

---

### 3 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DE DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE CLIMATIZADOR EVAPORATIVO EM SALAS DE AULA

**Elisa Cristina de Barros Casaes**

Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Bahia. Mestrado em Energia pela Universidade Salvador. Professora das disciplinas de Desenho Técnico e Informática Aplicada do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia em Camaçari / BA

E-mail: [elisacasaes@gmail.com](mailto:elisacasaes@gmail.com)

**Victor Menezes Vieira**

Doutor e Mestre em Geologia Ambiental, Recursos Hídricos e Hidrogeologia pela Universidade Federal da Bahia e Engenheiro Ambiental pela Faculdade de Tecnologia e Ciências de Salvador. Atualmente é coordenador e professor no Programa de Pós-graduação em Energia (Especialização e Mestrado) e também leciona nos cursos de Engenharia (Eng. de Petróleo e Eng. Ambiental) da Universidade Salvador (UNIFACS).

#### RESUMO

A energia elétrica é um recurso essencial para a sociedade e o seu uso consciente e eficiente contribui para a minimização dos impactos econômicos, ambientais, sociais e culturais. A preocupação com o crescente aumento do consumo elétrico, tem impulsionado a busca por soluções eficazes. Neste contexto, o condicionamento de ar por resfriamento evaporativo - processo natural e energeticamente eficiente, que utiliza água como fluido de trabalho, pode ser uma alternativa aos condicionadores de ar convencionais, que têm alto consumo de energia. Este trabalho, originário da dissertação apresentada ao Mestrado em Energia da Universidade Salvador, tem como objetivo analisar, por meio de simulações computacionais, a viabilidade técnica para implantação de climatizadores evaporativos em salas de aula do Instituto Federal da Bahia (IFBA) - Campus Camaçari, visando o conforto térmico com o menor consumo de energia elétrica. Para tal, foram realizadas pesquisas bibliográficas e documentais, medições *in loco* das variáveis ambientais, além de experimento com simulações termoenergéticas por meio de um conjunto de *softwares* (*SketchUp*, *OpenStudio* e *EnergyPlus*). Os programas levam em consideração as características físicas da edificação e as condições climáticas da cidade de Salvador, cidade mais próxima de Camaçari, conforme recomendação da NBR 15575/2013. As simulações indicaram que o sistema proposto tem um ótimo desempenho energético. Entretanto, quanto à condição de conforto térmico apresentou baixo desempenho. Foi identificado, ao comparar as medições *in loco* e os resultados das simulações, que dados climáticos locais, reais e atualizados de data, temperatura e umidade do ar são determinantes para resultados precisos de desempenho térmico. O arquivo climático disponível, e utilizado, não possibilita a manipulação dessas variáveis. A ineficácia desses dados reproduz incertezas nos resultados. Simultaneamente foi observado a importância da aplicação das técnicas de arquitetura bioclimática para a melhoria do conforto térmico e da eficiência energética.

**Palavras-chave:** Consumo de Energia. Conforto Térmico. Resfriamento Evaporativo. Simulação Termo Energética.

## ABSTRACT

Electric energy is an essential resource for society and its conscious and efficient use contributes to the minimization of economic, environmental, social and cultural impacts. The concern with the growing increase in electricity consumption has driven the search for effective solutions. In this context, air conditioning by evaporative cooling - a natural and energy efficient process, which uses water as a working fluid, can be an alternative to conventional air conditioners, which have high energy consumption. This work, originating from the dissertation presented to the Master in Energy at the University of Salvador, aims to analyze, through computer simulations, the technical feasibility for implantation of evaporative coolers in classrooms of the Instituto Federal da Bahia (IFBA) - Campus Camaçari, aiming at thermal comfort with the lowest consumption of electric energy. To this end, bibliographic and documentary researches were carried out, in loco measurements of environmental variables, in addition to experiment with thermo-energetic simulations using a set of software (SketchUp, OpenStudio and EnergyPlus). The softwares take into account the physical characteristics of the building and the climatic conditions of the city of Salvador, the closest city to Camaçari, as recommended by NBR 15575/2013. The simulations indicated that the proposed system has an excellent energy performance. However, regarding the thermal comfort condition, it presented low performance. When comparing the measurements in loco and the results of the simulations it was identified that real and updated local climatic data of date, temperature and air humidity are determinants for accurate results of thermal performance. The climate file available, and used, does not allow the manipulation of these variables. The ineffectiveness of the data in these files reproduces uncertainties in the results. Simultaneously, it was observed the importance of the application of bioclimatic architecture techniques for the improvement of thermal comfort and energy efficiency.

**Keywords:** Energy consumption. Thermal comfort. Evaporative Cooling. Energy Term Simulation.

### 3.1 INTRODUÇÃO

Na busca por assegurar um provisão energético sustentável os países enfrentam um grave problema: o crescente aumento do consumo global de energia e da demanda por energia primária. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2018a), o consumo global de energia, já balanceado por ganhos na eficiência energética, aumentará mais de 25% até 2040.

No Brasil, o crescente consumo de energia elétrica corresponde ao aumento da renda da população, às elevadas temperaturas e aos baixos índices pluviométricos, que impulsionaram a utilização de equipamentos para climatização, a ponto de deslocar o horário de pico de consumo (EPE, 2014; BEN, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019).

O uso de equipamentos para climatização está estritamente relacionado às condições necessárias para um ambiente termicamente satisfatório às atividades e ocupações humanas. Entre essas condições satisfatórias situa-se a de conforto térmico, fator importante na construção da sustentabilidade, sobretudo em edificações, pois, através de seus estudos, evitam-se desperdícios com aquecimento e refrigeração.

Na busca da satisfação térmica nos ambientes a solução mais adotada tem sido o uso de condicionadores de ar por compressão a vapor (convencional), que tem como características um elevado consumo de energia elétrica, dificuldade de manutenção da qualidade de ar dos recintos, além de ser danoso ao ambiente por utilizar, em grande parte dos seus modelos, fluidos refrigerantes que agredem a camada de ozônio (MASIERO, 2006).

Desse modo, sabendo-se da necessidade em conter as demandas energéticas, que crescem proporcionalmente ao desenvolvimento tecnológico e ao crescimento econômico e populacional, é importante considerar alternativas sustentáveis para os sistemas de condicionamento de ar.

Como alternativa, econômica e de baixo impacto ambiental, utiliza-se o resfriamento evaporativo - processo natural que, embora não produza frio, como um sistema convencional de ar condicionado, pode diminuir a temperatura até uma zona de conforto térmico, com consumo mínimo de energia e sem agredir o meio ambiente.

O objetivo geral deste trabalho consiste em analisar, por meio de simulações computacionais, a viabilidade técnica de implantação de sistema de resfriamento evaporativo nas salas de aula do IFBA – Campus Camaçari, visando obter os índices adequados de conforto térmico, necessários ao desenvolvimento e bom aproveitamento das práticas pedagógicas, com baixo consumo de energia elétrica.

São também evidenciadas as características do sistema de resfriamento evaporativo quanto à eficiência energética e conforto térmico; identificadas as condições ambientais internas das salas de aula do IFBA – Campus Camaçari; e verificado, por meio de simulação computacional, a eficácia da aplicação de técnica de arquitetura bioclimática na melhora das condições térmicas de conforto das referidas salas.

O trabalho está organizado e sequenciado em cinco seções. A segunda trata da Fundamentação Teórica alicerçada em três subtemas: a) Energia, Meio Ambiente e Sustentabilidade – abordando a sustentabilidade, eficiência energética e o problema energético; b) Conforto Térmico – descrevendo a normalização existente, as variáveis de influência e as técnicas de arquitetura bioclimática; c) Resfriamento Evaporativo – fornecendo uma visão geral do sistema. A terceira seção descreve a Metodologia adotada no trabalho. A quarta seção trata dos Resultados e Discussões e a quinta apresenta as Considerações Finais.

## 3.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 3.2.1 Energia, meio ambiente e sustentabilidade

Na busca da sustentabilidade do desenvolvimento, a energia, responsável por dois terços das emissões globais de GEE, torna-se parte dos objetivos estipulados para que os países alcancem o desenvolvimento sustentável e não ultrapassem o limite estabelecido para elevação da temperatura, estabelecidos no Acordo de Paris (IEA, 2016).

#### 3.2.1.1 Sustentabilidade e Eficiência Energética

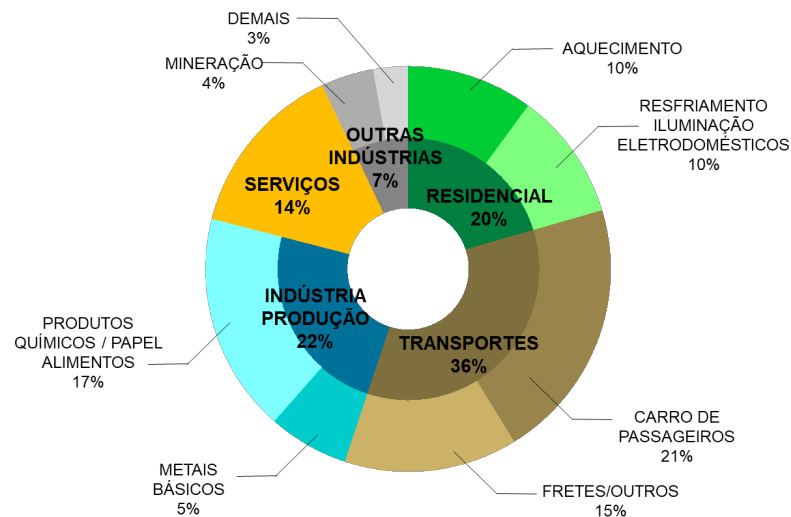
Após os dois choques do petróleo, em 1973 e 1979, o uso mais eficiente de energia ganhou maiores proporções e entrou definitivamente na agenda mundial, conforme tradução livre IEA (2014, p. 18), na sequência:

A visão tradicional da eficiência energética começou a evoluir de uma simples “redução de demanda de energia” para a de uma estratégia de fornecimento de melhorias sociais e econômicas concretas (IEA, 2014, p. 18).

Dados de uso final de energia dos setores que mais consomem energia e com potencial para evitar a demanda, tais como: Indústria, Transportes e Edificações (residencial, pública e comercial), são fundamentais para informar e monitorar a eficácia das políticas de eficiência

energética (IEA, 2018b). Em *Key World Energy Statistics* (IEA, 2019), o setor de Transportes destaca-se com a maior participação do consumo final de energia em 2017, representando quase um terço das emissões de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), conforme observado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Uso Final de Energia por Setor na IEA, Ano Base 2017



Fonte: Adaptado de Key World Energy Statistics 2019 (IEA, 2019).

Entretanto, quando se avalia a eficiência energética quanto ao aprimoramento e investimentos, os setores especificados revelam cenários diferentes. De acordo com os dados do *Energy Efficiency Market Report*, no ano de 2017 o setor de Edificações representa mais da metade do incremento (59%), seguido de Transportes (26%) e Indústria (15%) (IEA, 2018b).

No cenário brasileiro, desde 2015, os setores Industrial, Transportes e de Edificações, juntos, vêm representando mais de 79% do consumo final energético do país, como demonstrado na Tabela 1 (EPE BEM, 2015; 2016; 2017; 2018; 2019).

Tabela 1 - Uso Final de Energia por Setor no Brasil (Período: 2015 a 2019)

SETOR	2015		2016		2017		2018		2019	
	10 <sup>3</sup> tep	%	10 <sup>3</sup> tep	%	10 <sup>3</sup> tep	%	10 <sup>3</sup> tep	%	10 <sup>3</sup> tep	%
INDUSTRIAL	87.502	32,9	84.645	32,5	84.183	33	85.127	32,9	80.948	31,7
TRANSPORTE	86.312	32,5	84.037	32,2	82.651	32,4	84.553	32,7	83.658	32,7
RESIDENCIAL	24.786	9,3	24.951	9,6	24.851	9,7	24.972	9,7	25.245	9,9
COMERCIAL+PÚBLICO	12.607	4,7	12.562	4,8	12.425	4,9	12.480	4,8	12.611	4,9
SETOR ENERGÉTICO	27.453	10,3	27.765	10,7	26.279	10,3	26.018	10,1	28.705	11,2
AGROPECUÁRIA	11.209	4,2	11.487	4,4	10.291	4	10.450	4,0	10.439	4,1
NÃO ENERGÉTICO	15.995	6,1	15.237	5,8	14.752	5,7	15.059	5,8	14.122	5,5
	<b>265.864</b>		<b>260.684</b>		<b>255.432</b>		<b>258.659</b>		<b>255.728</b>	

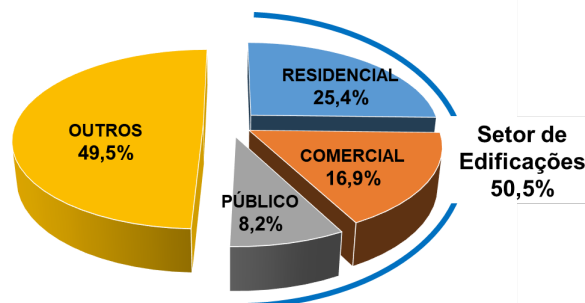
Fonte: Adaptado de EPE (BEM, 2015; 2016; 2017; 2018; 2019).

De uma maneira geral, constata-se um cenário promissor no mercado de eficiência energética com a efetivação de políticas e ações em conservação e eficiência energética. Todavia, tendo em conta que quanto maior o nível de atividade econômica, maior o uso da energia, há de se considerar o aumento das necessidades de consumo energético de uma população e de uma economia (SOUZA; GUERRA; KRUGER, 2011).

Em conformidade com a *Statistical Review of World Energy* (BP, 2019), o consumo global de energia primária cresceu 2,9% em 2018, quase o dobro da média de dez anos (1,5%), o mais rápido desde 2010, totalizando 13.864,90 milhões de tep. A matriz energética brasileira, em contraste com a matriz mundial, teve um avanço na participação de renováveis de 3,3% e queda de oferta interna de petróleo (-6.5%) (EPE; BEM, 2019).

A maior parte do consumo de energia elétrica brasileira destina-se às máquinas e motores do setor industrial. Porém, nos últimos anos, é o setor de Edificações que vem registrando um crescimento significativo (EPE, ©2020). Do total de 535,4 TWh do consumo nacional de energia elétrica em 2018, 270,38 TWh (50,5%) se destinaram às edificações, conforme Gráfico 2.

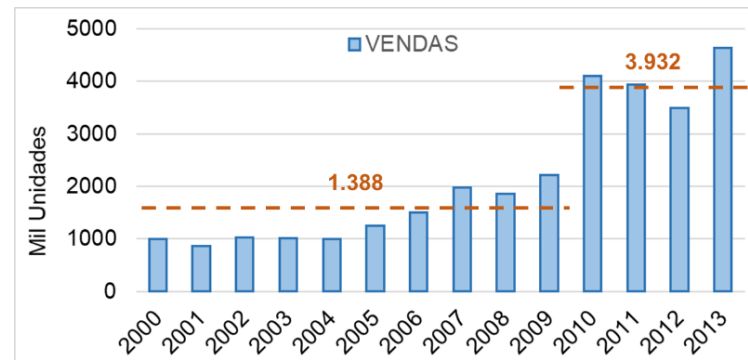
Gráfico 2 - Consumo Nacional Elétrico do Setor de Edificações - 2018



Fonte: Adaptado de EPE (BEM, 2019).

As elevadas temperaturas, os baixos índices pluviométricos e a melhora gradual da renda da população, facilitando a aquisição de eletrodomésticos, contribuíram para este aumento e impulsionaram o uso de equipamentos de climatização (EPE, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019). Fato corroborado pelos dados de vendas dos equipamentos de ar condicionado da Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento - ABRAVA (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Vendas de Condicionadores de Ar (Período: 2000 a 2013)



Fonte: ABRAVA (EPE, 2014).

Desde a crise energética do Brasil em 2001, mensurou-se que o horário de pico de consumo de energia no país ocorria das 18h00 às 20h00, em razão do uso de chuveiros elétricos. Contudo, de acordo com os últimos registros de produção de energia registrados pela Operadora Nacional do Sistema Elétrico (ONS), o pico foi deslocado para o período das 14h30min às 15h30min devido ao intenso uso do aparelho de ar condicionado (VETTORAZZO, 2014).

O uso de equipamentos para climatização está estritamente relacionado ao conforto térmico, conceito amplo que engloba desde os fatores relacionados a saúde física, até aqueles responsáveis pelo seu sentimento de satisfação do homem.

### 3.2.2 Conforto térmico

O conforto térmico é, em linhas gerais, uma sensação humana relacionada à subjetividade que depende de vários fatores associados aos processos: físicos, aqueles que determinam a troca de calor entre o corpo e o meio; fisiológicos, aqueles relacionados à aclimatação humana; e psicológicos, aqueles relacionados às diferenças na percepção e na resposta aos estímulos sensoriais, que variam de pessoa para pessoa (LAMBERTS *et al*, 2016).

Através das versões atuais das principais normas, ISO 7730 (2005) e ASHARE *Standard 55* (2014), pode-se avaliar as condições de conforto térmico para um grupo de pessoas de determinado ambiente, condicionados ou não, baseados nos modelos de avaliação: estático (homem como agente passivo) e adaptativo (homem como agente ativo) (TORRES, 2016).

No Brasil, as normas que referenciam alguns parâmetros de conforto térmico não incluem o modelo adaptativo e se restringem às condições de conforto térmico para ambientes comerciais que operam em uma faixa muito restrita de temperatura e velocidade de ar (ver Quadro 1) (LAMBERTS *et al*, 2016).

Quadro 1 - Parâmetros de Conforto Térmico da NBR 16401-2

	TEMPERATURA OPERATIVA INTERNA	UMIDADE RELATIVA DO AR	VELOCIDADE DE AR	
			Distribuição de Ar Convencional	Distribuição de Ar por Fluxo de Deslocamento
<b>PERÍODO QUENTE</b>	22,5°C a 25,5°C	65%	0,20 m/s	0,25 m/s
	23,0°C a 26,0°C	30%		
<b>PERÍODO FRIO</b>	21,0°C a 23,5°C	60%	0,15 m/s	0,20 m/s
	21,5°C a 24,0°C	30%		

Fonte: Adaptado de NBR 16401-2 (ABNT, 2008).

As principais variáveis, que interferem nas condições de conforto térmico, estão classificadas em: a) Ambientais (ou físicas), referentes às condições termo climáticas do ambiente; b) Pessoais (ou individuais), referentes às taxas metabólicas em função da atividade e do isolamento das roupas das pessoas; c) Outros fatores secundários como: idade, raça, sexo, peso e altura (LAMBERTS, 2013a).

A avaliação e a compreensão da correlação entre as variáveis e a satisfação térmica contribuem para proporcionar melhor qualidade dos ambientes construídos, sejam residências, escolas ou comércio, e conseqüentemente sobre a produtividade. (TORRES, 2016, p. 25-29).

Desse modo, o conforto ambiental é fundamental para uma boa condição do ambiente, e deve-se ter uma preocupação maior com o atendimento às necessidades do conforto térmico, responsável por uma grande parcela do conforto ambiental e de especial importância para o Brasil, predominantemente, caracterizado, por climas quentes e úmidos e com temperaturas bastante elevadas na maior parte do ano.

### 3.2.2.1 Conforto Ambiental e Arquitetura Bioclimática

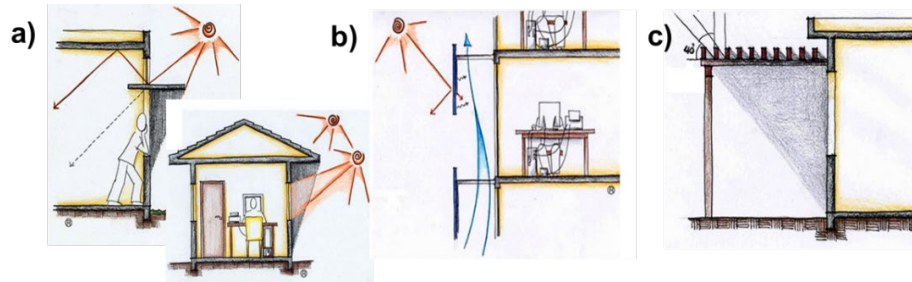
Ambientes construídos, baseados nos princípios de arquitetura bioclimática, adotam o clima como condicionante do projeto e priorizam a utilização de sistemas passivos visando à melhoria do conforto ambiental humano (FERREIRA, ©2018; TONIN, 2016). Dentre as técnicas de arquitetura bioclimática, destacam-se:

- Implantação/Orientação/ Iluminação Natural: Segundo Hertz (1998, *apud* TONIN, 2016, p. 52) com uma correta orientação de uma edificação no terreno pode-se obter uma diferença de até 3° C entre a temperatura interna e externa. A melhor orientação para a iluminação natural é a Norte, pois tem incidência mais frequente da luz solar direta, além de ser mais fácil sombrear as aberturas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 158).



- **Proteção Solar/Sombreamento:** Em locais onde o clima é predominantemente quente deve-se proteger a edificação, seja com vegetação ou elementos construtivos, da radiação solar direta evitando ganhos de calor (Figura 1) (FROTA; SCHIFFER, 2001).

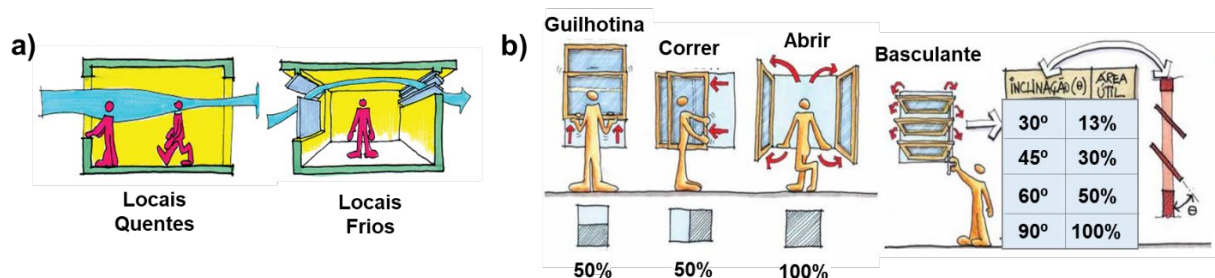
Figura 1 - Técnicas de Proteção / Arquitetura Bioclimática



Fonte: Adaptado de Projeteec (BRASIL, MMA, ©2018).

- a) Marquise ou beiral: semelhante a uma bandeja horizontal fixa; b) Brises: elementos construtivos, fixos ou móveis, horizontais ou verticais; c) Pergolados: tipo de cobertura vazada (MANZANO-AGUGLIARO *et al*, 2015).
- **Ventilação Natural:** Após o sombreamento, é a estratégia bioclimática mais importante para o Brasil. O posicionamento das janelas pode captar e circular a ventilação de forma adequada (Figura 2a), e deve-se considerar, ao escolher o tipo de abertura, a área útil de ventilação (Figura 2b).

Figura 2 - Esquema de Renovação do Ar e Área Útil de Ventilação / Tipo de Janela



Fonte: a) LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA (2014, p. 279); b) LAMBERTS (2013b, p. 25).

### 3.2.3 Resfriamento evaporativo

A preocupação com a eficiência energética e a qualidade do ar interno das edificações tem estimulado a busca por alternativas tecnológicas de baixo consumo energético e alto potencial de eficiência para condicionamento térmico, dentre as quais, destaca-se o Resfriamento Evaporativo (RE), também chamado de resfriamento adiabático, definido como

“um processo natural que consiste na redução de temperatura do ar e elevação de sua umidade relativa através de mecanismos simultâneos de transferência de calor e massa entre o ar e a água” (CAROSSI, 2006, p.6).

Energeticamente eficiente, não poluente e de baixo consumo energético, o RE têm ainda como atrativos a renovação constante do ar do ambiente e, as facilidades de instalação, manutenção, operação e de integração aos sistemas de condicionamento de ar já instalados. (CAMARGO, 2003, 2004; GARLET; CUNHA; PIZZUTTI, 2016; MASIERO, 2006).

Apesar dos muitos benefícios, destaca-se algumas limitações de aplicabilidade, tais como: exigências às condições de clima e ventilação cruzada e, a impossibilidade de regulação automática da temperatura (MASIERO, 2006). Entretanto, é importante ressaltar que a distribuição do ar no ambiente é tão importante quanto a temperatura mínima atingida pelo equipamento, por isso, o RE, como solução de climatização, deve ser tratado em termos de sensação térmica (REVISTA DO FRIO, 2010).

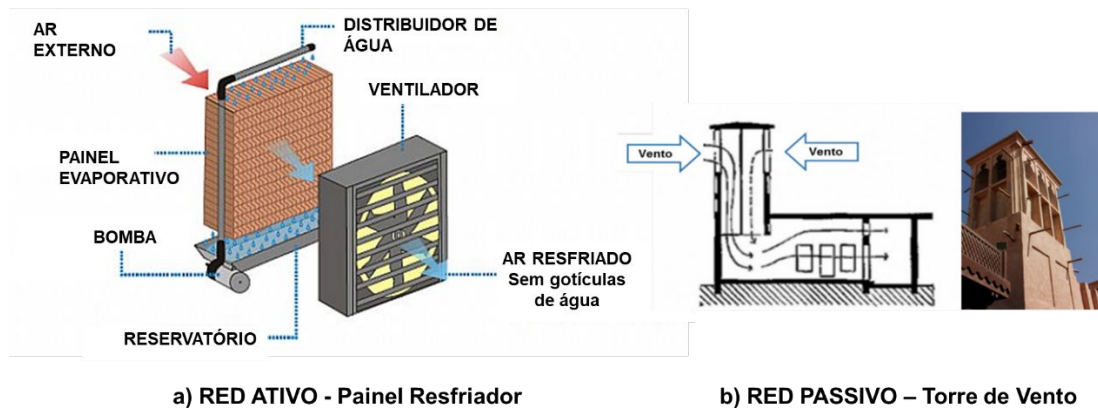
### 3.2.3.1 Classificação

Os sistemas de RE podem ser classificados quanto ao contato da água evaporada com o ar a ser resfriado e quanto à energia requerida para promover a evaporação (DUAN *et al*, 2012):

1) Resfriamento Evaporativo Direto (RED): quando o ar é resfriado por contato direto com uma superfície líquida, umidificando-o. Adequado apenas para climas secos e quentes, pois pode elevar a umidade até 80%, inadequada para o abastecimento de edifícios (LECHNER, 2009 *apud* AMER; BOUKHANOUF; IBRAHIM, 2015, p. 112).

Os RED podem ser: Ativos, quando utilizam uma pequena quantidade de energia elétrica, apenas o necessário para a circulação de ar (ventilador) e de água (bomba) ou Passivos, quando utilizam as condições ambientais para resfriar edifícios sem o uso de aparelhos mecânicos (Figura 3).

Figura 3 - Tipos RED Ativos

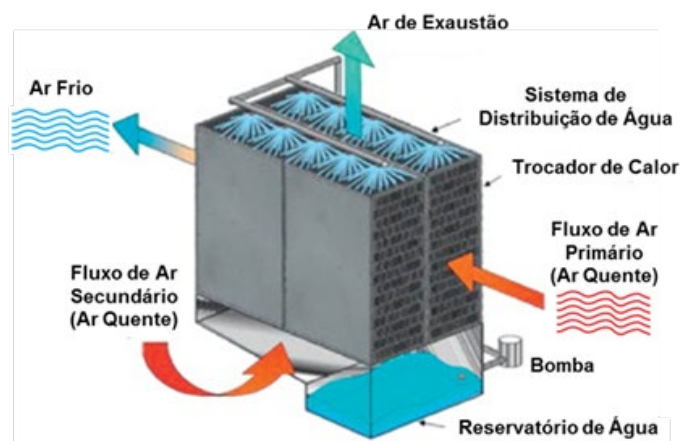


Fonte: a) josenilson.com.br (©2017); b) Adaptado de KING (2013).

2) Resfriamento Evaporativo Indireto (REI): quando se mantém o ar resfriado separado do processo evaporativo, sem alterar a umidade, e podem ser Ativos ou Passivos.

O REI Ativo utiliza um trocador de calor cruzado para resfriar, por evaporação, a corrente de ar externa (secundária) que, por sua vez, resfria a corrente de ar que será utilizada para condicionar o ambiente (primária), sem alterar a umidade. Esquema ilustrado na Figura 4. (CAMARGO, 2003, 2004, p. 70). O REI Passivo, utilizado como estratégia bioclimática, consiste em resfriar uma superfície do edifício usando a água, em forma de espelhos d'água sobre lajes na cobertura e/ou em cortinas de água sobre coberturas e fachadas.

Figura 4 - Esquema de Funcionamento REI Ativo



Fonte: DUAN e cols. (2018).

3) Resfriamento Evaporativo Misto: são aqueles que aproveitam as melhores características dos sistemas de refrigeração evaporativa em conjunto, direta e indiretamente, utilizando equipamentos mecânicos ou não, a fim de melhorar a eficiência e ampliar as

possibilidades de aplicação. Pode-se utilizar o sistema de dois estágios (indireto/direto, indireto/apoio ou direto/apoio), mais comuns, ou três estágios (indireto/direto/apoio).

A gama de tipos de climatizadores evaporativos é ampla devido a existência de distintas tecnologias, eficiência, materiais e processos com diferentes combinações. Para todos os arranjos é possível reduzir a energia consumida e melhorar a qualidade do ar.

### 3.2.3.2 Aplicação

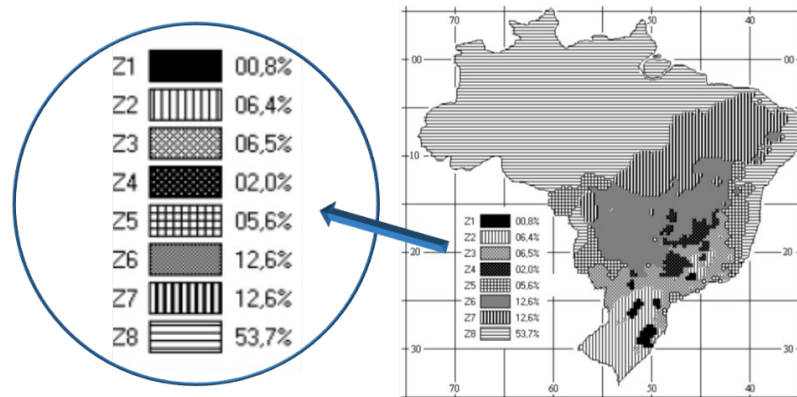
Segundo o relatório *Global Evaporative Cooler Market*, os climatizadores evaporativos vêm impulsionando o crescimento do mercado de resfriamento evaporativo avaliado em US\$ 7.892,2 milhões em 2019, podendo atingir US\$ 13.230 milhões em 2025 a uma taxa de crescimento anual composta de 13,8% (MARKET REPORTS WORLD, 2020).

No Brasil, o processo de RE é ainda pouco explorado no condicionamento de ar residencial /comercial, porém, largamente utilizado em áreas industriais com torres de resfriamento de água e lavadores de ar e, em ambientes rurais: em abrigos de animais, armazenamento de produtos hortifrutigranjeiros e no cultivo de plantas (CAMARGO, 2003, 2004; MASIERO, 2006).

Devido as condições climáticas regionais, a utilização dos sistemas diretos encontra-se limitada, pois eles são mais adequados quando a umidade é de 60% ou menos. Os sistemas indiretos e mistos são mais indicados, pois podem obter conforto em uma faixa mais ampla (CAMARGO, 2003, 2004; MASIERO, 2006).

A ABNT por meio da NBR 15220/2005 apresenta uma metodologia para avaliação do Desempenho Térmico de Edificações e, estabelece o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (Figura 5). São oito diferentes zonas caracterizadas pela posição geográfica e pelas variáveis climáticas que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto.

Figura 5 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro



Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005).

Para cada uma das oito zonas tem um conjunto de recomendações de aspectos técnico-construtivos e de estratégias de condicionamento térmico passivo que visam otimizar o desempenho térmico das edificações. Dentre as estratégias é sugerido o uso de refrigeração evaporativa em três zonas, que correspondem a 37,5% do território nacional (Figura 6).

Figura 6 - Zonas Bioclimáticas Indicadas para o Uso de RE



Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005).

Ressalta-se, que esse zoneamento fornece uma indicação aproximada de adequação e que, cada zona pode conter áreas melhores ou piores que sua designação para a zona sugerida. Portanto, são necessários dados climáticos locais, reais e atualizados, de temperatura e umidade do ar, para determinar a estratégia de maneira mais fiel.

### 3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.3.1 Caracterização do objeto de estudo

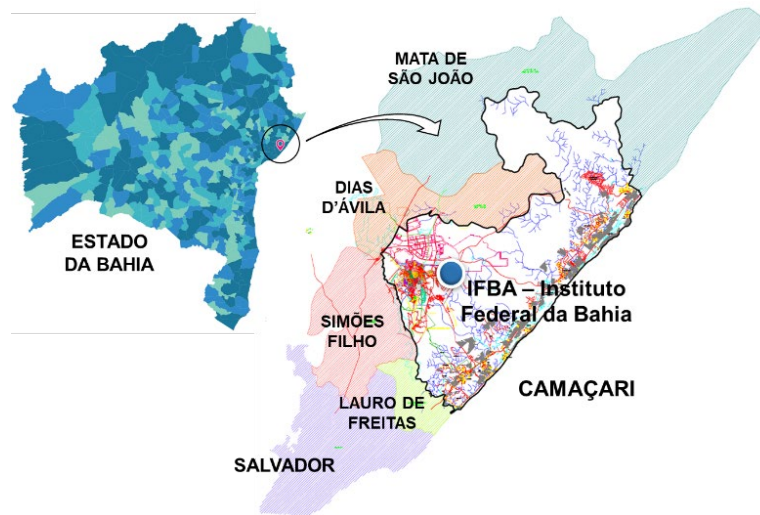
Conforme recomendação da NBR 15575-1 (ABNT, 2013), foram selecionadas como objeto de estudo as salas de aula 03 e 06, ambientes em condições mais críticas do ponto de

vista térmico, com fachadas orientadas, respectivamente, para o Nordeste (sol da manhã) e para o Sudoeste (sol da tarde), do Bloco B do Pavilhão Sede do IFBA / Campus Camaçari, .

### 3.3.1.1 Dados Geográficos e Climáticos

A cidade de Camaçari, distante 41 km de Salvador, possui 784,66 km<sup>2</sup> de área territorial e 42 Km de faixa costeira. A Figura 7 ilustra a localização do município e da edificação de referência, IFBA – Campus Camaçari, distante 23 km da zona costeira e à 4,5 km do polo industrial, no Bairro do Limoeiro (Prefeitura Municipal de Camaçari, ©2018).

Figura 7 - Localização do Município de Camaçari e do IFBA



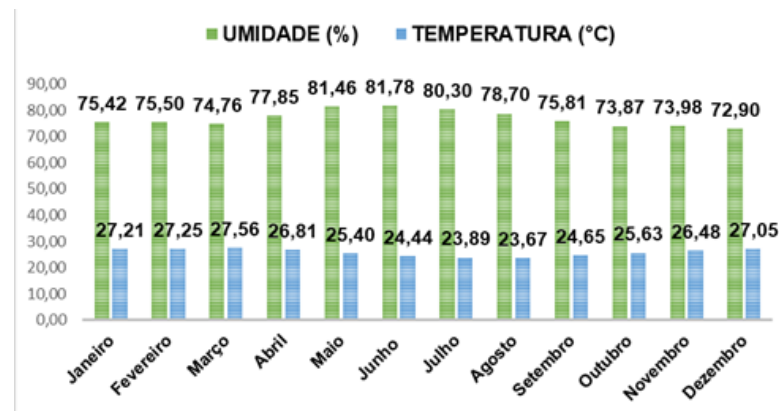
Fonte: Acervo Projetos IFBA / Campus Camaçari (2009).

Segundo a classificação climática de *Köppen-Geiger*, o clima é tipo Af - tropical, com temperatura média de 24,9°C e precipitação média anual de 1710 mm. A variação sazonal é moderada na sensação de umidade, com nível de conforto considerado abafado durante onze meses do ano, com ventos dominantes na orientação Sudeste (*Weather Spark*, ©2018).

No Gráfico 4, observa-se a média mensal de temperatura e umidade do Município de Camaçari, no período de 2012 a 2016. Os registros diários, de temperatura e umidade, são da estação Gravatá, distante 11 Km do IFBA e foram cedidos pela CETREL, empresa responsável pelo gerenciamento ambiental e monitoramento do ar do Polo Industrial de Camaçari.



Gráfico 4 - Média Mensal Variáveis Ambientais (Período: 2012-2016)



Fonte: Adaptado de CETREL (2012 a 2016).

De acordo com o Anexo A da NBR 15220 (ABNT, 2005), Camaçari está localizada na zona bioclimática 8, que apresenta, como estratégia de condicionamento térmico passivo, a ventilação cruzada permanente através de grandes aberturas, bem como o sombreamento de fachadas e paredes.

Ressalta-se, mais uma vez, que esse zoneamento fornece uma indicação aproximada de adequação e que, cada zona pode conter áreas melhores ou piores. Para o Município de Camaçari, por exemplo, deve-se levar em conta os 42 Km de faixa litorânea, ao considerar dados de temperatura e umidade do ar.

### 3.3.1.2 Dados Construtivos e de Utilização

A sala de aula tipo, com medidas 5,85m x 10,05m, totalizam uma área de 58,79 m<sup>2</sup>, com pé direito de 3,00m de altura, piso granilite na cor cinza, teto com pintura PVA látex branco, paredes com revestimento cerâmico na cor branca, a 1,30m do piso, e pintura PVA látex branco, porta em madeira com visor em vidro liso e transparente. As esquadrias são em alumínio com vidro liso e transparente em dois modelos: janelas de correr (0,90m de altura com peitoril à 1,20m do piso) e, basculantes (0,50m de altura com peitoril à 1,60m do piso), totalizando uma área de abertura de 7,80 m<sup>2</sup>. O posicionamento das salas no Pavilhão Sede e a disposição do layout estão ilustrados na Figura 8.

Figura 8 - Posicionamento e Disposição do Layout das Salas 03 e 06



Fonte: Adaptado do Acervo Projetos IFBA / Campus Camaçari (2009).

Cada sala de aula tipo é ocupada por 45 alunos, no máximo, e um professor. A utilização do espaço acontece de acordo com calendário acadêmico, média de 210 dias letivos (sete meses), em três turnos: manhã (7h00 às 12h30), tarde (13h00 às 18h15) e noite (18h45 às 22h00). O Quadro 2 representa as cargas dos equipamentos que compõem as salas.

Quadro 2 - Inventário de Cargas das Salas de Aula

LOCAL	EQUIPAMENTO	QUANT.	POTÊNCIA (W)	POTÊNCIA TOTAL (W)
SALA DE AULA TIPO	LÂMPADAS	16	32	512
	REATOR	8	64,77	518,16
	VENTILADOR	4	160	640
	NOTEBOOK	1	90	90
	PROJETOR DE IMAGENS	1	561	561
	ESTABILIZADOR	1	800	800

Fonte: Adaptado do Anexo 1 - Projeto Climatização Sustentável IFBA / Campus Camaçari (IFBA, 2016).

### 3.3.1.3 Variáveis Ambientais Medidas

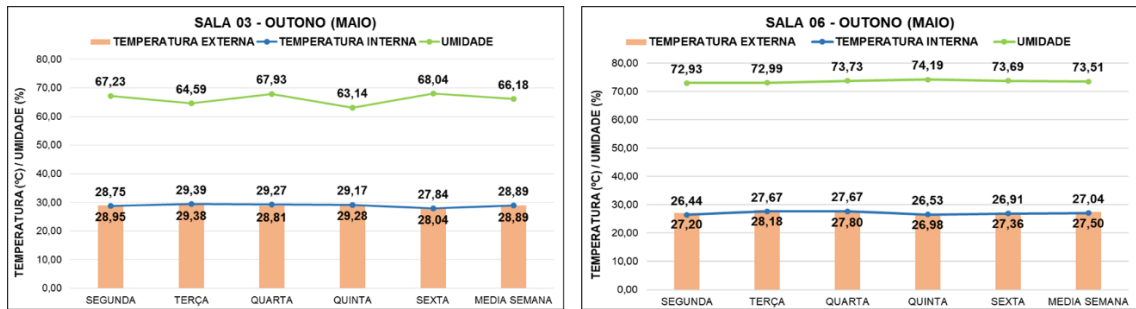
Para o levantamento de dados de temperatura interna e externa e a umidade relativa do ar foi utilizado o equipamento digital termohigrômetro, da marca *Minipa*, modelo MT-241, e seguidas as recomendações da NBR 16401-2 (ABNT, 2008).

As medições foram realizadas com o medidor em cima da prancheta da cadeira universitária, no centro da zona ocupada, sob condições de utilização usuais, de segunda a sexta, das 8h00 às 18h00, durante três períodos de estações de maior estresse térmico: 1º Período: Outono, entre os dias 08 de maio e 02 de junho de 2017 (Gráfico 5); 2º Período: Primavera,



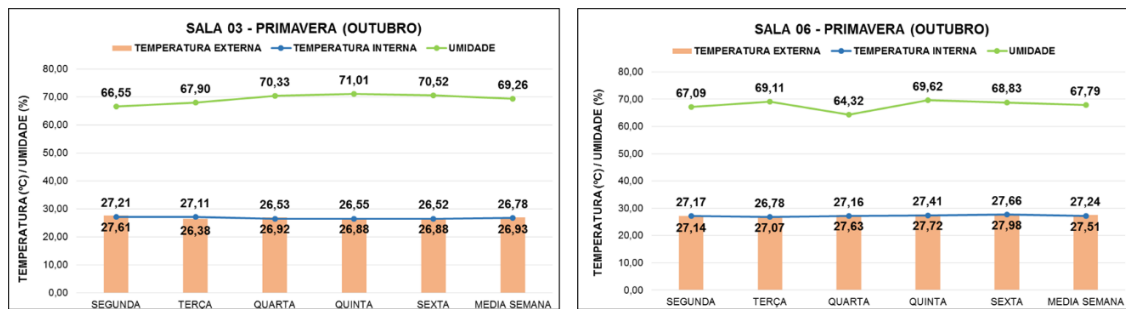
entre os dias 02 de outubro e 27 de outubro de 2017 (Gráfico 6); 3º período: Verão, entre os dias 29 de janeiro e 23 de fevereiro de 2018 (Gráfico 7).

Gráfico 5 - Valores Médios das Variáveis Térmicas - 1º Período / Outono



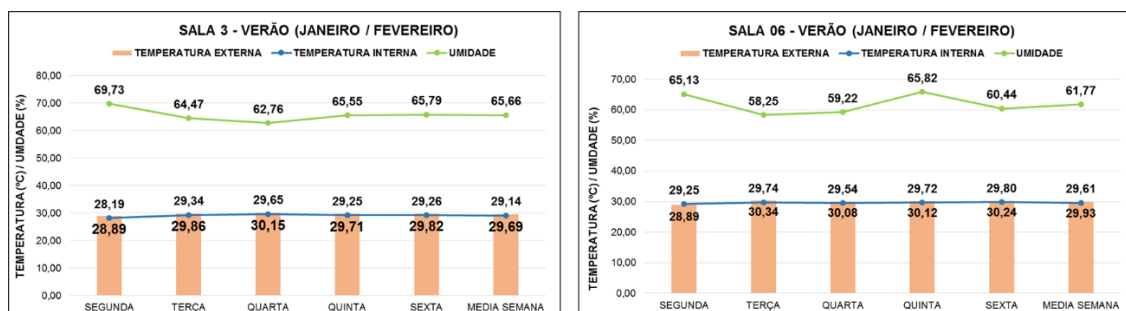
Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 6 - Valores Médios das Variáveis Térmicas - 2º Período / Primavera



Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 7 – Valores Médios das Variáveis Térmicas - 3º Período / Verão



Fonte: Elaboração própria.

Os dados levantados apresentados corroboram com a ideia de que as medições *in loco* das variáveis ambientais (temperatura e umidade) diferem daquelas registradas pela estação Gravatá/CETREL (expostas anteriormente), ao se considerar os 42 Km da faixa litorânea do município e a distância de 23 km, desta ao objeto de estudo. Esta comparação pode ser melhor visualizada na Tabela 2.

Tabela 2 - Comparativo das Variáveis Ambientais Levantadas

DADOS	OUTONO (MAIO)		PRIMAVERA (OUTUBRO)		VERÃO (JAN / FEV)	
	TEMP °C	UMD %	TEMP °C	UMD %	TEMP °C	UMD %
ESTAÇÃO GRAVATÁ	25,40	81,46	25,63	73,87	27,23	75,46
OBTIDOS SALA 03	28,89	66,18	26,93	69,26	29,69	65,66
OBTIDOS SALA 06	27,50	73,51	27,51	67,79	29,93	61,77

Fonte: Elaboração própria.

Percebe-se, em todas as estações, que os valores obtidos de temperatura das salas de aula são maiores, e os de umidade são menores, em relação aos valores apresentados na estação Gravatá.

### 3.3.2 Simulação Computacional

Dentre as diversas ferramentas, optou-se pelo *software EnergyPlus*: programa de código aberto e livre de licença, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), e recomendado pela NBR 15575 (ABNT, 2013). O *EnergyPlus* é um mecanismo de simulação projetado para ser um elemento dentro de um sistema de programas que incluem uma interface gráfica do usuário para descrever o edifício a ser modelado (geometria, materiais construtivos, sistemas mecânicos e etc.) e o ambiente que o rodeia (arquivo climático) (ENERGYPLUS, ©2019).

#### 3.3.2.1 Programas Utilizados

Para facilitar a execução da simulação, a ferramenta de modelagem aplicada neste trabalho, e mais utilizada e aceita no meio acadêmico, contempla um conjunto de softwares, conforme ilustra a Figura 9.

Figura 9 - Programas Utilizados na Simulação Computacional



Fonte: Elaboração própria.

### 3.3.2.2 Modelagem

Considerando as diretrizes da NBR 15575-1 (ABNT, 2013), para a simulação foi selecionada a sala de aula 06 com aberturas exposta para o Sudoeste (sol da tarde) para a condição de verão. Selecionado o ambiente, iniciou-se a modelagem. Nesta fase, foram utilizados os atributos padrões do *plug-in OpenStudio e do SketchUp* para configurar o tipo de espaço e a zona climática. Como não é possível modificar estes atributos, foram selecionados o *Office Conference*, por tratar-se de um espaço similar à sala de aula, e a zona climática CZ1-3, Flórida/EUA, que mais se aproxima do clima do Brasil (OPENSTUDIO, ©2019).

Na sequência, essa modelagem é importada para o *software OpenStudio* para modelização de vários aspectos da edificação, já especificados na caracterização do objeto de estudo, com o preenchimento dos campos da guia interativa.

No Campo 1: Local, define-se o arquivo climático do local a ser estudado. Na falta de dados da cidade de Camaçari, e seguindo as recomendações da NBR 15575-1 (ABNT, 2013), utilizou-se os dados climáticos de Salvador, cidade com características climáticas semelhantes e da mesma zona bioclimática (Zona 8).

No Campo 2: Agendamentos, define-se os cronogramas de ocupação e período de funcionamento das atividades, de iluminação e de equipamentos. Para a parametrização do nível de ocupação e período de funcionamento foi considerado o calendário acadêmico de 2017, excluídos os períodos: 01 a 29/janeiro (1º período de férias); 10 a 24/julho (2º período de férias); e 20 a 31/dezembro (recesso natalino).

No Campo 3: Construções, configuram-se os materiais de construção através das suas propriedades térmicas. Para a caracterização dos componentes construtivos, adequados à realidade brasileira, foram consideradas as bibliotecas da NBR 15220 (ABNT, 2005) e do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LabEEE da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (ORDENES e cols., 2003; WEBER e cols., 2017).

No Campo 4: Cargas, configuram-se as cargas internas que influenciam as condições termo higrométricas, como o calor liberado pelos seus ocupantes, pelos sistemas de iluminação e equipamentos elétricos instalados.

Nos Campos 5 a 7, visualiza-se todos os dados do modelo (histórico) para revisão e/ou edição. Nos Campos 8 e 9, inclui-se uma superfície de sombreamento e carga de aquecimento e/ou resfriamento e, nos Campos 10 a 14, define-se as variáveis de saída para execução das simulações e resumo dos resultados.

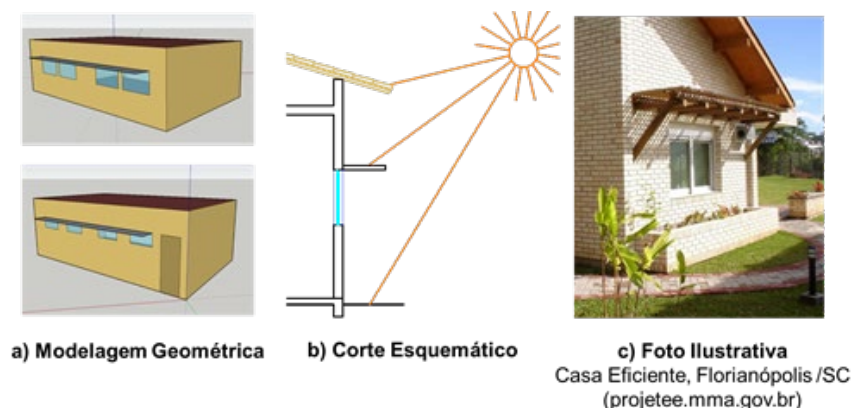
### 3.3.2.3 Processo de Simulação

Considerando as mesmas condições, descritas na modelagem, foram realizadas quatro simulações da seguinte forma: Simulação 1: projeto base que retrata as condições atuais; Simulação 2: aplicação de sombreamento nas fachadas com esquadrias; Simulação 3: aplicação de sistema de resfriamento evaporativo misto de dois estágios indireto/direto; e Simulação 4: aplicação de sistema de condicionamento de ar tipo VRF (fluxo de refrigerante variável).

#### 3.3.2.3.1 Utilizando Estratégia de Arquitetura Bioclimática

Para a Simulação 2 foi proposta uma superfície de sombreamento, recomendada pela NBR 15220 (ABNT, 2005), que evita ganhos de calor através da radiação solar e impede o aumento da temperatura interna (Figura 10).

Figura 10 - Esquema da Superfície de Sombreamento Proposta: Brise Horizontal



Fonte: Elaboração própria.

#### 3.3.2.3.2 Inserindo Sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado - AVAC

Para validação da alternativa proposta foi adicionado dois modelos de sistema AVAC, definidos individualmente, considerando os parâmetros dimensionais determinado pelo programa *EnergyPlus*: a) Para a Simulação 3, um sistema misto de dois estágios indireto / direto combinados com ventilador de ar constante, colocados em série no *loop* de fornecimento de ar; b) Para a Simulação 4, configurou-se o sistema de climatização VRF, sistema central *multi-split*, selecionado por apresentar menor consumo de energia, aproximadamente 37%, em comparação à equipamentos *split* convencionais, conforme pesquisa bibliográfica.

### 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base no referencial teórico, nos dados coletados e nas simulações realizadas, a análise dos resultados é apresentada em quatro etapas.

#### 3.4.1 Etapa 1: Implantação da Edificação

Para essa primeira etapa, foram analisadas algumas das principais técnicas de arquitetura bioclimática, conforme sumarizadas na sequência:

a) Orientação solar - implantação no eixo noroeste/sudeste desfavorece a melhor orientação; a orientação no eixo leste/oeste minimiza a exposição do sol em até 3°C entre temperatura interna e externa, como já ressaltado anteriormente;

b) Ventilação / Iluminação natural - o posicionamento das aberturas para ventilação, desfavorece a orientação dos ventos predominantes; janelas não possuem dimensões grandes, como recomenda a NBR 15220 (ABNT, 2005); e como são do tipo de correr e tipo bascula, possuem apenas 50% de área efetiva de ventilação/iluminação; a diferença de altura entre elas, em relação à altura do piso, de correr à 0,90m e tipo bascula à 1,20m, também desfavorece a ventilação cruzada, que deve ser na altura dos corpos;

c) Proteção solar - inexistência de dispositivos de sombreamento; locais onde o clima é predominantemente quente deve-se proteger, principalmente, a fachada oeste.

Constata-se que as condições de conforto ambiental do espaço edificado não estão adequadas e não contribuem com a eficiência energética das edificações. O projeto arquitetônico não contempla soluções passivas e não respeita as recomendações conforme as condições climáticas da região.

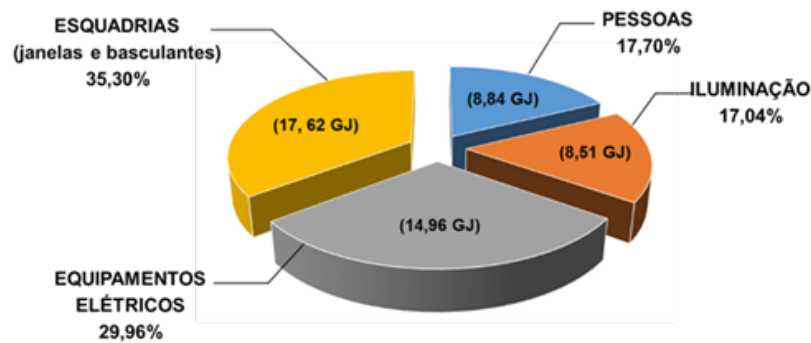
#### 3.4.2 Etapa 2: Condições de Conforto Térmico

Para verificação de conforto térmico foram avaliadas as temperaturas encontradas no levantamento *in loco* no 3º período (Verão), Gráfico 8 - sala 06, de modo a compará-las à faixa ideal de conforto térmico, estipulada para o verão entre 22,5°C e os 26,0°C (Tabela 2, NBR 16401-2 (ABNT 2008)). Constatou-se que o valor médio da temperatura interna encontrada de 29,61°C ultrapassa, mais de 3°C, o limite superior de temperatura de conforto térmico estipulado pela NBR (26°C).

### 3.4.3 Análise de Carga Térmica

Sabe-se que a previsão de carga térmica é fundamental para a melhoria no equilíbrio térmico e redução no consumo de energia. Assim, buscou-se na Simulação 1, que retrata as condições atuais, a contribuição da carga térmica da edificação (Gráfico 8).

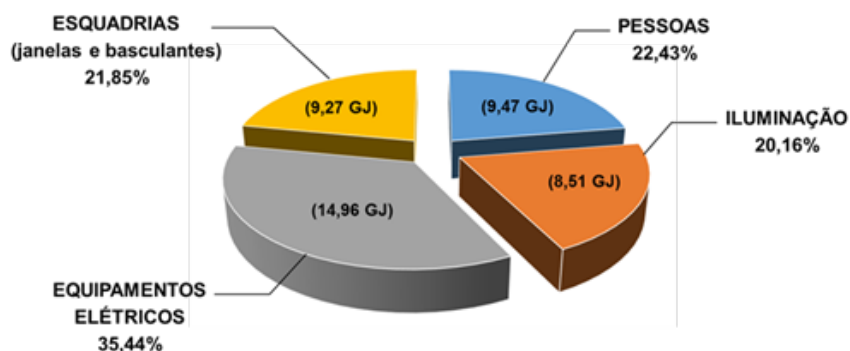
Gráfico 8 - Mapa Anual de Carga Térmica (GJ) - Simulação 1



Fonte: Elaboração própria.

Nota-se a elevada carga térmica das esquadrias (janelas e basculantes), correspondente a 35,30% do total. Em seguida, considerando a Simulação 2, em que foi adicionada uma superfície de sombreamento, buscou-se, mais uma vez, a contribuição da carga térmica da edificação para confrontar os valores e verificar o alcance, no que se refere à utilização de brises comprovadamente eficientes (Gráfico 9).

Gráfico 9 - Mapa Anual de Carga Térmica (GJ) - Simulação 2



Fonte: Elaboração própria.

Com a inserção de brises horizontais nas janelas e basculantes, nota-se a redução de 47,40% do cálculo da carga térmica total das esquadrias, que diminuiu 8,35 GJ.

Nota-se também, um pequeno aumento (7%) da carga térmica total das pessoas de 0,6 GJ. Este fato se deve ao posicionamento do dispositivo de proteção que provoca um pequeno impacto na movimentação do ar, e conseqüente aumento da temperatura superficial dos corpos. Porém, esta situação é facilmente contornada, com o reposicionamento dos brises à 30 cm da edificação, para permitir melhor ventilação.

De uma maneira geral constata-se que técnicas de arquitetura bioclimática apresentam resultados positivos e devem ser consideradas simultaneamente.

### 3.4.4 Avaliação de Implantação de Sistema RE / VRF

Nas Simulações 3 e 4, foram analisados o consumo de energia elétrica da edificação, quando da utilização de cada sistema de climatização inserido, bem como análise das horas de desconforto térmico. Na Tabela 3 são apresentados os resultados numéricos do consumo energético para cada sistema adotado.

Tabela 3 - Consumo Energético por Sistema de Climatização Simulado

USO FINAL (GJ)	CONDIÇÃO ATUAL S1	BRISSES (SOMBREAMENTO) S2	SISTEMA DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO S3	SISTEMA DE AR VRF S4
ILUMINAÇÃO INTERIOR	8,51	8,51	8,51	9,22
RESFRIAMENTO	0,00	0,00	5,11	55,46
EQUIPAMENTOS INTERIOR	14,96	14,96	14,96	16,20
VENTILADORES	14,32	9,63	14,32	9,63
<b>TOTAL</b>	<b>23,48</b>	<b>23,48</b>	<b>42,90</b>	<b>90,51</b>

Fonte: Elaboração própria.

Verifica-se que o sistema de RE apresenta uma demanda cerca de três vezes e meia menor que o sistema de condicionador de ar VRF. Percebe-se também que com a climatização realizada por resfriador evaporativo, a iluminação e os equipamentos internos refletem um menor consumo de energia, isso se deve à necessidade dos condicionadores de ar VRF por ambientes fechados, que por sua vez exercem influência na carga térmica. Desse modo, do ponto de vista econômico, o sistema composto por resfriador evaporativo é mais interessante.

Com base na faixa operativa de temperatura da ASHRAE Standard 55, que define o intervalo 17,5°C a 31,5°C como zona de conforto, o programa EnergyPlus calcula as horas de desconforto durante o ano. Para o termostato do sistema de refrigeração foi considerada a configuração padrão (temperatura de 24°C).



No total foram simuladas 8.760 horas e para a edificação nas condições atuais (Simulação 1) os dados obtidos indicam que o número de horas de desconforto foi de 3.345 horas. O melhor desempenho ocorreu na Simulação 4, o sistema VRF proporcionou uma melhoria de 93%, podendo ser atendida totalmente (100%) com ajuste do *setpoint*. Já na Simulação 3, o sistema de RE proporcionou uma melhoria de 18%.

### 3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através desta pesquisa apresentou-se o sistema de resfriamento evaporativo como alternativa, econômica e ecológica, aos condicionadores de ar tradicionais, com vistas em obter os índices adequados de conforto térmico, nas salas de aula do IFBA – Campus Camaçari.

Para tanto, com base no referencial teórico e nos dados coletados *in loco*, foi constatado que as condições de conforto ambiental do espaço edificado não estão adequadas e não contribuem com a eficiência energética das edificações, pois o projeto arquitetônico não contempla soluções passivas e não respeita as recomendações normativas. Em relação ao conforto térmico, o valor médio encontrado de 29,61°C ultrapassa mais de 3°C o limite da faixa ideal de conforto térmico, confirmando o desconforto e a necessidade de intervenção.

Para as demais análises, carga térmica e implantação do sistema de resfriamento evaporativo, o conjunto de *softwares* utilizado na pesquisa permitiu realizar simulações computacionais que forneceram informações interessantes sob o aspecto de eficiência energética, que podem embasar o processo de tomada de decisões em projetos, a destinação de recursos para aquisição de equipamentos e a redução de custos operacionais.

Com a Simulação 1 (condições atuais) e a Simulação 2 (aplicação de brises, estratégia de condicionamento térmico passivo) buscou-se a contribuição da carga térmica gerada no interior da edificação, principal fator para medidas de eficiência energética, para confrontar os valores e verificar o alcance, no que se refere à utilização de elementos construtivos bioclimáticos. Observou-se a redução de 47,40% do cálculo da carga térmica total das esquadrias, constatando-se a eficiência da técnica de sombreamento e a importância da arquitetura bioclimática na melhoria da qualidade do ambiente interno.

Com a Simulação 3 (resfriamento evaporativo misto indireto/direto) e a Simulação 4 (condicionamento de ar VRF) buscou-se a validação da alternativa proposta, bem como comparativo de consumo energético. Os resultados mostraram que do ponto de vista da eficiência energética, o sistema proposto apresenta um consumo de energia muito inferior (três vezes e meia) ao sistema de condicionamento de ar VRF. Todavia, no que se refere à condição



de conforto térmico, apresentou baixo desempenho, com 18% de contribuição em horas de conforto.

É evidente que o desempenho térmico e energético de um edifício pode ser avaliado através da simulação computacional. Porém, para obter a confiabilidade dos resultados é necessária a inserção correta de alguns parâmetros de influência direta no desempenho térmico. Além dos atributos de espaço e zona climática, destaca-se as variáveis do *design day* e o arquivo climático. O programa utilizado não proporciona a manipulação desses parâmetros a fim de configurar a condição real de estudo.

Dados climáticos locais, reais e atualizados de data, temperatura e umidade do ar, desconsiderados pela NBR 15575 (ABNT, 2013), são determinantes para alterar resultados das simulações, influenciando a análise.

Ressalta-se, ainda, a importância do caráter da subjetividade que envolve o conceito de conforto humano. Fatores físicos, fisiológicos e pessoais podem determinar o índice de satisfação do usuário em relação às condições ambientais. Portanto, para comprovar a eficiência da técnica de RE para obtenção do conforto humano, tais fatores, devem ser levados em consideração, em futuros estudos experimentais.

A literatura consultada no período de 2016-2018, juntamente com os resultados das simulações, sugere que a utilização conjunta do RE com equipamentos de ar condicionados se apresenta como alternativa, alterando a operação do equipamento de acordo com os requisitos de conforto térmico ao longo do tempo. Ou ainda, a ação conjugada entre os efeitos do RE e as técnicas de arquitetura climática, comprovadamente eficientes, de forma integrada.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15220:** Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 16401-2:** Instalações de ar condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-1:** Edificações Habitacionais - Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

AMER, O.; BOUKHANOUF, R.; IBRAHIM, H.G. A Review of Evaporative Cooling Technologies. **International Journal of Environmental Science and Development**, v. 6, n. 2, p.110-117, 2015.

ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers **Standard 55-2013**. Thermal environmental conditions for human occupancy. Inc. Atlanta, GA, 2014.

BRASIL. MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Projeteee - Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. **Estratégias Bioclimáticas**. ©2018. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/estrategias-bioclimaticas/>. Acesso em: 6 maio 2018.

BP. British Petroleum. **BP Statistical Review of World Energy**. Londres, 2019.

CAMAÇARI. Prefeitura Municipal de Camaçari. Publicação Eletrônica. **Dados Gerais**. ©2018. Disponível em: <http://www.camacari.ba.gov.br/municipio-de-camacari/#dados-gerais>. Acesso em: 3 maio 2018.

CAROSI, G. A. B. **Resfriamento evaporativo**: estudo do potencial de sua aplicação no Brasil. 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, 2006.

CAMARGO, J. R. Resfriamento evaporativo: poupando a energia e o meio ambiente. **Revista Ciências Exatas**, Taubaté, v. 9/10, n. 1-2, p. 69-75, 2003/2004. Disponível em: <http://periodicos.unitau.br/ojs/index.php/exatas/article/download/330/516>. Acesso em: 18 jul. 2016.

DUAN, Z.; ZHAN, C.; Zhang, X.; MUSTAFA, M.; ZHAO, X.; ALIMOHAMMADISAGVAND, B.; HASAN, A. Indirect evaporative cooling: Past, present and future potentials, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.16, ed.9, p. 6823-6850, 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE. **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica**. Ano VII, n. 77, 2014.

\_\_\_\_\_. **Balanco Energético Nacional (BEN) 2015**. Relatório Síntese ano base 2014, Rio de Janeiro: EPE, 2015.

\_\_\_\_\_. **Balanco Energético Nacional (BEN) 2016**. Relatório Síntese ano base 2015, Rio de Janeiro: EPE, 2016.

\_\_\_\_\_. **Nota Técnica, DEA 12/16 - Avaliação da eficiência energética e geração distribuída para os próximos 10 anos (2015-2024)**. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

\_\_\_\_\_. **Balanco Energético Nacional (BEN) 2017**. Relatório Síntese ano base 2016, Rio de Janeiro: EPE, 2017.

\_\_\_\_\_. **Balanco Energético Nacional (BEN) 2018**. Relatório Síntese ano base 2017, Rio de Janeiro: EPE, 2018.

\_\_\_\_\_. **Balanco Energético Nacional (BEN) 2019**, Rio de Janeiro: EPE, 2019.

\_\_\_\_\_. **Consumo Nacional de Energia Elétrica na Rede por Classe: 1995 - 2019**. ©2020. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Consumo-Anual-de-Energia-Eletrica-por-classe-nacional>. Acesso em: 07 fev. 2020.

ENERGYPLUS. **EnergyPlus**. ©2019. Disponível em: <https://energyplus.net/>. Acesso em: 3 out. 2018.

FERREIRA, D. B. Publicação Eletrônica. AECweb. **Por uma arquitetura bioclimática brasileira**. ©2018. Disponível em: [https://www.aecweb.com.br/cont/a/por-uma-arquitetura-bioclimatica-brasileira\\_10869](https://www.aecweb.com.br/cont/a/por-uma-arquitetura-bioclimatica-brasileira_10869). Acesso em: 3 maio 2018.

FROTA, A. B.; SHIFFER, S. R. **Manual do conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GARLET, L.; CUNHA, E.G.; PIZZUTTI, J.C. Uso do resfriamento evaporativo em climas úmidos: estudo de caso em pavilhão industrial na cidade de Santa Maria/RS. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Paulo, 2016. **Anais eletrônicos [...]** Porto Alegre: ENTAC, 2016. Disponível em: [http://www.infohab.org.br/entac/2016/ENTAC2016\\_paper\\_49.pdf](http://www.infohab.org.br/entac/2016/ENTAC2016_paper_49.pdf). Acesso em: 20 jun. 2017.

IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency**. Paris: OECD, 2014. Disponível em: [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Captur\\_the\\_MultiplBenef\\_ofEnergyEfficiency.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Captur_the_MultiplBenef_ofEnergyEfficiency.pdf). Acesso em: 3 set. 2017.

\_\_\_\_\_. **Energy Efficiency 2016**. Market Report. Paris: OECD, 2016. Disponível em: [https://www.iea.org/eemr16/files/medium-term-energy-efficiency-2016\\_WEB.PDF](https://www.iea.org/eemr16/files/medium-term-energy-efficiency-2016_WEB.PDF). Acesso em: 2 fev. 2018.

\_\_\_\_\_. **World Energy Outlook 2018**. Executive Summary. Paris: OECD, 2018(a).

\_\_\_\_\_. **Energy Efficiency 2018**. Analysis and outlooks to 2040. Market Report Series. Paris: OECD, 2018(b).

\_\_\_\_\_. **Key World Energy Statistics 2019**. Executive Summary. Paris: OECD, 2019.

IFBA - INSTITUTO FEDERAL DA BAHIA. **Projeto Arquitetônico Campus Camaçari**: Planta de Situação. Julho. 2014. Projeto Final: Pró Reitoria de Desenvolvimento e Infraestrutura (PRODIN). Folha 01.

\_\_\_\_\_. **Projeto Arquitetônico Campus Camaçari**: Planta Baixa Edifício Principal. Dezembro. 2009. Projeto Final: Pró Reitoria de Desenvolvimento e Infraestrutura (PRODIN). Folha 05.

\_\_\_\_\_. **Projeto Arquitetônico Campus Camaçari**: Planta de Cortes Edifício Principal. Setembro. 2009. Projeto Final: Pró Reitoria de Desenvolvimento e Infraestrutura (PRODIN). Folha 06.

\_\_\_\_\_. Projeto de Extensão: Climatização Sustentável do IFBA/Campus Camaçari. **Diagnóstico Energético**. Planilha Inventário de Cargas. Anexo 1. 2016.

JOSÉ NILSON. Pisos, Decorações, Climatizadores e móveis. Climatizador-Esquema. ©2017. Disponível em: <http://josenilson.com.br/site/climatizadores/#!fancybox/0/>. Acesso em: 20 jun. 2017.

KING, A. J. **Passive downdraft evaporative cooling towers**. Advanced Studies in Construction Technology. 2013. (TTU). College of Architecture, 2013. Disponível em: <http://www.arch.ttu.edu/courses/2013/fall/5334/Students/King/13/Default.htm>. Acesso em: 31 ago. 2018.

LAMBERTS, R. **Desempenho Térmico de Edificações**. Aula 2: Conforto Térmico. ECV 5161, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013 (a).

\_\_\_\_\_. **Desempenho Térmico de Edificações**. Aula 4: Avaliação Bioclimática ECV 5161, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013 (b).

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. PROCEL/UFSC. 3. ed. São Paulo: PW Editores. 2014. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/publicacoes/livros>. Acesso em: 3 maio 2018.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A.; GOULART, S.; VECCI R. **Conforto e stress térmico**. Apostila. Atualização Junho/2016. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LabEEE. Florianópolis: Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: [http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4200\\_apostila%202011.pdf\\_2.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4200_apostila%202011.pdf_2.pdf). Acesso em: 3 maio 2018.

MARKET REPORTS WORLD. Publicação Eletrônica. Global Evaporative Cooler Market 2020 by Manufacturers, Regions, Type and Application, Forecast to 2025. Publicado em 08 de jan. 2020. Disponível em: <https://www.marketreportsworld.com/global-evaporative-cooler-market-14299981>. Acesso em: 05 mar. 2020.

MASIERO, D. S. F. M. **Resfriamento evaporativo e condicionamento de ar convencional: estudo experimental comparativo**. 2006. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2006.

MANZANO-AGUGLIARO, F.; MONTOYA, F. G.; SABIO-ORTEGA, A.; GARCÍACRUZ, A. Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 49, p. 736–755, 2015.

OPENSTUDIO. **OpenStudio**. ©2019. Disponível em: <https://www.openstudio.net/>. Acesso em: 3 out. 2018.

ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Metodologia Utilizada na Elaboração da Biblioteca de Materiais e Componentes Construtivos Brasileiros para Simulações no Visualdoe-3.1**. 2003. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LabEEE. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

REVISTA DO FRIO. Publicação Eletrônica. **Climatização evaporativa cresce e evolui no Brasil**. Publicado em 01 de fev. 2010. Disponível em:

<http://revistadofrio.com.br/2010/02/climatizacao-evaporativa-cresce-e-evolui-no-brasil/>. Acesso em: 30 ago. 2018.

SOUZA, A.; GUERRA, J.C.C.; KRUGER, E.L. Os programas brasileiros em eficiência energética como agentes de reposicionamento no setor elétrico. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 7, n. 12, 2011. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/2571>. Acesso em: 23 jan. 2018.

TONIN, M. L. K. **Análise da Eficiência Energética de Técnicas de Arquitetura Bioclimática**: Simulação computacional em edificação escolar. 2016. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, Paraná, 2016.

TORRES, M. G. L. **Conforto térmico e desempenho nos ambientes de ensino com inovações tecnológicas** - estudos de multicasos no Nordeste brasileiro. 2016. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Tecnologia, Universidade da Paraíba - UFPB, Paraíba, 2016.

VETTORAZZO, L. Alta dos serviços e calor mudam o pico de energia para mais tarde. **Folha de São Paulo**, 28 de janeiro de 2014. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2014/01/1403798-alta-dos-servicos-e-calor-mudam-o-pico-de-energia-para-meio-da-tarde.shtml>. Acesso em: 27 jul. 2016.

WEATHER SPARK, **Condições Meteorológicas de Camaçari**. ©2018. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/31065/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Cama%C3%A7ari-Brasil-durante-o-ano#Sections-Humidity>. Acesso em: 19 set. 2018.

WEBER, F. S.; MELO, A.P.; MARINOSKI, D.; LAMBERTS, R. **Elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. 2017. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LabEEE. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

**MINI CURRÍCULO E CONTRIBUIÇÕES AUTORES**

<b>TÍTULO DO ARTIGO</b>	<b>SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DE DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE CLIMATIZADOR EVAPORATIVO EM SALAS DE AULA</b>
<b>RECEBIDO</b>	12/09/2020
<b>AVALIADO</b>	16/10/2020
<b>ACEITO</b>	20/10/2020

<b>AUTOR 1</b>	
PRONOME DE TRATAMENTO	Sra.
NOME COMPLETO	Elisa Cristina de Barros Casaes
INSTITUIÇÃO/AFILIAÇÃO	Instituto Federal da Bahia - IFBA
CIDADE	Camaçari
ESTADO	Bahia
PAÍS	Brasil
RESUMO DA BIOGRAFIA	Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Bahia, Mestrado em Energia pela Universidade Salvador. Professora das disciplinas de Desenho Técnico e Informática Aplicada do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia em Camaçari/BA.
CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES NO ARTIGO	Autora
<b>AUTOR 2</b>	
PRONOME DE TRATAMENTO	Sr.
NOME COMPLETO	Victor Menezes Vieira
INSTITUIÇÃO	Universidade Salvador (UNIFACS)
CIDADE	Salvador
ESTADO	Bahia
PAÍS	Brasil
RESUMO DA BIOGRAFIA	Doutor e Mestre em Geologia Ambiental, Recursos Hídricos e Hidrogeologia pela Universidade Federal da Bahia e Engenheiro Ambiental pela Faculdade de Tecnologia e Ciências de Salvador. Atualmente é coordenador e professor no Programa de Pós-Graduação em Energia (Especialização e Mestrado) e também leciona nos cursos de Engenharia (Eng. de Petróleo e Eng. Ambiental) da Universidade Salvador (UNIFACS).
CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES NO ARTIGO	Coautor.

Endereço de Correspondência dos autores	<b>Autor 1:</b> <a href="mailto:elisacasaes@gmail.com">elisacasaes@gmail.com</a>
---	--