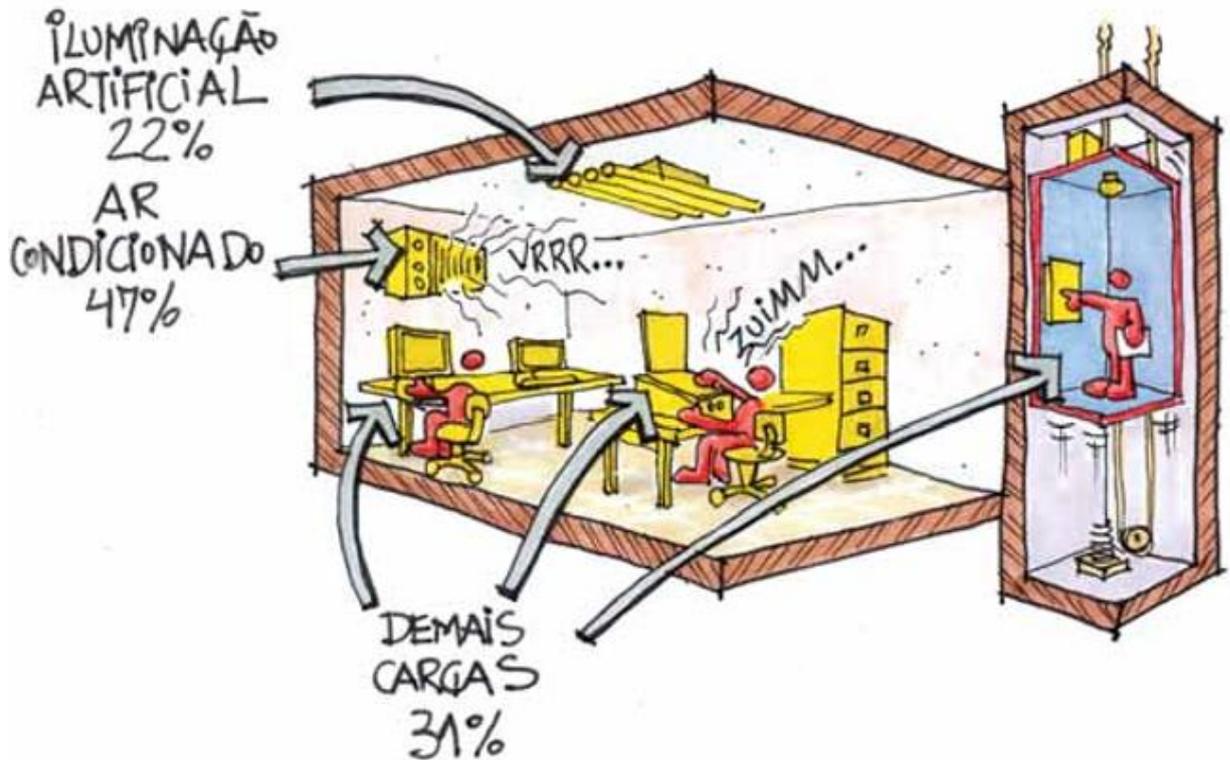
Fonte: LAMBERTS et al. (2004, p.16).

Figura 9 - Consumo por uso final em residências



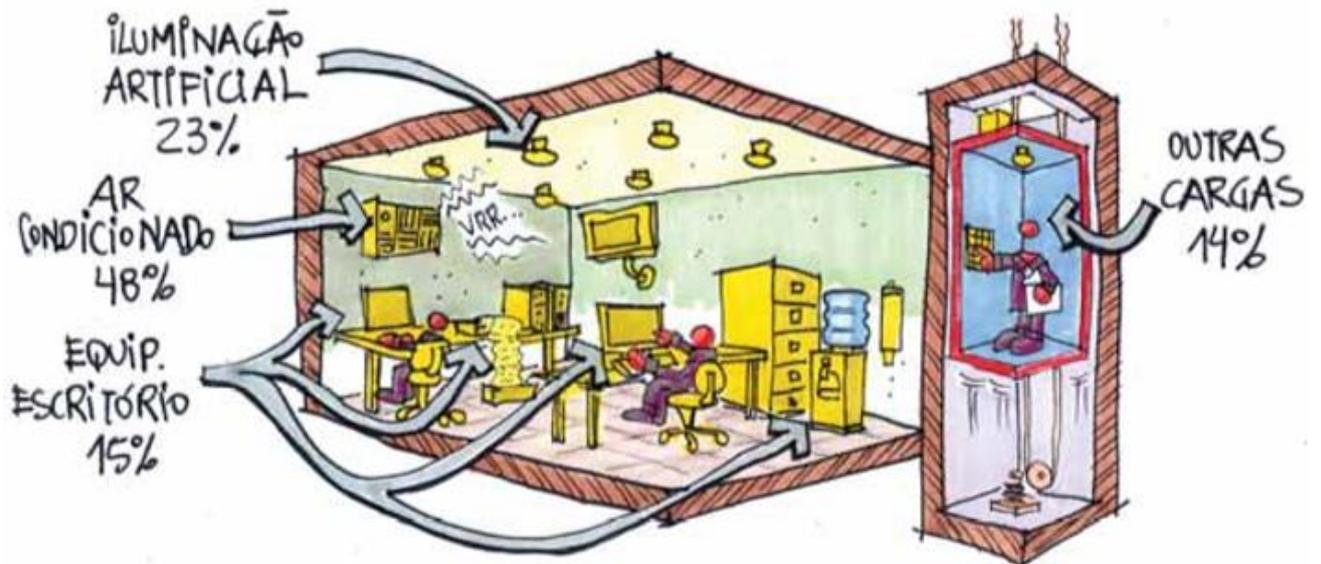
Fonte: Lamberts et al. (2004, p.17).

Figura 10 - Consumo por uso final em edifícios comerciais



Fonte: Lamberts et al. (2004, p.19).

Figura 11 - Consumo por uso final em edifícios públicos.



Fonte: Lamberts et al. (2004, p.19).

Além disso, vale ressaltar que nas indústrias o maior percentual de energia elétrica consumida é de máquinas e motores, que não faz parte da questão projetual.

O mesmo ocorre com a ventilação natural que, embora seja possível de promover, muitas vezes não é suficiente, dependendo das condições climáticas. Já a iluminação natural é a principal estratégia econômica para este setor.

Os setores residenciais, públicos e comerciais são os mais interessantes para os estudos dos materiais a serem escolhidos e aplicados como principais estratégias econômicas.

Conforme a NBR 15220 (ABNT, 2003) São Paulo está na região Tropical de altitude (Figura 12).

Figura 12 - Regiões climáticas do Brasil



Fonte: Lamberts et al. (2004, p.82).

Segundo Lamberts et al. (1997) na cidade de São Paulo, em 72,8% das horas do ano há desconforto (13,4% por calor e 59,3% por frio) e em apenas 27,1% deste ano haverá conforto térmico.

O mesmo autor ainda sugere que sejam analisados os dados climáticos disponíveis, o ano climático de referência que possui valores horários de temperatura e umidade relativa, para que as soluções arquitetônicas se utilizem das especificações locais com tipologias distintas e próprias.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir verifica-se os materiais utilizados para a pesquisa e os métodos adotados.

4.1 MATERIAIS

Para a realização deste trabalho, foram utilizados os vidros float, cool lite linha S - 436ST-Green e cool lite knt linha K - 455 - Green, cedidos pela empresa Cebrace (c2015).

O vidro float, apresentado na figura 13, tem 4mm de espessura e é ideal para aplicações que exijam perfeita visibilidade e grande passagem de luz, por não provocar distorções.

Figura 13 - Vidro Float



Fonte: Elaborada pela autora.

O vidro cool lite linha S - 436ST Green com 4mm de espessura (FIGURA 14), de acordo com Cebrace (c2015), reduz em até 80% a entrada de calor e impede em até 99% a entrada de raios UV, quando laminados. A linha S representa uma linha de vidros de proteção solar que reduzem a entrada de calor e os raios UV.

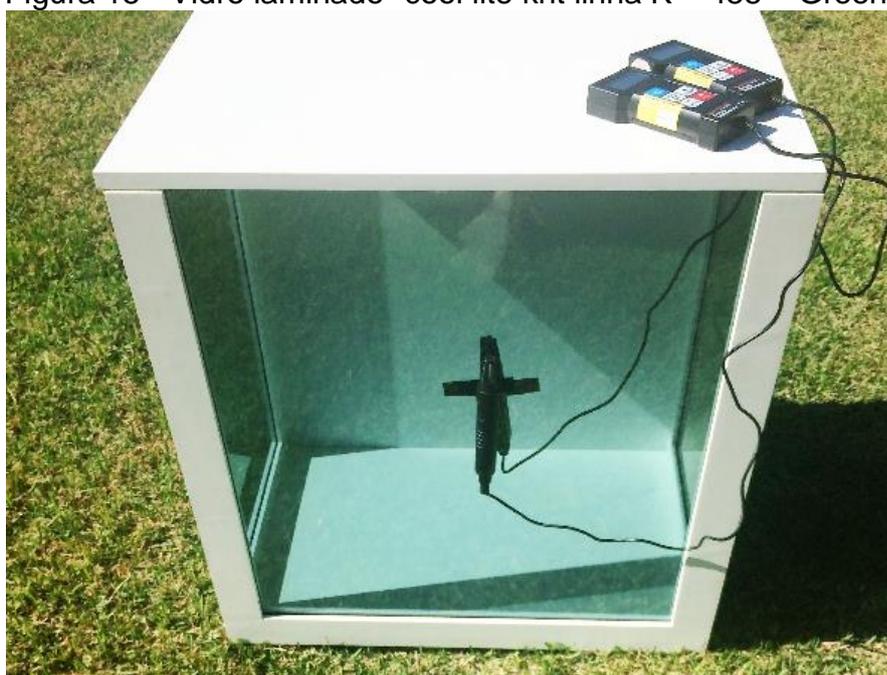
Figura 14 - Vidro laminado refletivo "cool lite linha S - 436ST-Green"



Fonte: Elaborada pela autora.

O vidro cool lite knt linha K – 455 – Green com espessura de 4mm, quando usado como vidro duplo, isola termicamente até 5 vezes mais do que um vidro transparente monolítico. A linha K apresenta uma linha de vidros que permitem a entrada de luz no ambiente, barrando o calor e os raios UV. (CEBRACE, c2015).

Figura 15 - Vidro laminado "cool lite knt linha K – 455 – Green"



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 16 - Características das classificações dos vidros

LINHA S – PROTEÇÃO SOLAR	LINHA K – PROTEÇÃO SOLAR SELETIVO	LINHA	PRODUTOS		ASPECTO EXTERNO	TIPO DE VIDRO (INSULADO OU LAMINADO)	FATORES LUMINOSOS			TRANSMISSÃO ENERGÉTICA			TRANSMISSÃO TÉRMICA	SELETIVIDADE	PROCESSAMENTO			APLICAÇÃO											
			COOL LITE ST	COOL LITE KNT			DADOS EM VIDRO LAMINADO	DADOS EM VIDRO LAMINADO	TRANSMISSÃO LUMINOSA %	REFLEXÃO LUMINOSA EXTERNA %	REFLEXÃO LUMINOSA INTERNA %	TRANSMISSÃO ENERGÉTICA %			ABSORÇÃO ENERGÉTICA %	FATOR SOLAR	COEFICIENTE DE SOMBREAMENTO	VALOR UW/m ² K	TEMPERADO	SERIGRAFADO	CURVADO	MONOLÍTICO	LAMINADO	INSULADO					
436	455		GREEN	GREEN			34	41	14	11	23	65	0,39	0,44	5,60	1,05	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
			GREEN	GREEN																									

Fonte: Cebrace (c2015).

Nota: Adaptada pela autora.

Para análise da absorção de calor dos vidros, foi construído um protótipo em MDF, simulando as paredes e a cobertura. O protótipo tem altura e comprimento de 60cm e largura de 45cm. Três laterais do protótipo são vazadas e com encaixe para os vidros de 35 cm de largura por 50 cm de comprimento nas laterais e de 50 cm de largura por 50 cm de comprimento na parte frontal.

O termômetro usado para realizar as medições de temperatura e umidade relativa do ar, interna e externamente foi um termo higrômetro digital modelo ITHT 2210 da Instrutemp, como pode-se ver na figura (17), com alta precisão. Suas dimensões são 32 x 9,2 x 2,5 cm e pesa aproximadamente 155g.

Figura 17 - Termo-Higrômetro Digital
– Modelo ITHT2210 -
Instrutemp



Fonte: Elaborada pela autora.

A faixa de medição em Celsius vai de -40°C $\sim 70^{\circ}\text{C}$ e em Fahrenheit varia de -40°F $\sim 158^{\circ}\text{F}$ e a umidade relativa varia de 0% a 100%. Possui um tempo resposta para medição da temperatura entre 5 a 30 segundos e para medição da umidade relativa de 4 segundos.

4.2 MÉTODOS

Para realização do experimento, instalou-se a caixa de MDF sobre um gramado, posicionada de forma a receber o sol durante todo o intervalo de medição nas faces de vidro. O intervalo para verificação da temperatura na face interna e externa do vidro foi a cada uma hora, no horário das 10h às 16h, quando o sol é mais intenso e depois de 5 horas da última medição foi realizada outra medição, para verificar se os vidros absorvem calor durante o dia e liberam para o ambiente durante a noite.

Instalou-se um termo higrômetro na face externa do vidro e outro na face interna. Vale ressaltar que seguindo as normas do manual do termo higrômetro, aguardou-se o tempo de resposta de 30 segundos, para que a temperatura e a umidade relativa se estabilizassem e só depois deste período que foram registradas as temperaturas.

O experimento foi realizado em 3 dias, utilizando um vidro em cada dia, visto que o intervalo de medição é sempre nos mesmos horários.

As condições climáticas de cada dia foram semelhantes, com céu limpo, dia relativamente quente e ensolarado.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Serão apresentadas, neste trabalho, as temperaturas do ambiente, em cada dia da realização do experimento, além das temperaturas da face interna e externa do vidro colocado no protótipo e as referidas umidades relativas. A análise será realizada a partir da diferença de temperatura entre a face interna e externa do vidro.

O primeiro vidro a ser analisado é o vidro float. No dia do experimento com este vidro, a temperatura do ambiente variou entre 14°C e 29°C. A temperatura na face externa do vidro chegou a 55,17°C enquanto que a temperatura na face interna atingiu 43,22°C. A Tabela 1, apresenta os dados obtidos neste ensaio, para o vidro float.

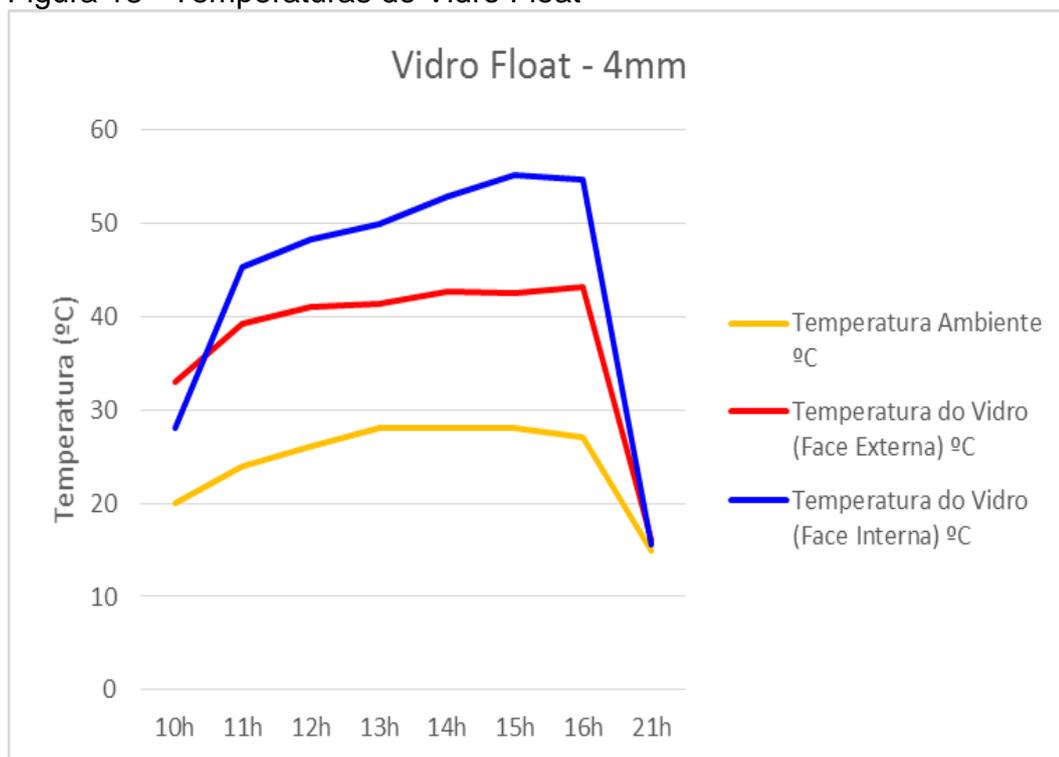
Tabela 1 - Temperatura Ambiente, Externa e Interna do Vidro Float

Horário	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura na face externa do vidro (°C)	Temperatura na face interna do vidro (°C)
10h	20	33	28
11h	24	39,27	45,25
12h	26	41,08	48,28
13h	28	41,35	49,83
14h	28	42,6	52,76
15h	28	42,5	55,17
16h	27	43,22	54,55
21h	15	16,05	15,6

Fonte: Elaborada pela autora.

A seguir, elaborou-se um gráfico (figura 18) com os dados da tabela 1, onde são observadas as três temperaturas (ambiente, face interna e externa do vidro) e nota-se que a curva da temperatura interna é a que chega a temperaturas mais elevadas ao longo da medição.

Figura 18 - Temperaturas do Vidro Float



Fonte: Elaborada pela autora.

O segundo vidro a ser analisado é o vidro Cool Lite KNT linha K-455 Green (tabela 2).

A figura 19 apresenta a variação das 3 temperaturas (ambiente, face externa do vidro e face interna). Nota-se que a temperatura ambiente varia entre 15°C e 30°C, ou seja, temperatura normal para o mês de setembro na região de Bauru.

A temperatura mais alta obtida foi junto à face externa do vidro Cool Lite KNT linha K-455 Green, atingindo 61,87°C. Neste mesmo horário, a temperatura interna estava em torno de 55°C.

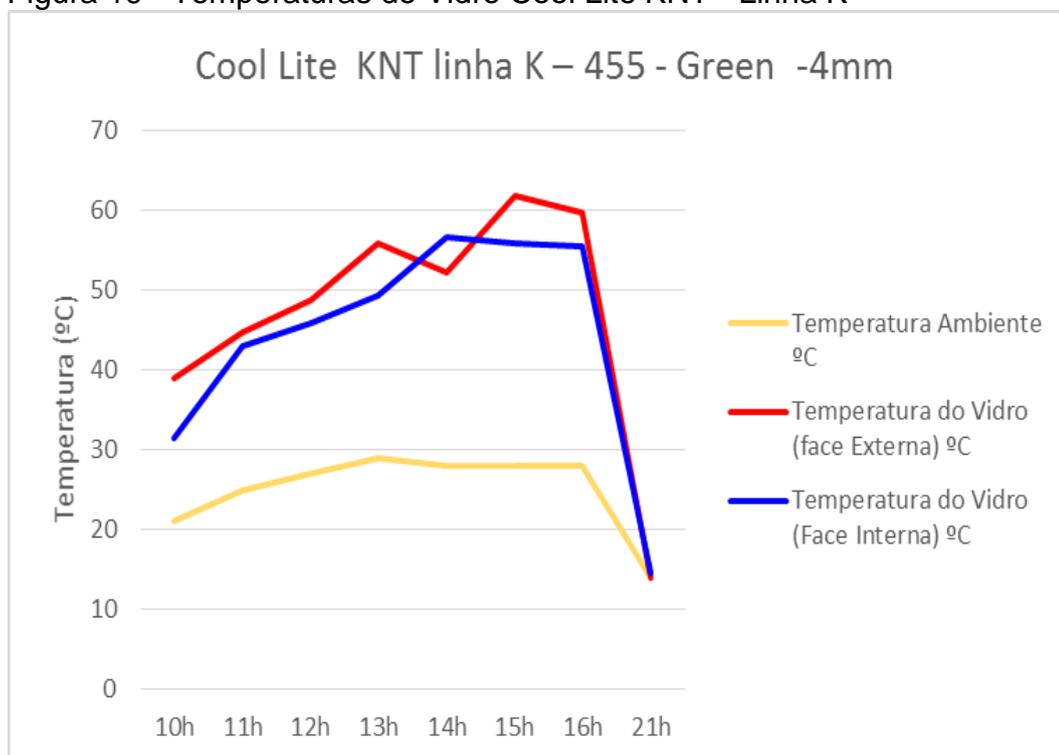
Pode-se então verificar que a diferença de temperatura entre as faces externa e interna para este tipo de vidro não é significativa, se mantendo em torno de 6°.

Tabela 2 - Temperatura Ambiente, Externa e Interna do Vidro Cool Lite KNT linha K – 455 - Green

Horário	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura na face externa do vidro (°C)	Temperatura na face interna do vidro (°C)
10h	21	38,93	31,5
11h	25	44,6	42,95
12h	27	48,81	45,81
13h	29	55,91	49,27
14h	28	52,22	56,6
15h	28	61,87	55,75
16h	28	59,67	55,53
21h	14	13,94	14,56

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 19 - Temperaturas do Vidro Cool Lite KNT - Linha K



Fonte: Elaborada pela autora

O último vidro analisado é o vidro Cool Lite linha S-436 Green (Tabela 3).

Tabela 3 - Temperatura Ambiente, Externa e Interna do Vidro Vidro Cool Lite linha S - 436ST- Green

Horário	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura na face externa do vidro (°C)	Temperatura na face interna do vidro (°C)
10h	25	34,61	30,25
11h	29	50,7	48,01
12h	30	46,70	49,56
13h	31	47,75	45,09
14h	32	59,90	45,87
15h	34	57,67	47,95
16h	32	58,03	47,95
21h	28	20,12	22,06

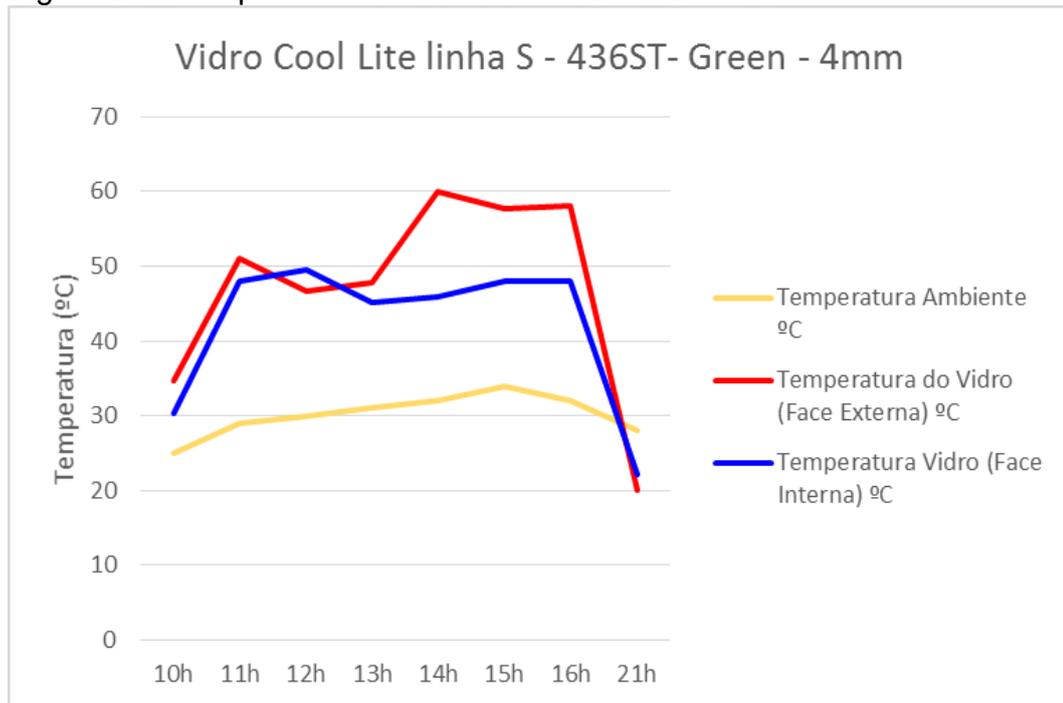
Fonte: Elaborada pela autora.

Na Figura 20 pode-se verificar variação das temperaturas.

A temperatura ambiente variou entre 24°C e 35°C. A temperatura mais alta obtida na face externa do vidro Cool Lite linha 5-436 Green, atingiu 59,90°C. Neste mesmo horário, a temperatura interna era de 45,87°C.

Pode-se então verificar que a diferença de temperatura entre as faces externa e interna para este tipo de vidro foi significativa, se mantendo em torno de 12°C nos horários de temperaturas mais elevadas.

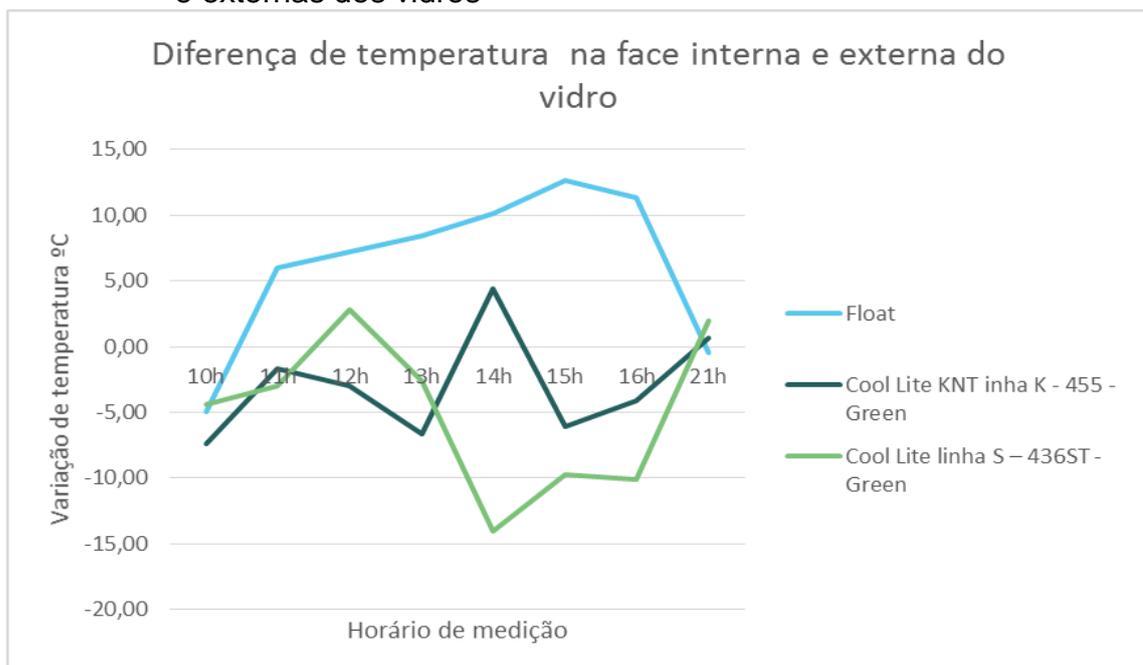
Figura 20 - Temperaturas do Vidro Cool Lite - Linha S



Fonte: Elaborada pela autora.

Analisando a Figura 21, que ilustra a diferença de temperatura entre as faces internas e externas dos três vidros em questão, verifica-se que o vidro Cool Lite linha S, foi o que apresentou o melhor desempenho térmico, visto que a maior redução de temperatura que houve na face interna de aproximadamente 14°C.

Figura 21 - Gráfico Comparativo da diferença de temperatura nas faces internas e externas dos vidros



Fonte: Elaborada pela autora.

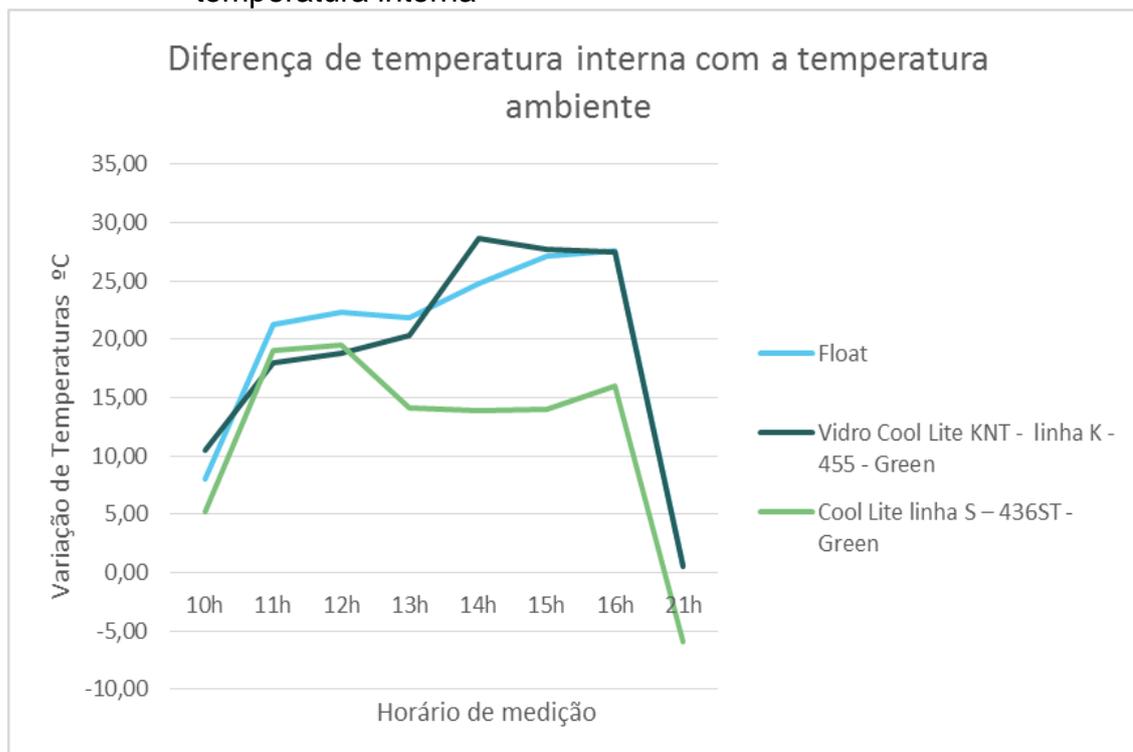
Comparando a variação entre a temperatura ambiente e a temperatura interna, nota-se que o vidro Float e o Cool lite KNT – linha K apresentam variações semelhantes, onde o ambiente interno fica com a temperatura mais elevada em aproximadamente 25°C à temperatura ambiente.

Já o vidro Cool lite – linha S, apresentou a diferença de temperaturas menor e, portanto mais significativa, sendo o aumento da temperatura em torno de 15°C.

Quando comparados os três vidros em questão nota-se que o Cool lite – linha S mostra uma vantagem em relação aos demais com uma diferença média de 10°C a menos no ambiente interno.

Na Figura 22 podemos observar graficamente esta análise.

Figura 22 - Gráfico Comparativo da diferença de temperatura ambiente e temperatura interna



Fonte: Elaborada pela autora.

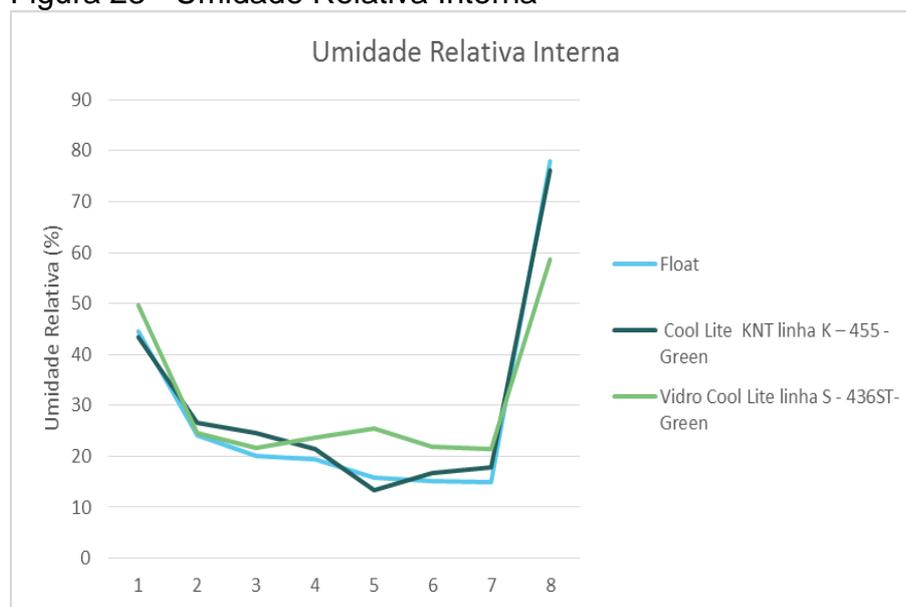
A seguir, apresenta-se a umidade relativa interna dos três vidros em questão (Tabela 4 e Figura 23).

Tabela 4 - Umidade relativa no interior do protótipo

Hora	Umidade Relativa (%) no interior do protótipo - Vidro Float	Umidade Relativa (%) no interior do protótipo - Cool Lite KNT linha K - 455 - Green	Umidade Relativa (%) no interior do protótipo - Vidro Cool Lite linha S - 436ST- Green
10h	44,54	43,41	49,68
11h	24,18	26,61	24,57
12h	20,19	24,57	21,6
13h	19,47	21,36	23,67
14h	15,81	13,32	25,52
15h	15,11	16,75	21,82
16h	14,84	17,77	21,35
21h	77,96	76,18	58,62

Fonte: Elaborada pela autora.

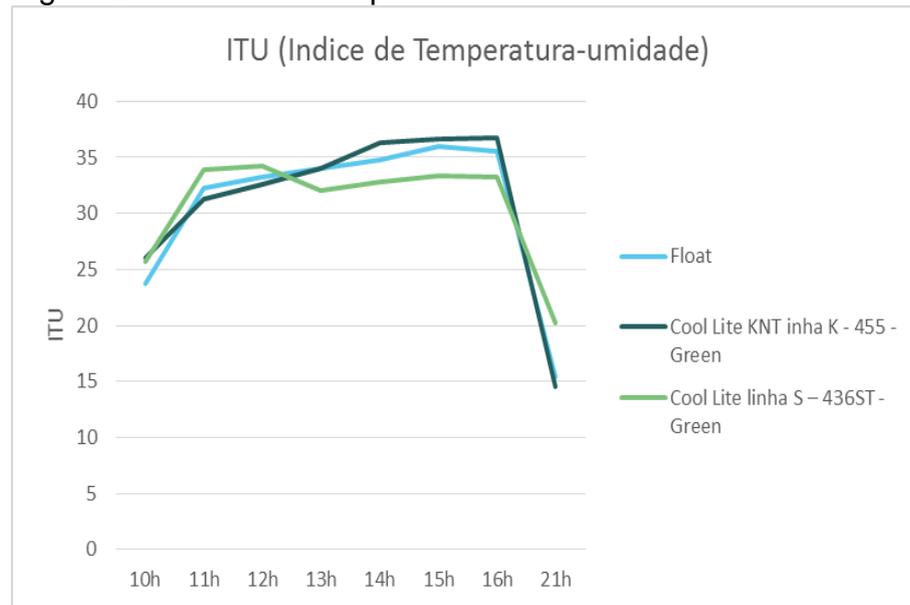
Figura 23 - Umidade Relativa Interna



Fonte: Elaborada pela autora.

Fazendo a relação do índice de temperatura-umidade (Figura 24), com a fórmula $ITU = T - 0,55 (1 - UR) (T - 14)$, obteve-se que todos os vidros apresentam valores acima de 25 numa média ao longo do dia, porém o vidro Cool lite linha S, apresenta valores menores quando comparados com os demais.

Figura 24 - Índice de temperatura-umidade dos vidros

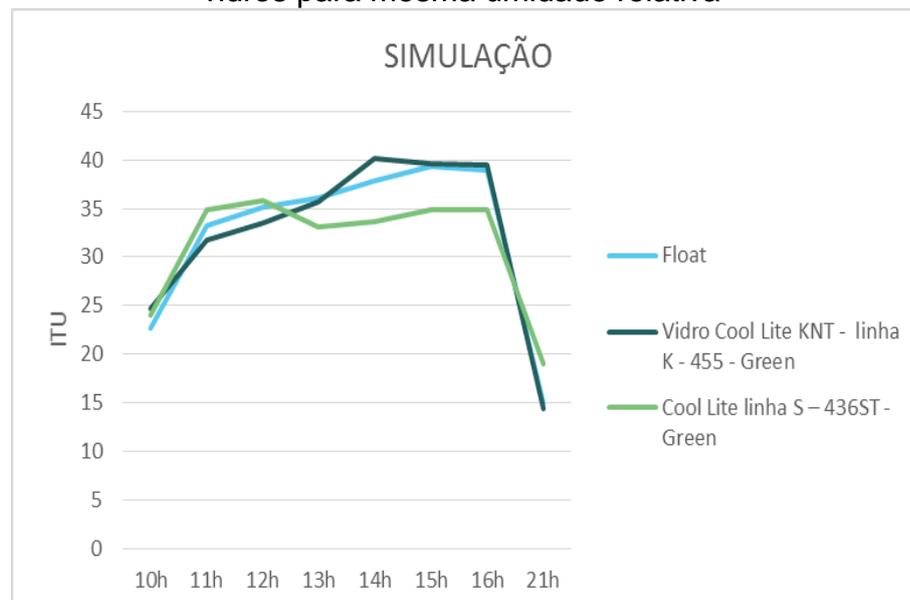


Fonte: Elaborada pela autora.

Simulou-se uma situação, onde a umidade relativa no ambiente interno fosse a mesma nos três tipos de vidros, onde o valor desta foi estabelecido através da média da umidade relativa nos três dias de medição, resultando em 29,95 %.

Na figura 25 pode-se observar que o valor máximo do ITU para o vidro cool lite linha S é em torno de 35°C, enquanto os demais vidros chegam a aproximadamente 40°C.

Figura 25 - Simulação do Índice de temperatura-umidade dos vidros para mesma umidade relativa



Fonte: Elaborada pela autora.

6 CONCLUSÃO

Conclui-se através desse trabalho que diante das grandes opções de vidros disponíveis no mercado da construção civil é válido durante a fase das escolhas de materiais, fazer uma busca com o intuito de escolher a melhor opção, não levando em conta somente os aspectos estéticos, mas também o que tenha a melhor finalidade para a edificação em questão de conforto térmico, melhor eficiência energética e conseqüentemente uma maior economia de energia.

Neste trabalho, onde se analisou três opções de vidros, pode-se constatar que dentre eles, o vidro laminado refletivo cool lite “linha S - 436ST-Green” de 4mm apresenta o melhor resultado quando comparados ao vidro float e o vidro cool lite KNT “linha K -455 –Green” ambos com 4 mm, considerando que este oferece a menor temperatura no interior do ambiente e o menor índice de calor e com isto a economia de energia quanto ao uso de aparelhos condicionadores de ar é melhor. Esta transmissão de calor foi 10% menor se comparada com o vidro float e 15% se comparada com o vidro cool lite linha K.

A opção por vidros refletivos também deve ser tomada com cautela, pois se a reflexão maior pode não ser na região espectral esperada para determinada finalidade. Os resultados mostram a necessidade do conhecimento das propriedades do espectro do vidro, para que este possa ser bem escolhido, conhecendo as necessidades da obra e as características técnicas do vidro, para que este ofereça um bom aspecto estético, boa incidência de luz solar e o melhor conforto ambiental no interior da edificação.

REFERÊNCIAS

ASSIS, R. M. C. **Estudo e caracterização de fachadas transparentes para uso na arquitetura**: ênfase na eficiência energética. 2002. 202 f. Texto – (Livre Docência) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

CARAM, R. M. et al. Estudo do ganho de calor em vidros planos e refletivos através de células-teste. In: ENCONTRO NACIONAL; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9; 5., 2007, Ouro Preto. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2007. p. 369-378.

CARDOSO, J. C. M. **Estratégias visando eficiência energética e conforto térmico incorporados aos Projetos de Edificações em Maringá-PR**. 2002. 203 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

CASTRO, A. P. A. S. et. al. Avaliação do desempenho térmico e ganho de calor solar de três tipos de vidros. In: ENCONTRO NACIONAL; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2005, Alagoas: ENCAC-ELACAC, 2005. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2005. p. 406-414.

CEBRACE. Produtos e Aplicações. **Cebrace**, c2015. Disponível em: <<http://www.cebrace.com.br/v2/>>. Acesso em: 04 maio 2015.

CORRÊA, L. R. **Sustentabilidade na construção civil**. 2009. 70 f. Monografia. (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - FIRJAN. **Relatório técnico de estudo de tendências tecnológicas na indústria de construção civil no segmento de edificações**. Rio de Janeiro, 2013.

CORNETET, M.C. **Recomendações para especificação de vidros em edificações comerciais na região climática de Porto Alegre-RS**. 2009. 168 f. Dissertação – (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

GLASSEC. Termos e Definições. **Glassecc**, c2015. Disponível em: <<http://www.glassec.com.br/pagina/termosedefinicoes/13>>. Acesso em: 10 set. 2015.

CONTA de luz volta a pesar e inflação em 12 meses é a maior desde 2003. **G1**, c2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2015/06/conta-de-luz-volta-pegar-e-inflacao-em-12-meses-e-maior-desde-2003.html>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

DONOSO, J. P. **Transferência de calor por radiação**. Universidade de São Paulo - Instituto de Física de São Carlos – IFSC. Disponível em:

<http://www.ifsc.usp.br/~donoso/fisica_arquitetura/10_radiacao_termica.pdf>. Acesso em: 12 set. 2015.

INATOMI, T.A.H. **Análise da eficiência energética do sistema de condicionamento de ar com distribuição com o piso em ambiente de escritório, na cidade de São Paulo, utilizando o modelo computacional Energyplus**. 2008. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2008.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW, 2004. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2015.

MASCARÓ, J. L. **O custo das decisões arquitetônicas**. 5. ed. Porto Alegre: Masquatro, 2010.

MICHELATO, R. **Avaliação do desempenho térmico de vidros reflexivos: estudo de caso em células-teste**. 2007. 226 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

PEGORIM, J. Umidade do ar x sensação de calor. **Clima Tempo**, 2013. Disponível em: <<http://www.climatempo.com.br/noticias/189625/umidade-do-ar-x-sensacao-de-calor/>>. Acesso em 07 nov.2015.

PINHEIRO, F. C. **Evolução do uso do vidro como material de construção civil**. 2007. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade São Francisco, Itatiba, 2007.

SETE desafios para a economia brasileira em 2015. **Folha de São Paulo**, São Paulo 19 fev. 2015. Mercado. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/asmais/2015/02/1589276-oito-desafios-para-a-economia-brasileira-em-2015.shtml>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

CONSELHO INTERNACIONAL PARA A PESQUISA E INOVAÇÃO EM CONSTRUÇÃO - CIB. **Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries: A discussion document**. Pretoria, 2002. Disponível em <http://www.cibworld.nl/website/priority_themes/agenda21book.pdf> Acesso em: 22/04/2015.

VEDOVELLO, C. A. S. **Gestão de projetos de fachadas**. 2012. 406 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2012.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MATO GROSSO DO SUL. **Departamento de Física**. Dourados, c2015. Cap. 2. Arquivos. Disponível em: <<http://fisica.uems.br/arquivos/fismeioamb/cap2-Radiacao.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Departamento de Física**. Curitiba, 1999.
Cap. 3. Notas de aula. Disponível em:
<<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap3/cap3-4.html>>. Acesso em: 12 out. 2015.