

## **ANÁLISE DE VARIÁVEIS POR MEIO DE SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA NAS PRIMEIRAS FASES DO PROCESSO DE PROJETO**

**Clara Ovídio de Medeiros Rodrigues (1); Aldomar Pedrini (2)**

(1) Mestre, arquiteta, clara@edificioeficiente.com.br, UFRN, Caixa Postal 1524 – Departamento de Arquitetura, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59078-970, Natal/RN - Brasil, (84) 3215-3722

(2) PhD, engenheiro mecânico, apedrini@ufrnet.br, UFRN, Caixa Postal 1524 – Departamento de Arquitetura, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59078-970, (84) 3215-3722

### **RESUMO**

Esse estudo apresenta a integração da simulação termoenergética nas primeiras fases do processo projetual a partir do estudo de três casos práticos, com o intuito de demonstrar a importância da identificação dos parâmetros com maior impacto no desempenho da edificação, desde as primeiras fases do projeto. Para tanto, foram realizadas simulações termoenergéticas no programa DesignBuilder, visando avaliar as decisões projetuais. Nesse sentido, é necessária a compreensão do modelo a ser simulado, com características ainda indefinidas ou grosseiramente detalhadas, e o tratamento e a interpretação dos dados de saída da simulação, para que o usuário da simulação obtenha respostas sucintas e objetivas para retornar ao projetista. Os resultados apontam as principais fontes de carga térmica do edifício, o desempenho quando considerado a variação de parâmetros, bem como a possibilidade de incorporar a ventilação híbrida nos edifícios. As simulações apontaram para a necessidade de intervenção em apenas duas variáveis. Concluiu-se que é viável e importante aplicar a simulação desde as primeiras fases projetuais, orientando o projetista na melhoria do desempenho termoenergético e no atendimento de metas. Nesse processo, a análise de sensibilidade, apresentou-se não apenas como um indicador das variáveis que precisavam ser melhoradas, mas, principalmente, se podiam ser melhoradas, visto que bons projetos reduzem o leque de variáveis a se intervir. Além da orientação aos projetistas sobre as decisões projetuais, as análises contribuíram no sentido de confirmar algumas diretrizes bioclimáticas.

Palavras-chave: simulação termoenergética, concepção projetual, análise de variáveis.

### **ABSTRACT**

This work presents the integration of thermal energetic simulation during the early design stages, based on three cases in practice. It aims to demonstrate the importance of identifying the highest impact parameters in the building performance, since the early design stages. Simulations were carried out in the DesignBuilder energy tool, to assess the design decisions. Therefore, it is necessary to understand the simulation model, considering characteristics undefined or roughly detailed, and the outputs analyses, in order to obtain objective answers to the designers' team. The results show the main building thermal load, the performance considering parameter variation and the possibility to incorporate hybrid ventilation in the buildings. It was verified that every case study had two dominant design variables on the general performance. It was concluded that is possible and important to use the simulation since the early design stages, guiding the design team to improve the building performance and to attend goals. During this process, the sensibility analyses of the building performance were appointed as an indicator of the parameters to be improved and, mainly, if they have to be improved, considering that good design reduce the number of improvement parameters. Furthermore, the analyses help guiding the designers and confirming some the local bioclimatic strategies.

Keywords: Thermal energetic simulation; conceptual design; analyses of parameters.

## 1. INTRODUÇÃO

O projeto de arquitetura apresenta um grande potencial para incorporação de estratégias de redução do impacto ambiental em seu escopo. Dentre as várias possibilidades, destaca-se a integração de medidas de eficiência energética desde as primeiras fases projetuais. Os recursos mais recorrentes são o conhecimento empírico do projetista, o emprego de recomendações e princípios, uso de precedentes arquitetônicos e, cada vez mais, a integração com sofisticadas ferramentas computacionais.

As ferramentas de simulação do comportamento termoenergético da edificação proporcionam a quantificação do desempenho, sobretudo para o atendimento de metas estabelecidas em normas, selos e etiquetas e possibilita a análise das variáveis de projeto mais influentes no desempenho energético. Frequentemente são empregadas no final do processo, quando as características do projeto estão bem definidas. Entretanto, essas mesmas ferramentas podem contribuir para o processo desde as primeiras fases, quando as decisões mais influentes no desempenho da edificação são tomadas em meio ao processo projetual multidisciplinar, muitas vezes subjetivo, cujas características variam de acordo com a especificidade do projeto.

As primeiras decisões de projeto frequentemente são as mais influentes no desempenho energético da edificação. Lima (2007) afirma que a simples troca de equipamentos pode gerar uma economia de aproximadamente 39% no consumo de energia, enquanto que a incorporação de boas práticas projetuais do ponto de vista da adequação ao clima local, pode gerar até 60% de economia do consumo de energia elétrica. Apesar das dificuldades intrínsecas ao processo projetual não linear e para o qual não há uma única maneira de chegar ao resultado, o potencial de uso dessas ferramentas é enorme devido à sua flexibilidade.

Como a maior fração do consumo de energia é frequentemente atribuída às instalações prediais de iluminação e de condicionamento de ar, as variáveis arquitetônicas associadas às cargas térmicas removidas pelo condicionador de ar e às variáveis associadas à iluminação natural passam a ter mais impacto do que as eficiências dos próprios sistemas. Simulações do desempenho energético de ambientes de escritórios, baseado em aproximadamente 40.000 combinações, para o clima de Brisbane/Austrália (similar ao de Florianópolis/SC), indicam que as características arquitetônicas podem influenciar o consumo de energia em até 72%, enquanto que as características de condicionamento de ar e de iluminação artificial eficientes economizam até 48% (PEDRINI, 2003). Simulações do comportamento de hotéis para o clima quente e úmido de Natal/RN identificaram reduções de até 65% no consumo de energia atribuídas às combinações de variáveis arquitetônicas e de apenas 28% para um condicionamento de ar mais eficiente (LIMA, 2007). Além do impacto individual de cada variável, Lima (2007) analisou também o impacto de duas ou mais variáveis arquitetônicas combinadas, e foi verificado que quanto maior o número de variáveis combinadas, menor o impacto no consumo de energia da edificação. Destaca-se que a variável mais influente apresente um impacto significativo na eficiência energética do edifício; a segunda variável apresenta uma influência intermediária; a terceira variável apresenta uma influência bem menor; e as demais variáveis pouco influenciam o desempenho. Logo, as ações não devem ser adotadas indiscriminadamente, principalmente quando o custo delas apresenta grande influência na escolha do cliente ou projetista, mas deve ser realizado um estudo das possibilidades. Além dos Lima (2007), outros autores realizaram estudos que auxiliam na compreensão do comportamento das variáveis como transmitância, absortância, fator solar, orientação, percentual de abertura na fachada, dentre outros para os climas quente e úmido e quente e seco, estudados anteriormente por Negreiros (2010), Simas (2009), Venâncio (2007), Lima (2007), Cunha (2007) e Dias et al. (2013).

A avaliação do desempenho termoenergético de edificações ainda que em fase de projeto implica a consideração de incertezas dos dados de entrada frequentemente maiores que a simulação de projetos detalhados. Isso porque, para as análises serem aceitas pelas normas e regulamentos, são necessários resultados válidos e mais realistas, normalmente, atendidos por meio da determinação de intervalos válidos (FÜRBRINGER, ROULET, 1999)

Silva e Ghisi (2014) conceituam a incerteza como todo tipo de imprecisão das propriedades térmicas e físicas dos materiais e componentes construtivos. Podendo-se dizer que a incerteza passa a existir no momento em que se especifica um parâmetro, ou seja, se a medida é desconhecida, tem-se uma variação, mas se já é conhecido, tem-se a incerteza. No caso de simulações termoenergéticas de edifícios, estão também as características de comportamento do usuário, como: atividade e as rotinas de uso (SILVA, GHISI, 2014). Apesar da compreensão desse efeito, é preciso entender ainda o impacto de cada variável inserida no modelo de simulação computacional. Corroborando com essa visão, De Wit (2003), tendo em vista que nas primeiras fases de projeto poucos valores absolutos são determinados, aponta as análises de sensibilidade como mais apropriadas do que a análise de incertezas. Essa técnica de análise se concentra na

definição da importância de um parâmetro individualmente, sem considerar a interação entre os vários parâmetros (WIT, 2003).

A análise de sensibilidade verifica o comportamento de características térmicas no desempenho de edificações em diversas situações, destaca-se aqui, o projeto de edificações (SILVA, GHISI, 2013). Ela também pode ser usada para, por exemplo, indicar os parâmetros necessários de observação em análises posteriores; e indicar quais podem ser fixados ou simplificados, de forma a obter uma análise mais eficiente e um modelo simplificado (SALTELLI, TARANTOLA, CAMPOLONGO, 2000; WIT, 2003). Além disso, podem ordenar as variáveis pela sua importância e não definir seus valores absolutos, como aconteceria em fases de maior detalhamento. Dessa forma, ela é utilizada quando o objetivo é conhecer a influência dos parâmetros (De WIT, 2003). Nesse sentido, ferramentas complexas podem ser simplificadas para utilização como ferramentas nas primeiras fases, por meio do uso de padrões e arquivos pré-configurados (PEDRINI, 2003).

## 2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo demonstrar a importância da identificação dos parâmetros com maior impacto no desempenho da edificação, desde as primeiras fases do projeto.

## 3. MÉTODO

O método abrange a compreensão e a definição do modelo a ser simulado nas primeiras fases projetuais e o tratamento e a interpretação dos dados de saída da simulação, para que o usuário da simulação obtenha respostas sucintas e objetivas para o projetista. A ferramenta de simulação termoenergética utilizada foi o programa DesingBuilder, já que pode ser usada de maneira simplificada, apesar de ser uma ferramenta complexa, e utiliza os algoritmos confiáveis do EnergyPlus. Ela também apresenta recursos que facilitam as análises, como gráficos de balanço térmico horário e análises denominadas pelo programa como paramétricas.

A modelagem de cada caso consistiu em inserir no programa as principais características já definidas pelo arquiteto, obtidas durante uma conversa inicial. As variáveis ainda indefinidas foram complementadas, no modelo, com o uso de padrões conservadores, de acordo com a meta a ser atingida. Além desses dois aspectos, ainda se utilizou o conhecimento precedente para definir os parâmetros que foram investigados e os que foram simplificados, por meio de abstrações e de utilização dos padrões (Tabela 1). Para o padrão da envoltória, utilizou-se configuração de parede de alvenaria comum, telha sanduíche e vidro verde.

Tabela 1 - Quadro de padrões (variáveis de ocupação e sistemas) para configuração da simulação

Dados de entrada do padrão por tipo		Tipologias simuladas/ Fonte			
		Escritórios	Fonte	Sala de aula	Fonte
Ocupação	Atividade	Sentado digitando	LTD, 2000-2009	Sentado	LTD, 2000-2009
	Ocupação média	0,12	CARLO, 2008	0,12	CARLO, 2008
	Rotina	9-18h; 18-22h	CARLO, 2008	7-12:30h;13-18:30h;18:45-22:15h	UFRN, 2014
Densidade de carga interna	Equipamento	17,3W/m <sup>2</sup>	CARLO, 2008	4,7	LTD, 2000-2009
	Rotina	9-18h; 18-22h	CARLO, 2008	7-12:30h;13-18:30h;18:45-22:15h	UFRN, 2014
	Iluminação	9,7 W/m <sup>2</sup>	BRASIL, 2010	5 W/m <sup>2</sup>	LTD, 2000-2009
	Rotina	9-18h; 18-22h	CARLO, 2008	7-12:30h;13-18:30h;18:45-22:15h	UFRN, 2014
Condicionamento de ar	Tipo	Split	CARLO, 2008	Split	CIRNE, 2013
	Capacidade	12000 BTU/h	CARLO, 2008	12000 BTU/h	CIRNE, 2013
	Eficiência	3,0	INMETRO, 2013	3,0	INMETRO, 2013
	Rotina	9-18h; 18-22h	BRASIL, 2010	7-12:30h;13-18:30h;18:45-22:15h	UFRN, 2014
	Taxa de infiltração	0,7 ac/h	LTD, 2000-2009	0,7 ac/h	LTD, 2000-2009
	Set point refrigeração	24 ° C	CARLO, 2008; ABNT, 2008	24 ° C	ANBT, 2008

Concluída a modelagem e a simulação, foram tratados os dados de saída. Para que as informações relevantes se tornassem compreensíveis para os arquitetos, lançou-se mão de planilhas pré-configuradas para acelerar as respostas e complementar as análises dos resultados. Para auxiliar nas análises, verificou-se se os resultados obtidos vão de encontro com as referências.

A análise do comportamento das cargas térmica horária foi realizada com base no dado de saída do balanço térmico do programa. O gráfico de saída do programa aponta as fontes de cargas térmicas: vidros (condução), paredes, forro, piso, divisórias, cobertura, ventilação natural interna, ar externo, da iluminação, dos equipamentos, da ocupação e dos ganhos solares em janelas externas. As informações obtidas do gráfico anterior são conferidas quanto à magnitude da sua contribuição, quando ocorrem, se o comportamento é coerente com as características das propriedades térmicas dos sistemas construtivos das suas fontes, e quanto à possibilidade de haver situações em que cargas se anulam. As trocas de ar horária também foram analisadas para comprovar as configurações do cálculo de ventilação. As informações do balanço térmico são inseridos na planilha para cálculo da cargas térmicas de resfriamento (PEDRINI *et al.*, 2014) de maneira a tornar visível os parâmetros que mais influenciam na carga térmica de resfriamento do edifício.

A análise de variação de parâmetros permite analisar o impacto, que múltiplos valores de uma determinada característica ou mais (o DesignBuilder permite até duas, simultaneamente), exercem sobre uma variável. Essa análise foi requerida apenas pelo caso 2, no qual avaliou-se o impacto do percentual de abertura na fachada total (PAFT) e do sombreamento no consumo de energia da edificação. Esses dados também foram exportados e trabalhados em novos gráficos, o que facilita a compreensão de variações do consumo de energia e percentuais de redução.

A análise de conforto para o uso de ventilação híbrida ou natural se baseia na temperatura operativa, temperatura do ar e a temperatura radiante para considerar o efeito do movimento de ar na determinação de conforto pelo método adaptativo, proposto por Negreiros (2010), com base no modelo de De Dear e Brager (2002) e na ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2004), resultado em ocorrências de desconforto ao frio, conforto, conforto com movimento de ar e desconforto ao calor. Essa informação pode ser detalhada para exibir a ocorrência de faixas de conforto e desconforto ao longo das 24 horas do dia, para todo o ano. A leitura proporciona relacionar as ocorrências de conforto e desconforto às horas do dia. A análise indica o potencial do uso de ventilação híbrida, apontando o período com maior potencial para do uso da ventilação natural ou de ventilação mecânica.

Após a análise dos três casos, os resultados foram comparados afim de identificar as variáveis de maior impacto no consumo de energia de cada edificação. Para essa comparação foram consideradas a principal característica da edificação e o tipo de condicionamento de ar. Nas experiências com a simulação simplificada inserida nas primeiras fases de projeto de edificações novas são denominados casos 1, 2 e 3. Destaca-se a atuação do usuário de simulação apenas como consultor no caso 3 e como consultor e membro da equipe de projetista nos casos 1 e 2.

### 3.1 Caracterização dos casos

O projeto do Caso 1 foi desenvolvido para atender a demanda de um Instituto de Tecnologia em Petróleo e Gás (IST) acoplado ao SENAI da cidade de Mossoró/RN. Para o projeto, inicialmente foram analisadas as estratégias bioclimáticas compatíveis com a zona bioclimática 07, na qual Mossoró se insere. As estratégias utilizadas no projeto foram: inércia térmica por meio do uso de paredes externas com baixa transmitância; uso de pequenas aberturas; pouca ventilação; sombreamento das aberturas; e a criação de um pátio interno com espelho d'água para redução da temperatura por meio da evaporação e saída do calor por exaustão. O pátio interno também contou com a redução da temperatura radiante, tendo em vista que as paredes que o conformavam eram compartilhadas com ambientes condicionados artificialmente. Na primeira versão do projeto, ainda na fase de esboço, foi aplicada a simulação (Figura 1). As análises do caso 1 voltaram-se para a simulação do conforto térmico do pátio central do edifício, área projetada para ser condicionada naturalmente e coberta com telha sanduiche.

O caso 2 contemplou o projeto do Instituto Brasil Alemanha de Inovação (IBRALI) que foi implantando numa Zona de Preservação Ambiental no bairro do Guarapes, Natal-RN. O estudo preliminar do Edifício Sede do IBRALI (Figura 2) deveria contemplar espaços de escritórios para a instalação de empresas, espaço para formação profissional, auditório para recebimento de visitantes, espaço para instalação de stands, área administrativa e mirante para o parque eólico e para a planta fotovoltaica. Como os projetistas já possuíam amplo domínio sobre as diretrizes bioclimáticas para o clima quente e úmido (Natal-RN), eles não possuíam muitas dúvidas para o desenvolvimento do projeto. Dessa forma, foi possível simular as ideias iniciais do grupo com bastante clareza.

O caso 3 consiste na análise do projeto do Complexo Cultural da FUNCART, que estava sendo desenvolvido dentro do escopo do Mestrado Profissional do PPGAU-UFRN, previa a expansão da edificação conhecida como Capitania das Artes localizado no bairro da Ribeira, Natal-RN. A análise do projeto teve seu início com uma reunião entre a usuária da simulação e o projetista, na qual o projeto foi apresentado e chegou-se às estratégias consideradas para tornar a edificação mais eficiente energeticamente. O nível de desenvolvimento do projeto era compatível ao de um anteprojeto, com definições de orientação, volumetria, planta baixa, materiais de fechamento, configuração das aberturas e proteção solar.

A partir desse contato foi possível compreender a necessidade de comportar o uso público e cultural nessa área histórica, pautada na interação visual entre interior e exterior. Ainda que não houvesse uma meta de desempenho energético obrigatória, a preferência foi por atingir a Etiqueta PBE Edifica nível A. Foram exploradas três questões: o desempenho para uma fachada 100% envidraçada e 100% sombreada poderia ter resultado semelhante a uma fachada 50% envidraçada e 100% sombreada? Seria possível utilizar ventilação híbrida? Em quais horários seria possível utilizar a ventilação natural?

Considerando que os edifícios do complexo eram semelhantes quanto à solução de fachadas (Figura 3) e da divisão interna, foi analisado o pior caso. Dessa forma, optou-se por simular a edificação que apresentava as maiores fachadas voltadas para Sudoeste (Figura 3).

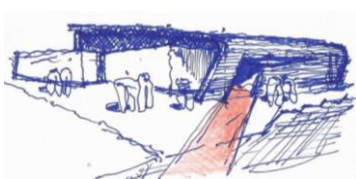


Figura 1 – IST em fase de esboço, fachadas frontal



Figura 2 - Edifício Sede IBRALI:



Figura 3 – Complexo Cultural FUNCART

Nota: Imagens obtidas com os projetistas das edificações

## 4. RESULTADOS

Os resultados obtidos com a aplicação das simulações serão apresentados e discutidos nesse tópico.

### 4.1. Caso 1 – Instituto SENAI de Tecnologia em Petróleo e Gás (IST)

Os resultados obtidos no DesignBuilder para o pátio interno (Figura 4), relativos a temperatura do ar e temperatura radiante foram inseridos na planilha desenvolvida por Negreiros (2010), os quais indicaram que o pátio atingiria até 76% de horas em conforto térmico, 22% em conforto condicionada ao movimento de ar sobre a pele do usuário e 1% em desconforto ao calor e 1% em desconforto ao frio (Figura 6). O desconforto ao frio ocorreria principalmente no período da madrugada, quando o prédio não está ocupado, e o desconforto ao calor ocorria no horário de uso, sendo a ocorrência considerada aceitável. Assim, os resultados confirmaram que as estratégias utilizadas estavam adequadas.



Figura 4 – Vista do pátio interno simulado

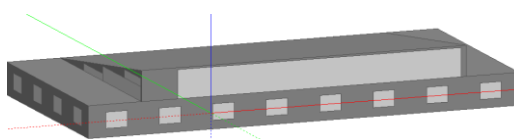


Figura 5 - Edifício modelado no DesignBuilder

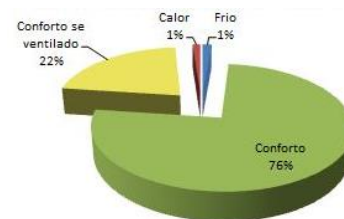


Figura 6 - Gráfico percentual de horas em conforto

Após essa fase, o cliente modificou o programa de necessidades e o grande pátio central foi inviabilizado devido ao aumento das áreas destinadas a laboratórios, enquanto o terreno permaneceu com as mesmas dimensões. Além disso, a urgência de apresentação da proposta para o órgão financiador também inviabilizou as análises de cargas térmicas, de sensibilidade de variáveis construtivas e das demais versões do edifício.

## 4.2. Caso 2 - Edifício do Instituto Brasil-Alemanha de Inovação (IBRALI)

No momento da simulação desse projeto, alguns aspectos do procedimento das simplificações já estavam definidos, de forma que foi possível a realização da simulação inicial em cerca de 3h. Esse caso foi relevante devido à primeira aplicação das simplificações de modelagem (Figura 7A) que deverão integrar o procedimento para atender à diminuição do tempo gasto para modelagem da edificação. Apesar do tempo não ser um critério de avaliação desse trabalho, ele se demonstra essencial na integração da simulação às primeiras fases do projeto.

As principais simplificações adotadas foram: a adoção de características recorrentes, de biblioteca do programa, como tipos de materiais, clima da cidade, rotinas de ocupação, potência instalada para equipamento e iluminação; a modelagem com dimensionamento das aberturas a partir da intenção dos projetistas; e no módulo de projeto (pano de vidro ou abertura simples) e modelagem de estratégias de forma genérica, como de um único tipo de sombreamento para todas as aberturas completamente sombreadas.

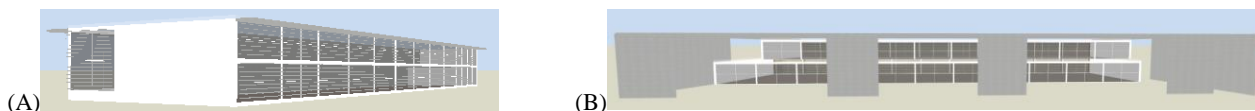


Figura 7 – IBRALI: primeira modelagem (A) e segunda modelagem (B)

Devido ao pouco tempo disponível para que os projetistas desenvolvessem o esboço, não foi possível prosseguir com as análises, a tempo de serem utilizadas na finalização do projeto. No entanto, após o desenvolvimento do estudo preliminar seguiu-se com as análises a fim de sugerir orientações aos projetistas para o desenvolvimento do projeto. Para tanto, foi necessário realizar pequenos ajustes no modelo, principalmente para compreender o uso da ventilação natural. A principal questão na nova modelagem foi a compreensão do átrio como ambiente externo, já que o foco para a análise eram as salas. Dessa maneira, houve uma segunda modelagem, conforme apresentado na (Figura 7B).

Esse novo modelo apresentou os ganhos internos (Figura 8) como as principais fontes de calor da edificação, o que sugere que a envoltória pode estar bem resolvida, se a modelagem das cargas de ocupação, equipamentos e iluminação estiverem coerentes. Assim, como diretriz para o desenvolvimento do ante projeto, apresentou-se uma atenção especial quanto a especificação das proteções solares, já que elas serão muito importantes para reduzir os ganhos térmicos provenientes da radiação solar e podem melhorar ainda mais o comportamento da envoltória.

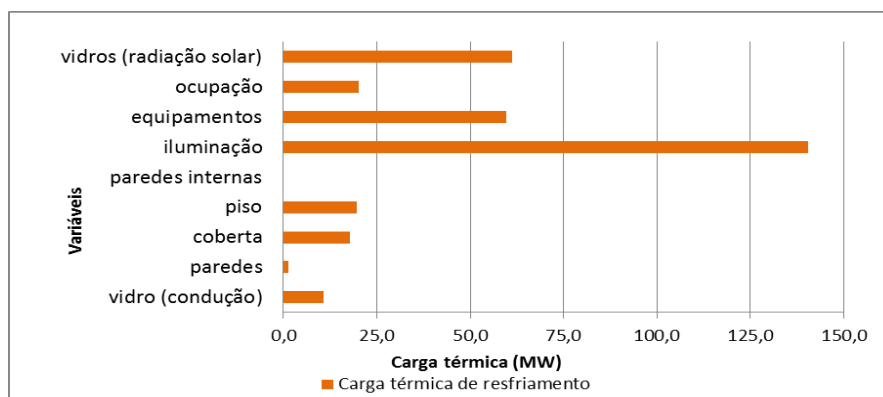


Figura 8 – Gráfico de cargas térmicas para o IBRALI

Ao seguir-se para a análise da ventilação natural, foi possível observar que as janelas precisariam ficar abertas além do horário de funcionamento da edificação (8-18h), até as 22h para que o calor excessivo gerado pela iluminação artificial e o calor que ainda estava armazenado, oriundo da radiação solar fossem removidos.

Com esse ajuste, chegou-se a 9% de ocorrências das horas do ano em desconforto ao calor (Figura 9A), mais especificamente, no período das 10h às 18h, sendo o pico as 15h com, aproximadamente, 40% das ocorrências desse horário durante o ano. A análise para cada mês (Figura 9B) demonstra que seria necessário o uso de condicionamento artificial após as 10h da manhã apenas nos meses de dezembro a março (Figura 9B)

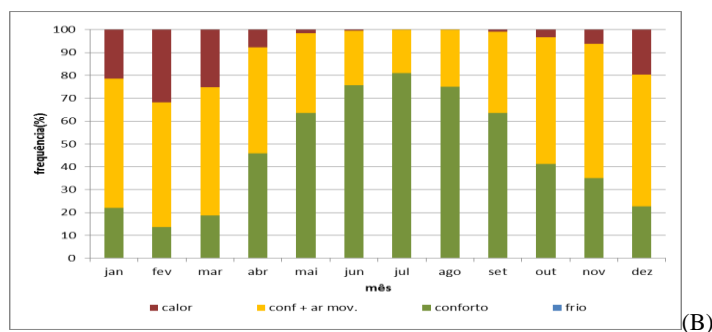
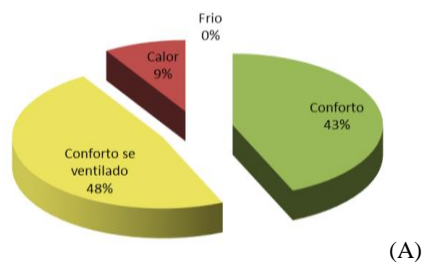


Figura 9 – Análise da ventilação natural no IBRALI: percentual de horas em conforto (A) e Gráfico do percentual de horas em conforto a cada mês – IBRALI (B)

### 4.3. Caso 3 – Complexo Cultural FUNCART

Com base na edificação mais representativa, foi simulado o caso que garantia a interação do exterior com interior, conforme diretriz de projeto, mas que ainda não se preocupava com o sombreamento (Figura 10A). Assim, foram identificadas as principais fontes de carga térmica (Figura 10B).

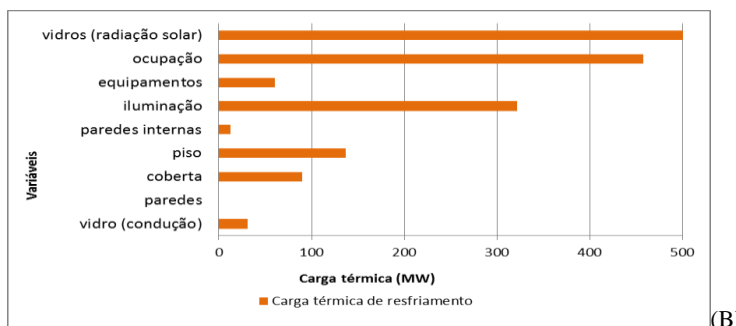
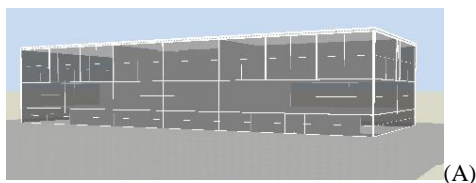


Figura 10 – Modelo da FUNCART com 100% de PAFT e 0% de sombreamento (A) e Gráfico de carga térmica da FUNCART para esse modelo (B)

Os principais ganhos de aquecimento que implicam em cargas térmicas de resfriamento são decorrentes da radiação solar nas aberturas, seguidos pela ocupação e iluminação artificial (Figura 10B). Apenas a primeira é proveniente da arquitetura e as demais são relativas ao uso e ao sistema predial. As outras fontes inerentes à arquitetura apresentavam valores de carga térmica inferiores às principais cargas internas, indicando que a cobertura (vedação horizontal) está bem resolvida, faltando solucionar o mal desempenho da vedação vertical.

Foram consideradas estratégias de redução da carga térmica das aberturas e a necessidade de avaliar as influências do tamanho das aberturas, da proteção solar e do tipo do vidro. No entanto, para o último, o arquiteto já havia decidido por um vidro verde, que garantia a transparência requerida pelo partido e reduzia a carga térmica que o ultrapassava. Considerando o tempo demandado para a simulação, foram investigadas as variáveis relativas ao PAFT e à proteção solar. Destaca-se que essas variáveis foram as que o arquiteto questionou quanto ao comportamento.

Foram realizadas três simulações para analisar aberturas de 100% ou 50% de área envidraçada para 0% e 100% de sombreamento. O menor consumo de energia, 936.491MWh, ocorreu para a configuração com menor área de abertura e maior sombreamento. O resultado para a combinação de 100% de PAFT e 100% de sombreamento, foi apenas 1% superior, de 940.635MWh (Figura 11).

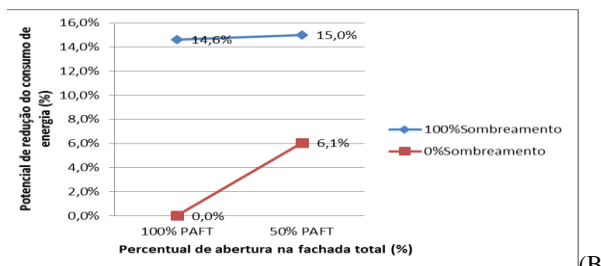
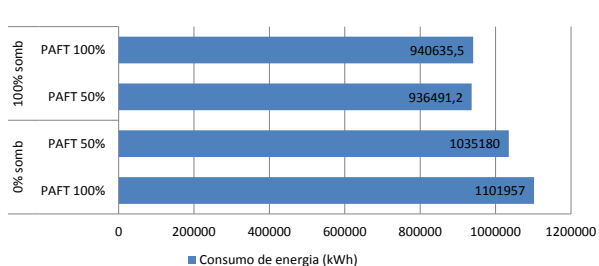


Figura 11 – Gráfico de comparação do consumo de energia para cada caso (A) e Gráfico do percentual de redução do consumo de energia, com ênfase no sombreamento (B)

Observa-se que o PAFT é significativo quando o sombreamento é inexistente, com a redução do percentual influenciando até 6% do consumo anual. A redução da PAFT de 100% para 50% quando completamente sombreada é inferior a 1% do consumo de energia anual (Figura 11). A mudança da fração de sombreamento da abertura é mais influente até 15%, quando o PAFT é maior (Figura 11), demonstrando que o sombreamento é uma estratégia de destaque para a eficiência energética desse edifício.

Esses resultados apontam que a redução da carga térmica proveniente da radiação solar incidente no vidro, pela da redução do PAFT (Figura 11 e Figura 12), não se faz necessária quando a área envidraçada está completamente sombreada porque o elemento de proteção é responsável por impedir que a insolação chegue até o vidro. Dessa forma, não é necessário investir nas duas variáveis; apenas o sombreamento cumpre o papel de melhoria da eficiência do partido.

A análise das demais fontes de cargas térmicas em cada um dos casos (cargas térmicas de resfriamento em MW) demonstra que quanto mais eficiente é a envoltória, menor será a carga térmica proveniente desses itens enquanto os ganhos internos (ocupação, iluminação e equipamentos) permanecem constantes (Figura 12). No caso menos eficiente, 100% PAFT e nenhum sombreamento (verde), a carga térmica proveniente dos vidros chega a ser maior do que a carga proveniente da iluminação e da ocupação. Nos casos em que a envoltória já apresenta desempenho satisfatório, mudam as prioridades porque é necessário atentar para as especificações dos equipamentos e para o desenvolvimento do projeto luminotécnico, de maneira que a redução do consumo de energia seja ainda maior.

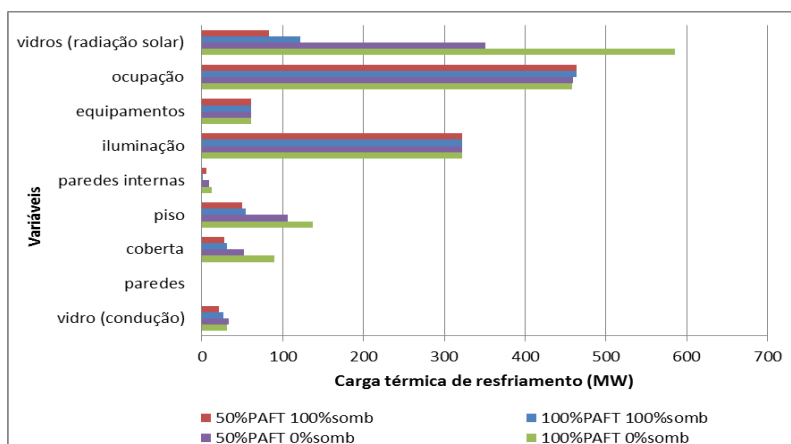


Figura 12 – Gráfico de contribuição na carga térmica positiva para os casos simulados

A análise da ventilação natural foi realizada com base na simulação de todo o edifício, com exceção do subsolo. O modelo utilizado obteve bom desempenho termoenergético e atendia as intenções do projetista – PAFT 100% e sombreamento de 100%. Verificou-se que a ventilação natural poderia ser utilizada em 34% das horas do ano, sendo que nas demais 64% das horas do ano o conforto fica condicionado ao movimento de ar (Figura 13), que poderia ser garantida por meio do uso de ventilador de teto.

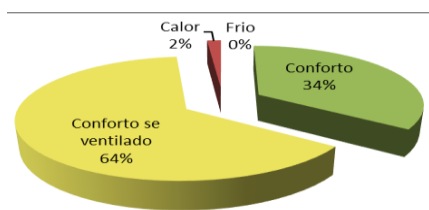


Figura 13 – Gráfico do percentual de horas de conforto – FUNCART

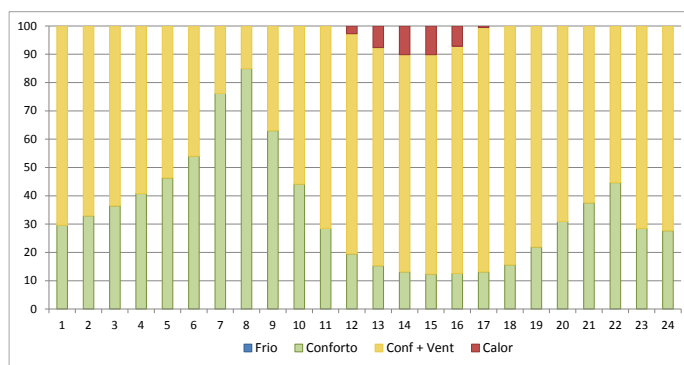


Figura 14 – Gráfico do percentual de horas em conforto a cada hora – FUNCART. Adaptado de Negreiros (2010)

Os 2% de horas em desconforto ao calor (Figura 13) ocorrem durante o intervalo de meio dia até 17horas, sendo menos de 10% dessas horas, ao longo de todo ano, com sensação de desconforto (Figura 14), demonstram que o uso do ar condicionado é mais indicado para o período da tarde e para apenas 10% do ano. Além da fachada 100% envidraçada 100% sombreada, a edificação pode se beneficiar do uso de



ventilação natural com auxílio de ventiladores. A efficientização do esboço nesse caso proporcionou uma redução no consumo de energia de aproximadamente 14%, sendo que ainda é possível reduzir esse valor, se considerarmos o uso da ventilação mecânica em boa parte do ano. As contribuições trazidas pela análise de ventilação híbrida levaram-na a serem incorporadas à sistematização de integração.

Ainda é possível desenvolver estudos mais aprofundados, em fases posteriores do projeto, sobre a integração do uso da iluminação natural na edificação, reduzindo o consumo durante o dia com a iluminação artificial.

#### 4.4. Variáveis analisadas

Verificou-se que as simulações apontam para a intervenção em apenas duas variáveis principais (Tabela 2), coerente Lima (2007). Essas duas variáveis são responsáveis por uma grande diminuição no consumo de energia, uma terceira variável teria uma redução não tão significativa. No entanto, pode-se considerar que o uso dos padrões para os elementos que ainda não haviam sido definidos podem ter contribuído para esse pequeno número de variáveis, a exemplo do padrão que definia uso de baixa absorvância nos projetos. Da mesma forma, que as aberturas sempre apresentavam uso de vidro verde, de maneira que permitisse focar a investigação no sombreamento a do sistema proposto.

Essa seleção prévia deu-se em função da liberdade de modificação do projeto, como também do uso de experiências precedentes e conhecimentos adquiridos com as referências bibliográficas na tomada de decisões por parte da simuladora. Essa agiu proativamente no sentido de diminuir a quantidade de simulações e o tempo necessário para resolver os casos e conversar com os projetistas sobre os resultados.

As soluções de edificações predominantemente horizontais passam recorrentemente pela redução do fator de calor solar da cobertura e redução da radiação solar proveniente das aberturas, por meio da análise do sombreamento (Tabela 2).

As investigações que pautaram o Percentual de Abertura na Fachada (PAF), respondiam a questões específicas trazidas pelos projetistas. A área de ventilação respondeu às análises de ventilação natural, apenas o caso 3 as áreas de ventilação propostas já atendiam às necessidades da edificação.

Tabela 2 - Quadro resumo de estratégias utilizadas em cada caso

Caso	Estratégia utilizada	Característica principal	Condicionamento
Caso 1	Área de ventilação e material da coberta	Horizontal	Passivo
Caso 2	Sombreamento e área de ventilação	Horizontal	Ativo/Passivo
Caso 3	Sombreamento x PAFT	Transparência	Ativo/Passivo

## 5. CONCLUSÕES

A avaliação dos três estudos de caso demonstra que é viável e importante aplicar a simulação desde as primeiras fases projetuais, orientando o projetista na melhora do desempenho termoenergético e no atendimento de metas. Nesse processo, entende-se que cada caso tem suas especificidades: complexidade de fenômeno, obtenção dos dados e configurações de geometria, sistemas prediais, uso e ocupação do edifício.

A análise de sensibilidade, no processo de avaliação do projeto, apresentou-se como um indicador das variáveis que precisavam ser melhoradas, e, principalmente, se podiam ser melhoradas, visto que bons projetos reduzem o leque de variáveis a se intervir. Dessa forma, a análise de comportamento termoenergético indica, no primeiro momento, que a variável é importante; então, segue-se para a análise de sensibilidade com variação de parâmetro, que demonstrará se o elemento escolhido é eficaz. Essa relação entre a avaliação e a evolução do projeto demonstra que é necessário haver o acompanhamento ao longo do processo, para análises preliminares não serem utilizadas como se fossem finais, o que estaria equivocado.

Além da orientação aos projetistas sobre as decisões projetuais, as análises contribuíram no sentido de confirmar que algumas diretrizes bioclimáticas, inicialmente obtidas para edificações residenciais condicionadas naturalmente, podem ser aplicadas em edificações comerciais com condicionamento ativo, a exemplo do sombreamento e ventilação abundante para zona bioclimática 8. Permitiram, também, a compreensão do comportamento de algumas variáveis que até então não haviam sido muito discutidas, a exemplo da comparação entre o aumento da área opaca ou a utilização de sombreamento.

O quadro resumo permite ainda perceber que as diretrizes para melhorar o desempenho para cada caso giraram em torno de apenas duas variáveis, as quais serão determinadas de acordo com cada caso. Nesse aspecto, os resultados do trabalho vão de encontro com as referências.

Por fim, compreende-se que a simulação tem o intuito de testar o projeto, antes de sugerir. De acordo com os resultados obtidos, aí sim, pode-se ver a necessidade de melhorias e, para isso, novas simulações levariam a sugestões. Assim, a simulação integrada apresenta-se como ferramenta de projeto, já que quanto mais inicial a fase projetual, mais fácil de compatibilizar as alternativas de melhoria no desempenho com o projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. **ABNT NBR 16401-3:2008 Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 3: Qualidade do ar interior**. Central and unitary air conditioning systems Part 3: Indoor air quality. ABNT/CB-55 REFRIGERAÇÃO, A.-C., VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. Rio de Janeiro: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas: 24 p. 2008
- ASHRAE. **Standard 55-2004 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy SI**. Atlanta, Ga.: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2004. 35 ISBN 1041-2336.
- BRASIL. **Portaria nº 372, de 17 de setembro de 2010**. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. . MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, I. E. C. E.: Inmetro 2010.
- CIRNE, S. **Configuração do sistema de ar condicionado nos projetos da UFRN**. TELEFONEMA. Natal 2013.
- CUNHA, L. J. B. D. F. **Potencialização do uso da ventilação natural em edificações de Natal-RN a partir de métodos de análise compatíveis com a projeção**. 2007. Mestrado Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 549-561, JUL 2002. Disponível em: <<Go to ISI>://000175492600004 >.
- DIAS, A. R. D.; RODRIGUES, C. O. D. M.; SILVA, M. D. M. G. D.; ALVES, A. W. C.; PEDRINI, A. **Estratégias bioclimáticas associadas à simulação computacional no processo projetual em clima quente e seco: aplicação no projeto da plataforma solar - Petrolina/PE**. XII ENCAC/ VIII ELACAC. Brasília 2013.
- FÜRBRINGER, J. M.; ROULET, C. A. Confidence of Simulation Results: Put a Sensitivity Analysis Module in your Model: The IEA-ECBCS Annex 23 experience of model evaluation. **Energy and Buildings**, v. 30, p. 10, 1999. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778898000462>>. Acesso em: 13 jul. 2015.
- INMETRO. **Condicionadores de ar split hi-wall**. ETIQUETAGEM, P. B. D.: Inmetro 2013.
- LIMA, G. L. F. **Influência das variáveis arquitetônicas no desempenho energético de hotéis no clima quente e úmido**. 2007. Mestrado Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- LTD, D. S. **DesignBuilder 2000-2009**.
- NEGREIROS, B. D. A. **Análise de métodos de predição de desempenho térmico de habitação em clima quente-úmido com condicionamento passivo**. 2010. (mestrado). Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- PEDRINI, A. **Integration of low energy strategies to the early stages of design process of office buildings in warm climate**. 2003. Tese de doutorado (Ph.D.). Department of Architecture, University of Queensland, Brisbane.
- PEDRINI, A.; RODRIGUES, C. O. D. M.; PACHECO, G. H. S.; NEGREIROS, B. **Planilha interna do LabCon-UFRN** 2014.
- SALTELLI, A.; TARANTOLA, S.; CAMPOLONGO, F. Sensitivity Analysis as an ingredient of modeling. **Statistical Science**, v. 15, p. 19, 2000. Disponível em: <[https://projecteuclid.org/download/pdf\\_1/euclid.ss/1009213004](https://projecteuclid.org/download/pdf_1/euclid.ss/1009213004)>. Acesso em: 13 jul. 2015.
- SIMAS, S. R. N. G. **Análise do custo-benefício de sistemas de cobertas em edificações comerciais para o clima de Natal/RN visando eficiência energética**. 2009. Dissertação (Mestre). Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- UFRN, U. F. D. R. G. D. N. **Atestado de Matrícula**. INFORMÁTICA, S. D.: Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas 2014.
- VENÂNCIO, R. **A influência de decisões arquitetônicas na eficiência energética do Campus/UFRN**. 2007. Mestrado Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- WIT, S. D. Uncertainty in Building Simulation. In: MALKAWI, A. M. e AUGENBROE, G. (Ed.). **Advanced Building Simulation**. New York, London: Spon Press, 2003. cap. 2, p.32.