

Integração da simulação termoenergética nas primeiras fases do processo projetual: o estudo de seis casos

Integration of thermal energy simulation in the early design stages: six case studies

Clara Ovídio de Medeiros Rodrigues
Aldomar Pedrini

Resumo

O artigo tem o objetivo de demonstrar a viabilidade de integração de simulações termoenergéticas ao processo projetual desde as primeiras fases do projeto. Para tanto, apresenta uma sistematização dos procedimentos entre projetista e simulador para seis estudos de caso de edificações em clima quente. Destaca-se a necessidade de compreensão das características do edifício e da programação arquitetônica, incluindo informações, metas e necessidade, além de partido e intenções da solução, que motivaram a montagem de um *checklist* para melhorar o diálogo entre simulador e projetista. Os resultados também apontam as características da edificação que mais influenciam no consumo energético da edificação, e a interação entre o simulador e o projetista, de acordo com seu perfil, as liberdades e restrições implícitas, e a recorrência das soluções, que poderiam até mesmo dispensar as simulações. Além da confirmação de que é possível integrar simulações desde as primeiras fases, a contribuição principal do artigo é o mapeamento de processos entre projetista e simulador e sua intensidade para demonstrar as potencialidades e limitações das integrações, que podem ser úteis no desenvolvimento de interfaces de ferramentas e no treinamento de especialistas em simulação.

Palavras-chaves: Simulação termoenergética. Processo projetual. Programação arquitetônica.

Abstract

The aim of this paper is to demonstrate the feasibility of energy tool integration to the design process from the early stages. With that purpose, it presents a systematization of the procedures that take place between designer and modeler, based on six case studies of buildings in a warm climate. The key elements are the understanding of the buildings' characteristics, programming, including goals and needs, and solution proposals and designer's intentions. Such concerns led to the development of a checklist to improve the dialogue between modeller and designer. The results also highlight the variables that most influence the building's energy consumption, and the interaction between modeller and designer, according to their profile, the implicit freedom and constraints in the programming, the recurrent solutions which, in some cases, could do without the simulations. Besides the confirmation of the feasibility of early integration, the main contribution of this study is the mapping of the processes between designer and modeller and the intensity of the relationships, demonstrating the potential and constraints of integration, which may be useful in the development of energy tools and training for modellers.

Keywords: Thermal energetic simulation. Building design process. Architectural programming.

Clara Ovídio de Medeiros
Rodrigues

Universidade Federal do Rio Grande
do Norte
Natal - RN - Brasil

Aldomar Pedrini

Universidade Federal do Rio Grande
do Norte
Natal - RN - Brasil

Recebido em 26/03/16

Aceito em 23/09/16

Introdução

Simulações do desempenho energético são frequentemente empregadas quando há informações suficientes para modelar a edificação num *software* apropriado, na fase de detalhamento do projeto e finalização. Entretanto, as primeiras decisões arquitetônicas são as mais influenciáveis no desempenho energético de edificações em clima tropical porque tratam de implantação de um volume e da escolha da linguagem da envoltória, que determinam a exposição ao sol e aos ventos (sombrear e ventilar são os princípios mais básicos de projeto). Ainda embrião, o projeto tem um partido suficiente para determinar seu desempenho e que pode ser repensado, se necessário, a um custo muito mais baixo e em menor tempo do que se repensado nas fases seguintes. Porém, a maioria das características necessárias para modelar uma edificação ainda não estão definidas e isso se torna um grande obstáculo à simulação do desempenho energético. O objetivo deste artigo é demonstrar que é possível simular o desempenho desde as primeiras fases do projeto, desde que se compreenda as características do edifício e da programação arquitetônica, acessando informações como partido e metas a serem atendidas. Sua contribuição é destacar os processos recorrentes, que podem ser úteis na seleção ou no desenvolvimento de ferramentas que auxiliem na integração da simulação com o processo projetual e que reduzam as lacunas de informações disponibilizadas pelos projetistas ainda nas primeiras fases do projeto.

Programas de simulação energética são apresentados como ferramentas para auxiliar os projetistas de edificações na tomada de decisões que aumentam o desempenho, porém seus usos não são tão simples quanto propagandeados (BEST..., 2016). Originalmente, não foram criados para auxiliar arquitetos e sim para simular as condições internas do ar a partir de cálculos de transferência de calor e processos psicrométricos visando o projeto de sistemas de aquecimento e resfriamento do ar, na década de sessenta (KUSUDA, 1999). Com a crise de petróleo na década de setenta e as preocupações ambientais na década de noventa, passou-se a realizar simulações em análises paramétricas para identificar as características mais influentes do projeto no desempenho (KUSUDA, 2001). Nesse aspecto, a ferramenta pode ser a solução para a quantificação da influência das decisões. Desse modo, pode-se embasar uma decisão projetual nos critérios de desempenho (HENSEN; LAMBERTS, 2011) e, “[...] diferentes objetivos e escopos de projeto podem ser observados em diferentes etapas de projeto de um edifício [...]” (MORBITZER *et al.*,

2001, p. 698). Dentre as considerações dos projetistas, devem ser observadas, em cada fase, as decisões de maior impacto no consumo de energia e no ambiente, de forma que sejam incluídas nos estudos de simulação. “Informações detalhadas podem ser confusas para usuários ocasionais, mas vitais para o usuário especialista [...]” (MORBITZER *et al.*, 2001, p. 704). Entretanto, arquitetos comumente usam linguagem, forma de pensar e conhecimento técnico diferente de um modelador/simulador de desempenho energético de edificações (PEDRINI, 2003).

Os programas de simulação são ferramentas de análise e síntese que requerem centenas ou milhares de detalhes do modelo, disponíveis na fase de detalhamento do projeto. Por isso, a simulação nas primeiras fases projetuais necessita de simplificações como: a utilização de padrões otimizados em rotinas de uso e ocupação, características de equipamentos e componentes construtivos; o uso do modelo tridimensional do projeto; a compatibilização dos padrões com o clima; a classificação dos resultados da simulação para a avaliação da etiquetagem local; e o uso de listas com estratégias pertinentes para a redução do consumo de energia (PEDRINI, 2003). Esses cuidados estão presentes na simplificação de interface para agilizar retornos ao projetista sobre os impactos energéticos e ambientais do edifício nas primeiras fases de projeto, e na customização dos resultados para melhor atender a cada estágio do projeto (MORBITZER *et al.*, 2001).

A integração do processo de projeto com as análises provenientes do uso de ferramentas de simulação do desempenho do edifício foi iniciada nas subáreas da engenharia. Em sequência, alguns modelos foram desenvolvidos para abranger também a arquitetura, no entanto os modelos de engenharia, em geral, possuem um processo mais linear, com uma sequência de estágio, requerimentos e um problema bem definido. Em contrapartida, os modelos de arquitetura tendem a apresentar um processo de modelagem cíclico, descritivo e resultado de muitos processos cíclicos, geralmente baseados em requisitos implícitos ou ainda em processo de definição e relacionados a conhecimentos tácitos, sendo o problema muitas vezes ainda em definição (WILDE, 2004). A partir dos primeiros estudos de simulação integrada ao processo projetual, Wilde (2004) verificou que não existe um modelo universal para essa integração e que frequentemente varia de projeto para projeto. A integração requer o mapeamento do processo projetual, seguido da identificação das oportunidades de melhoria no desempenho.

Método

Os estudos realizados envolviam a figura do projetista e do consultor. O consultor atuou no processo de maneira a compreender, modelar/simular e testar o projeto, passando informações ao projetista que pudessem contribuir para o desempenho do projeto final. Em alguns casos as figuras tanto do projetista quanto do consultor foram protagonizadas pela autora do artigo, em outros ela atuou apenas como consultora. O método sistematizou as interações entre projetista e consultor ao simular o desempenho termoenergético de edificações, com o intuito de analisar o impacto no processo projetual, desde as primeiras decisões.

O trabalho foi desenvolvido a partir de seis estudos de caso, que abrangiam, principalmente, os usos de escritório e salas de aula. O fluxo de informações para análise do projeto foi organizado em três grupos: pré-análise, modelagem e simulação, e pós-simulação, conforme Figura 1. A pré-análise abordou a compreensão do projeto e seu potencial de desempenho. A modelagem e simulação reuniu as principais informações do projeto no programa de simulação DesignBuilder (DESIGNBUILDER..., 2005), escolhido por permitir o uso de padrões, arquivos pré-configurados e por apresentar recursos que facilitam as análises, como gráficos de balanço térmico, horário e análises designadas pelo

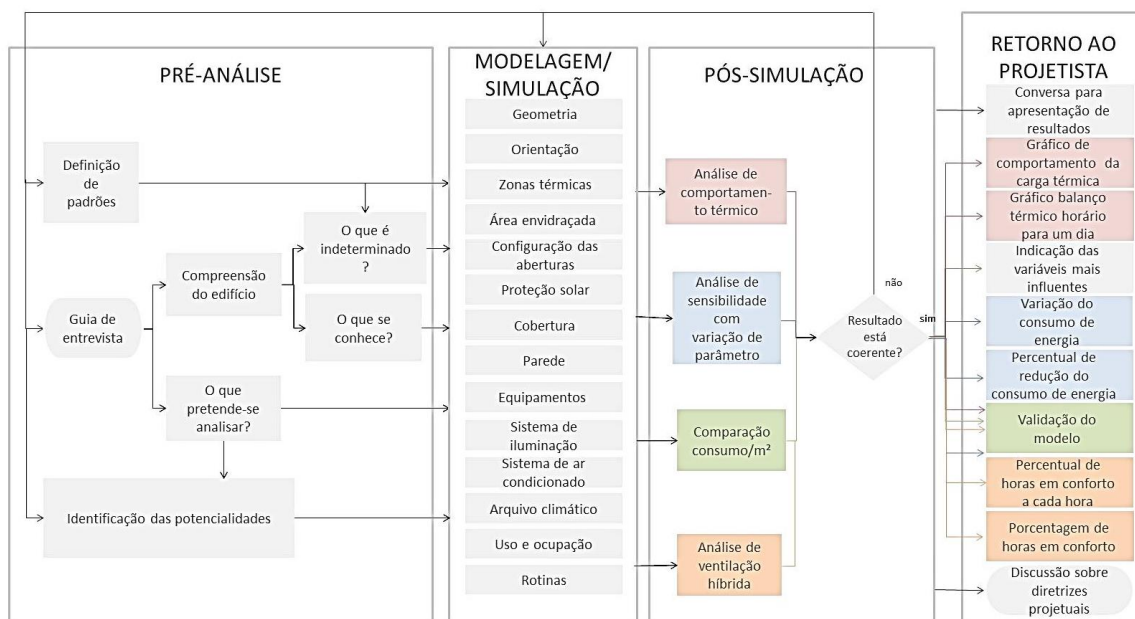
programa como paramétricas. A pós-simulação compreendeu o tratamento dos resultados brutos da simulação, com a análise específica para as metas e síntese compreensível ao projetista. Esses dados foram apresentados e entregues ao projetista. Os passos se repetiram enquanto houve potencial de melhoria da edificação ou questionamentos por parte do projetista. O processo se concluiu ao atingir a meta ou esgotar as alternativas. Os procedimentos foram analisados na quarta etapa, considerando a relação entre as características do modelo e as características da integração entre simulação e processo projetual.

Os procedimentos de análise de projeto proposto foram se desenvolvendo ao longo dos estudos de casos. Por exemplo, a simulação do primeiro caso e a análise dos resultados geraram subsídios para melhorar a definição dos padrões, modelo e análise. Essa retroalimentação foi incorporada no procedimento 2 na simulação do caso 2. A retroalimentação seguiu por todos os casos, durante os quais, à medida que se avançava, percebiam-se novas possibilidades de melhora na proposta final do procedimento.

Pré-análise

A fase de pré-análise precedeu a modelagem e por isso focou a compreensão das características do edifício e da programação arquitetônica que influenciam o desempenho.

Figura 1 - Fluxo de informações para análise de projeto



Nota: as cores das setas e das caixas do retorno ao projetista correspondem a dados obtidos a partir das análises com caixas de mesma cor.

Foram identificadas as características definidas no projeto que poderiam ser alteradas e as que não poderiam, e as características ainda indefinidas (Figura 1). Foi desenvolvido um guia de entrevistas com *checklist* para auxiliar no levantamento de dados, na definição de padrões para otimizar o processo e na identificação das potencialidades de melhoramento do desempenho.

O guia de entrevista é um roteiro de informações obtidas com o projetista que abordou o projeto e sua programação arquitetônica. Essa ferramenta complementou os esboços iniciais porque apenas algumas decisões foram tomadas nas primeiras fases. O guia proporcionou a compreensão das restrições consideradas pelo projetista e as possibilidades para o atendimento das metas, delimitando o campo de soluções projetuais no qual as alternativas projetuais se encontravam. O guia baseou-se em Peña e Parshall (2001), nos dados de entrada necessários para a modelagem (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2000-2005), e nos dois primeiros casos simulados, que demonstraram a necessidade de aperfeiçoamento do diálogo com o projetista. Os principais aspectos que se procurou identificar foram:

- (a) fatos, como o clima e o tipo de edificação, que têm grande influência dos aspectos já definidos no projeto e auxiliam a caracterização do modelo;
- (b) metas, como valores ou classificações de desempenho a serem alcançados, que influenciam na variação do modelo a ser simulado; e
- (c) restrições, como preservação de estilo arquitetônico e características relativas ao partido do projeto, que interferem na liberdade de modificação do projeto e, conseqüentemente, nas variações simuladas.

O guia de entrevista foi dividido em duas partes principais: programação projetual e projeto. A primeira parte apresentou quatro perguntas abertas para que o projetista tivesse liberdade para mencionar os aspectos mais importantes considerados no seu projeto. Essas questões permearam o objetivo do projeto, as metas termoenergéticas almejadas, o conceito utilizado no projeto e os condicionantes. As duas questões seguintes abordaram os conceitos de conforto ambiental e eficiência energética, bem como as estratégias que o projetista se propôs a usar para o atendimento dos conceitos.

A segunda parte do questionário contemplou os dados de entrada da simulação. As perguntas assumiram formatos de sim e não, para confirmar se o projetista pensou sobre elas no seu projeto. Foram apresentados níveis de solução, a exemplo da planta baixa com definição de ambientes ou

apenas zoneamento. A escolha do “não” como resposta indicou que o item ainda se encontrava em aberto no projeto. Ao final de cada questão foi inserido um campo de observação para indicar o tipo de material (catálogo, esquema, plantas, dentre outros) entregue ao consultor de acordo com a opção escolhida. Essa parte foi dividida em nove questões sobre volumetria, orientação, distribuição dos ambientes, configuração de aberturas, emprego de proteção solar, materiais de fechamento, projeto de iluminação artificial, projeto de ar condicionado e horário de ocupação da edificação (DESIGNBUILDER..., 2005). As informações sobre os materiais de envoltória foram ilustradas utilizando figuras do catálogo presente em Brasil (2013), exemplificando o detalhamento.

Modelagem

A fase de modelagem reproduziu as características do projeto, levantadas anteriormente, no programa de simulação DesignBuilder (DESIGNBUILDER..., 2005). As principais informações foram clima, geometria, orientação da implantação, zonas térmicas, áreas envidraçadas, proteção solar e configuração das aberturas, materiais de parede e cobertura, rotinas de uso e ocupação e das densidades de potência instaladas de equipamento, iluminação e condicionamento de ar.

Para o condicionamento de ar, foram realizadas duas simulações por caso, uma utilizando ar condicionado, conforme projeto de ar condicionado (casos 5 e 6) ou conforme padrões detalhados a seguir. A segunda simulação considerou o uso de ventilação natural, consoante com as rotinas de ocupação do edifício e percentual de abertura conforme configuração da janela constante no projeto. A simulação foi realizada hora a hora, de acordo com o cálculo do programa baseado nos coeficientes de pressão, abertura das janelas e frestas (DESIGNBUILDER..., 2005). Apenas o caso 1 não utilizou a simulação de condicionamento de ar artificial, já que o método ainda estava em processo de definição e o átrio não previa o uso de ar condicionado.

Os itens em aberto, ainda indefinidos pelo projetista, porém necessários para a simulação, foram caracterizados por meio de padrões com base na ocupação e nos sistemas de iluminação e ar condicionado, mostrados na Tabela 1. As informações para os padrões foram obtidas por meio de referências bibliográficas e valores automáticos da biblioteca do programa de simulação (*default*) (DESIGNBUILDER..., 2005).

Na caracterização dos materiais utilizou-se dois critérios. O primeiro foi a recorrência e correspondeu a materiais comumente utilizados e que não são necessariamente eficientes. Considerou-se a parede de alvenaria comum com transmitância de 2,43 W/m²K, para os casos com cobertura inclinada, a laje maciça e telha de fibrocimento, com transmitância de 2,06 W/m²K, para os casos com cobertura plana, a laje maciça com transmitância de 3,73 W/m²K e vidro incolor com fator solar de 0,87. O segundo critério foi o potencial dos materiais para contribuir para a eficiência. Considerou-se telha sanduíche com transmitância de 0,55 W/m²K (BRASIL, 2013), a parede de bloco de concreto leve de 45 cm x 55 cm x 10 cm com transmitância de 0,14 W/m²K (BEZERRA, 2003) e vidro verde com fator solar de 0,31. Um dos dois critérios foi aplicado ao modelo, de acordo com a intenção do projetista e a liberdade de modificação do projeto para esse item. Assim, apenas os casos 1 e 3 utilizaram os sistemas eficientes.

Foram adotados arquivos climáticos do tipo TRY (*test reference year*), no formato epw (UNIVERSIDADE..., 2014) para as edificações em Natal, RN, e o arquivo climático no formato epw gerado por Roriz Engenharia Bioclimática S/S

Ltda. (2012) para a edificação em Mossoró, RN. Todas as simulações foram realizadas pela autora da pesquisa.

Pós-simulação

A fase de pós-simulação correspondeu ao tratamento dos dados para proporcionar informações sucintas, respostas objetivas e recomendações aos projetistas.

A primeira das análises identificou as características de projeto associadas às principais cargas térmicas para resfriamento da edificação, sendo elas: vidros (radiação solar), ocupação, equipamentos, iluminação artificial, paredes internas, piso, cobertura, paredes e vidro (condução). Avaliou-se a coerência dos resultados, como participação nas fontes de carga térmica em relação ao tipo de edificação e uso, a magnitude das cargas, e o consumo de energia anual por área (PEDRINI; LAMBERTS, 2001; PEDRINI *et al.*, 2014). O objetivo foi testar os dados obtidos na pré-análise, corrigir as fontes de inconsistências, refinar as caracterizações das variáveis mais influentes e simplificar as menos influentes, quando necessário, para a otimização das simulações.

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

Dados de entrada do padrão por tipo		Ocupação/Fonte			
		Escritórios	Fonte	Sala de aula	Fonte
Ocupação	Atividade	Sentado digitando	DesignBuilder Software LTD (2005)	Sentado	DesignBuilder Software LTD (2005)
	Ocupação média	0,12	Carlo (2008)	0,12	Carlo(2008)
	Rotina	9-18h; 18-22h	Carlo (2008)	7-12h30;13-18h30; 18h45-22h15	UFRN (2014)
Densidade de carga interna	Equipamento	17,3 W/m ²	Carlo (2008)	4,7 W/m ²	DesignBuilder Software LTD (2005)
	Rotina	9-18h; 18-22h	Carlo (2008)	7-12h30;13-18h30; 18h45-22h15	UFRN (2014)
	Iluminação	9,7 W/m ²	Brasil (2010)	5 W/m ²	DesignBuilder Software LTD (2005)
	Rotina	9-18h; 18-22h	Carlo (2008)	7-12h30;13-18h30; 18h45-22h15	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 (2005)	3,0	INMETRO (2005)
	Rotina	9-18h; 18-22h	Carlo (2008)	7-12h30;13-18h30; 18h45-22h15	UFRN (2014)
	Taxa de infiltração	0,7 ac/h	DesignBuilder Software LTD (2005)	0,7 ac/h	DesignBuilder Software LTD (2005)
	Set point resfriamento	24 °C	Carlo (2008) e ABNT (2008)	24 °C	ABNT (2008)

Fonte: Rodrigues e Pedrini (2015).

A segunda análise abordou a sensibilidade das características do projeto com relação à variação de parâmetro. Essa análise teve como critério a verificação da redução da carga térmica para resfriamento ocorrida com a alteração de parâmetros de maior influência no desempenho, como o percentual de sombreamento das aberturas e as taxas de renovação de ar. Também foram analisadas as variáveis que respondiam às dúvidas do projetista. Para essas análises específicas não se aplicava o uso de padrões e sim o detalhamento correspondente às questões trazidas, como a análise de quatro tipos de cobertura diferentes ou da variação do percentual de abertura da fachada.

A terceira análise abarcou o potencial de utilização de ventilação híbrida. Para tanto, a simulação da ventilação natural foi utilizada para verificar a quantidade de horas em conforto, em desconforto ao calor, em desconforto ao frio e em conforto no caso de haver movimento de ar sobre a pele do usuário. A análise seguiu o modelo adaptativo, como temperatura de conforto térmico proposta por De Dear e Brager (2002) (Eq. 1):

$$T_c = 0,31T_{\text{média ext.}} + 17,8 \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo:

T_c : temperatura de conforto térmico (°C); e

$T_{\text{média ext.}}$: temperatura média do ar externo dos últimos 30 dias (°C).

Os limites de conforto para edificações naturalmente ventiladas são definidos por $T_c \pm 2,5^\circ\text{C}$ para 90% de pessoas satisfeitas e $T_c \pm 3,5^\circ\text{C}$, para 80%. Denominada de *adaptive comfort standard* (ACS), o modelo é aplicável a temperaturas entre $10\text{-}33^\circ\text{C}$ e em espaços definidos pelas condições (DEAR; BRAGER, 2002) em que a influência da temperatura do ar, temperatura radiante média e velocidade do ar podem ser consideradas empregando a ASHRAE Standard 55 (AMERICAN..., 2004) (OLESEN, 2000), conforme o gráfico de superfície a seguir. Aplica-se para uma pessoa com roupa leve (entre 0,5 e 0,9 clo) com atividade física quase sedentária com taxa metabólica entre 1,0 e 1,3 met.

Retorno ao projetista

O retorno do resultado das simulações aos projetistas ocorreu em forma de conversa para facilitar a explicação dos resultados, de forma simples e objetiva, detendo-se na relação entre causa e efeito. Por exemplo, o ganho térmico por radiação solar em aberturas foi explicado pela importância do vidro ou pelo sombreamento, sem entrar no mérito do fator solar do vidro. As estratégias foram discutidas no nível conceitual, de maneira que o projetista pudesse tomar decisões

mais adequadas, considerando os demais aspectos que envolvem o projeto. Após a reunião, os resultados eram enviados em forma de relatório.

Análise do processo de integração

O método de análise do processo de integração foi qualitativo. As influências das características de integração foram sistematizadas e as relações entre as características da integração e as características do modelo a cada simulação foram mapeadas. Inicialmente levantou-se os dados definidos pelo projetista e os que precisaram ser decididos pelo consultor. A partir dessas informações foi possível compreender as restrições relativas ao partido do projeto e, portanto, as possíveis modificações, caracterizadas pela liberdade de modificação. Foram identificadas quais características da edificação foram mais variadas nas simulações e quais características apresentaram maior impacto no desempenho termoenergético da edificação.

O cruzamento desses quesitos com as características do modelo foi analisado quanto à intensidade: nenhuma (x), pequena (circunferência menor), média (circunferência intermediária) ou grande (circunferência maior). Na linha referente ao “impacto no desempenho” as circunferências assumiram duas características diferentes: preenchimento na cor preta para os casos em que a qualificação foi obtida por meio da simulação; preenchimento na cor cinza para os casos obtidos por outros meios, como da experiência da consultora. Dessa forma, as circunferências constituíram uma escala crescente que variou de 0 a 4, sendo o primeiro correspondente a nenhum, o 3 à circunferência grande na cor cinza e o 4 à circunferência grande preta ou a circunferência grande vazada.

As análises das interações entre os projetistas e a consultora dividiu os projetistas em arquitetos (apenas o arquiteto do caso 4) e projetistas de *retrofit*. Nesse último, incluem-se engenheiros que projetem *retrofit*. Nessa análise do processo de integração entre os profissionais não foram considerados os casos em que a consultora fez parte do grupo de arquitetos porque se entende que a interação sempre será muito alta, uma vez que as dúvidas geradas pela simulação serão automaticamente consultadas e as decisões tomadas, otimizando e acelerando o processo.

Caracterização dos casos

A seleção dos casos (Quadro 1) considerou o atendimento do projeto aos seguintes critérios: estar nas fases iniciais de desenvolvimento, ter o desempenho termoenergético como meta, ter

informações disponíveis e possibilitar fácil interação com os projetistas. Foram identificados seis casos que atendiam aos critérios, sendo três projetos de novas edificações (casos 1, 3 e 4) e três projetos de *retrofit*¹ (casos 2, 5 e 6). Nos casos 1 e 3 a autora atuou como membro da equipe de projetistas e consultora e nos demais casos (2, 4, 5 e 6) a autora atuou como consultora, gratuitamente. Os casos colaborativos ocorreram

com projetos do Curso de Mestrado Profissional em “Arquitetura, Projeto e Meio Ambiente” do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. São casos que atendem os critérios de seleção satisfatoriamente e que favorecem as análises porque são projetos com reflexão mais apurada que o usual e com maior nível de comprometimento em relação à qualidade do projeto.

Quadro 1 - Casos selecionados

CASO	IMAGEM	NOME	USO
CASO 1	 Nota: Desenvolvida pela autora	Instituto Senai de Tecnologia Petróleo e Gás	Escritório
CASO 2	 Fonte: Machado (2014).	Edifício Sede da Unimed Natal	Escritório
CASO 3	 Nota: Desenvolvida pela autora	Edifício do Centro Brasil – Alemanha de Pesquisa, Formação Profissional e Educação Ambiental	Escritório/Salas de aula
CASO 4	 Fonte: Maranhão (2014)	Complexo Cultural Funcart	Sala de aula
CASO 5	 Fonte: Machado (2014)	Edifício Sede do Instituto de Aposentadoria e Pensão dos Servidores do Estado	Escritório
CASO 6	 Fonte: Machado (2014)	Associação Atlética Banco do Brasil (AABB)	Salão de festas

Os estudos de *retrofit* estão localizados em Natal (Figura 2), zona bioclimática 8, e foram escolhidos para análise por serem edificações modernistas de pequeno, médio e grande porte, respectivamente: o Edifício Sede da Unimed Natal (caso 2), a Associação Atlética Banco do Brasil (AABB) (caso 6), e o Instituto de Aposentadoria e Pensão dos Servidores Estaduais (Ipase) (caso 5).

Dos projetos de novos edifícios, os casos 3 e 4 localizam-se em Natal, na zona bioclimática 8, e o caso 1 em Mossoró, na zona bioclimática 7. Todos os casos analisados estão listados no Quadro 1 e localizados geograficamente na Figura **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.2**.

Resultados e discussões

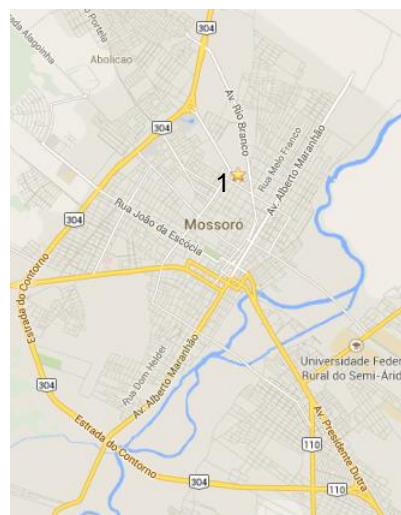
A modelagem do caso 1 ocorreu na fase de esboço (Figura 3) e utilizou os padrões de sistemas

construtivos eficientes. A dúvida dos projetistas se restringiu ao uso da ventilação natural no pátio interno (Figura 4), para o qual seu uso levou a ocorrência de 76% das horas do ano em conforto (Figura 5). Assim, houve baixa variabilidade nas simulações. A maior parte das características do modelo foi bem definida pelo projetista, com exceção das zonas térmicas e materiais das paredes, definidas com rigor intermediário, e da configuração das aberturas e do sistema de iluminação, que apresentaram baixa definição (Quadro 2). Observou-se grande liberdade de modificação vinculada ao fato de o consultor fazer parte da equipe de projeto, exceto para a orientação e a geometria, que foram associadas a restrições da programação arquitetônica.

Figura 2 - Localização dos casos destacados com estrelas



(a) Brasil, Rio Grande do Norte, cidades de Mossoró



(b) Caso 1 em Mossoró



(c) Demais casos em Natal

Fonte: adaptado de Google Maps (2014).

¹Retrofits são ajustes em elementos arquitetônicos e/ou equipamentos que visam melhorar seu desempenho e/ou operação (MORAES, 2011 apud MACHADO, 2014).

Figura 3 - Edifício modelado no DesignBuilder

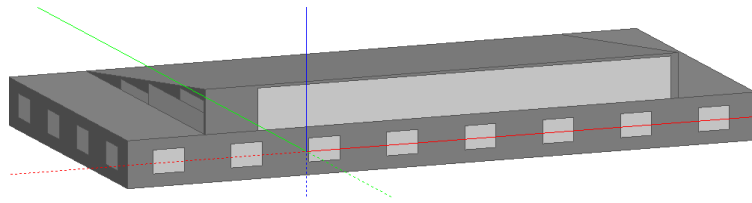
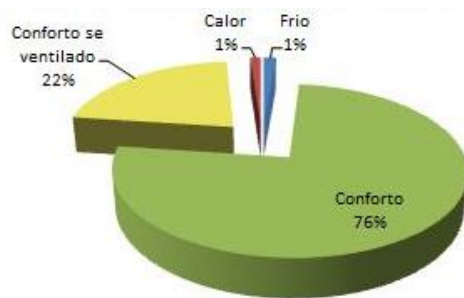


Figura 4 - Vista do pátio interno simulado



Figura 5 - Percentual de horas em conforto



Com a simulação voltada apenas para a ventilação natural, observou-se que as variáveis que causavam maior impacto no desempenho foram a configuração das aberturas, a geometria, a orientação, a proteção solar, a cobertura e o sistema de condicionamento de ar (Quadro 2). As três primeiras características foram identificadas com base nos estudos precedentes, nos quais dezenas de simulações demonstram que tais aspectos apresentam grande influência para esse tipo de edificação (PEDRINI, 2003; LIMA, 2007; VENÂNCIO, 2007). O impacto das demais características foram observadas nos resultados das simulações.

O caso 2 consistiu no *retrofit* de uma edificação modernista (Figura 6). A análise de cargas térmicas de resfriamento indicou principal ganho térmico pela cobertura (Figura 7). Observou-se, por meio dos dados horários de saída referente a trocas de ar, com valores de até 14 renovações por hora, que as frestas eram significativas na redução da eficiência do ar condicionado. Esses fatores levaram à investigação da variação do número de renovação e do material da cobertura (Figura 8). As coberturas testadas foram alternativas apresentadas pelo próprio projetista: cobertura atual em laje de concreto maciço (2,45 W/m²K), cobertura atual sobreposta por uma manta aluminizada (2,35 W/m²K); cobertura atual sobreposta por telha de alumínio com uma camada de isolamento térmico (0,86 W/m²K) e cobertura

atual sobreposta por telha sanduíche (0,70 W/m²K). Por fim, a análise do potencial de ventilação híbrida demonstrou que as horas do ano em conforto poderiam chegar a 95%, caso se utilizasse e garantisse o movimento de ar na pele do usuário (Figura 9).

Fatores como a edificação já ser construída e possuir traços modernistas a serem preservados influenciaram na alta definição da maior parte das características, sendo apenas a configuração das aberturas, de definição média e cobertura pouco definida, ou seja, o projeto estava com essa informação ainda em aberto. Da mesma forma, foram restringidas as alterações de geometria, orientação, área envidraçada e paredes da edificação. Apenas a configuração das aberturas, a cobertura e o condicionamento de ar apresentaram grande intensidade de liberdade de modificações, conforme simulações. O impacto do elemento de sombreamento existente no edifício foi avaliado por meio dos resultados de desempenho, demonstrando que a carga térmica decorrente da radiação solar direta nas aberturas era baixa devido à proteção. Apesar de não ter sido apontado diretamente na simulação, constatou-se que esse edifício também apresentava grande influência da geometria, orientação, zonas térmicas e da área envidraçada (Quadro 3) porque esses fatores haviam sido projetados adequadamente para a zona bioclimática 8.

Quadro 2 - Síntese do processo de integração no caso 1 - FIERN

Característica da integração \ Característica do modelo	Geometria	Orientação	Zonas térmicas	Área envidraçada	Configuração das aberturas	Proteção solar	Cobertura	Parede	Sistema de iluminação	Condicionamento de ar
Definição do projetista	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Liberdade de modificação	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Variabilidade na simulação	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Impacto no desempenho	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Legenda para grau de intensidade:	○	○	○	○
	Nenhum	Baixa	Média	Alta
	●	●	●	●
	Baixa usando simulação	Média usando simulação	Alta usando conhecimento precedente	Alta usando simulação

Figura 6 - Modelo caso 2 - Unimed

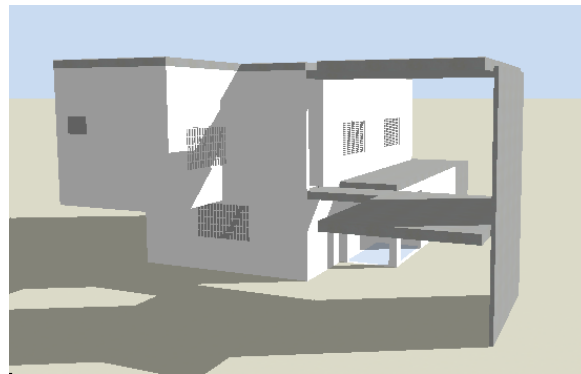


Figura 7 - Carga térmica de resfriamento - Caso 2

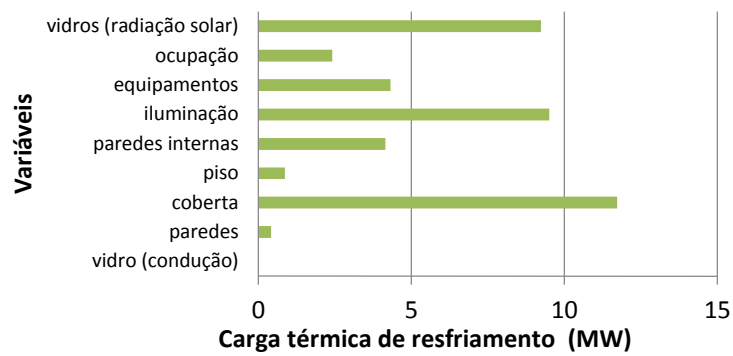


Figura 8 - Análise de sensibilidade por variação de parâmetro - Caso 2

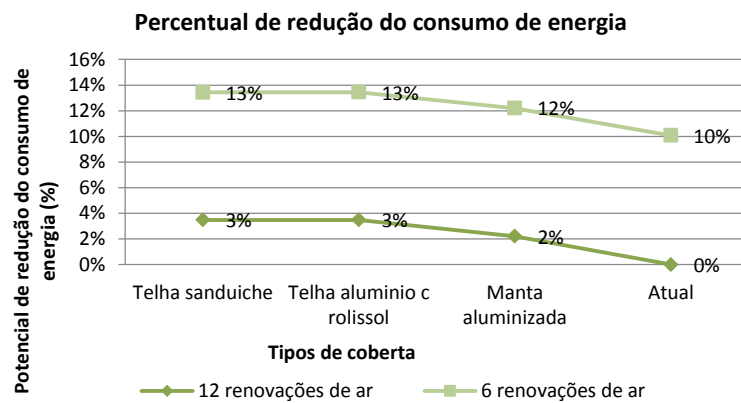
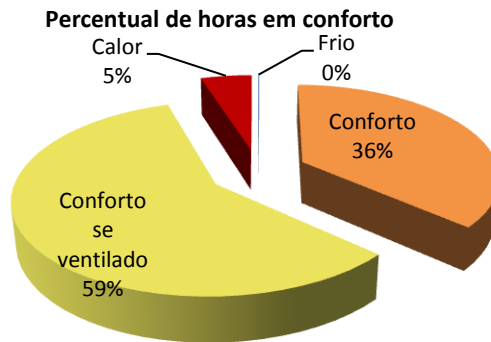


Figura 9 - Percentual de horas em conforto - Caso 2



Quadro 3 - Síntese do processo de integração no caso 2 - Unimed

Característica do modelo / Característica da integração	Característica do modelo									
	Geometria	Orientação	Zonas térmicas	Área envidraçada	Configuração das aberturas	Proteção solar	Cobertura	Parede	Sistema de iluminação	Condicionamento de ar
Definidos pelo projetista	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Liberdade de modificação	✗	✗	○	✗	○	○	○	✗	○	○
Variabilidade na simulação	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Impacto no desempenho	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Legenda para grau de intensidade:	✗	○	○	○
	Nenhum	Baixa	Média	Alta
	●	●	●	●
	Baixa usando simulação	Média usando simulação	Alta usando conhecimento precedente	Alta usando simulação

Para o caso 3, os projetistas possuíam amplo domínio sobre as diretrizes bioclimáticas para o clima quente e úmido (Natal, RN) e não possuíam muitas dúvidas para o desenvolvimento do projeto. Dessa forma, foi possível simular as ideias iniciais do grupo (Figura 10) com padrões de sistemas construtivos eficientes. Esse caso apresentou os ganhos internos (Figura 11) como as principais fontes de calor da edificação, o que sugere que a envoltória esteja bem resolvida. Como diretriz para o desenvolvimento do anteprojeto, apresentou-se uma atenção especial quanto à especificação das proteções solares, já que elas seriam muito importantes para reduzir os ganhos térmicos provenientes da radiação solar. A análise de potencial de uso de ventilação natural demonstrou que as janelas precisariam ficar abertas após o horário de funcionamento para que o excesso de calor fosse removido. Assim, seria possível atingir 43% das horas em conforto e mais 48% se estivesse garantido o movimento de ar na pele do usuário (Figura 12).

O caso 3 estava ainda na fase de pré-projeto e haviam sido definidas com rigor apenas as zonas

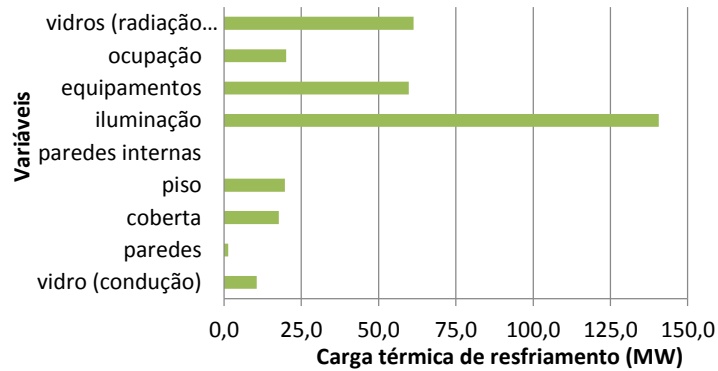
térmicas, a cobertura e o condicionamento de ar. A geometria, a orientação e a proteção solar foram definidas de forma intermediária e as demais características foram pouco definidas. Devido às poucas definições projetuais e à participação da consultora na equipe de projeto, observou-se uma alta intensidade de liberdade de modificação. No entanto, com o pouco tempo disponível para o desenvolvimento do projeto e sua interrupção, a alta variação de simulações ficou impossibilitada e foram viabilizados apenas o estudo do condicionamento híbrido. Assim, o caso 3 apresentou, pela simulação, grande impacto no desempenho, decorrente da proteção solar, cobertura, configuração de aberturas e condicionamento de ar. Considerou-se que a geometria, a orientação, as zonas térmicas e a área envidraçada também apresentam grande influência sobre o desempenho, de acordo com precedentes (Quadro 4). O entendimento de que as zonas térmicas têm alto impacto deve-se ao fato de a zona condicionada naturalmente atuar como amortecedor, impedindo que o calor seja transmitido diretamente para a zona condicionada.

Figura 10 - Modelo IBRALI - Caso 3



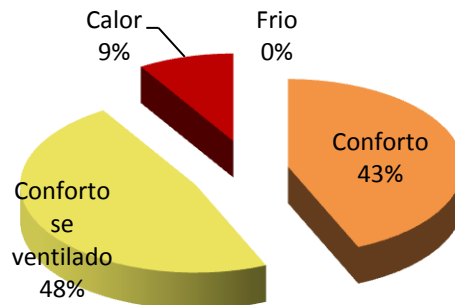
Fonte: Rodrigues e Pedrini (2015).

Figura 11 - Carga térmica de resfriamento - Caso 3



Fonte: Rodrigues e Pedrini (2015).

Figura 12 - Horas em conforto - Caso 3



Fonte: Rodrigues e Pedrini (2015).

Quadro 4 - Síntese do processo de integração no caso 3 - Ibraili

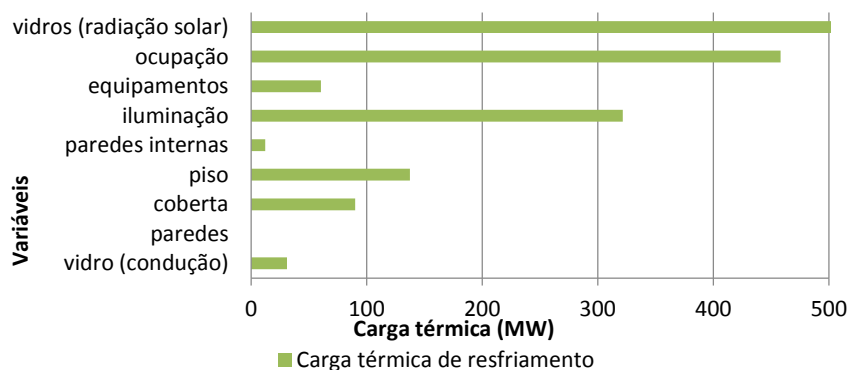
Característica do modelo / Característica da integração	Geometria	Orientação	Zonas térmicas	Área envidraçada	Configuração das aberturas	Proteção solar	Cobertura	Parede	Sistema de iluminação	Condicionamento de ar
Definidos pelo projetista	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Liberdade de modificação	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Variabilidade na simulação	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Impacto no desempenho	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Legenda para grau de intensidade:	✘	○	○	○
	Nenhum	Baixa	Média	Alta
	●	●	●	●
	Baixa usando simulação	Média usando simulação	Alta usando conhecimento precedente	Alta usando simulação

Figura 13 - Modelo Funcart com 100% de PAFT e 0% de sombreamento - Caso 4



Figura 14 - Carga térmica da Funcart - Caso 4



O caso 4 buscou esclarecer as seguintes dúvidas do projetista:

(a) Uma fachada 100% envidraçada e 100% sombreada poderia ter desempenho semelhante a uma fachada 50% envidraçada e 100% sombreada? e

(b) Seria possível utilizar ventilação híbrida? Em quais horários seria possível utilizar a ventilação natural?

Iniciou-se a simulação (Figura 13) pelo caso da fachada 100% envidraçada e sem nenhum sombreamento, para a qual se confirmou a maior fonte de carga térmica proveniente da radiação incidente nos vidros (Figura 14). Seguiu-se para a análise de sensibilidade com variação de parâmetro na qual foram consideradas as áreas de fachada 100% envidraçada e 50% envidraçada, ambas com 100% de sombreamento e 50% de sombreamento. O resultado demonstrou que a superfície envidraçada 100% sombreada possui potencial semelhante para 100% ou 50% de vidro na fachada (Figura 15). Para o potencial de utilização de ventilação híbrida percebeu-se a ocorrência de 34% das horas em conforto e mais 64% das horas em conforto se garantido o movimento de ar (Figura 16).

Esse caso chegou à consultora com as características do modelo bem definidas. Apenas a área envidraçada, a configuração das aberturas e a proteção solar estavam com uma definição intermediária, tendo em vista as dúvidas trazidas pelo projetista. Além disso, a parede e o sistema de iluminação estavam pouco definidos porque não eram relevantes para a fase de esboço, de acordo com o projetista (Quadro 5Quadro 5).

Mesmo com as muitas definições do projeto, o projetista permitiu intensamente a modificação das características, exceto na geometria e orientação, que não podiam ser modificadas devido à programação arquitetônica; nas zonas térmicas, com pouca liberdade; e nas áreas envidraçadas e na configuração de aberturas que apresentaram liberdade intermediária (Quadro 5Quadro 5). Para essas últimas, havia diretrizes.

Assim, a simulação focou na área envidraçada, proteção solar, condicionamento ambiental com grande intensidade e configuração das aberturas com intensidade média. Por fim, o impacto foi elevado e demonstrado pela simulação, sendo ainda constatados impactos da geometria, orientação e cobertura.

Figura 15 - Análise de sensibilidade por variação de parâmetro - Caso 4

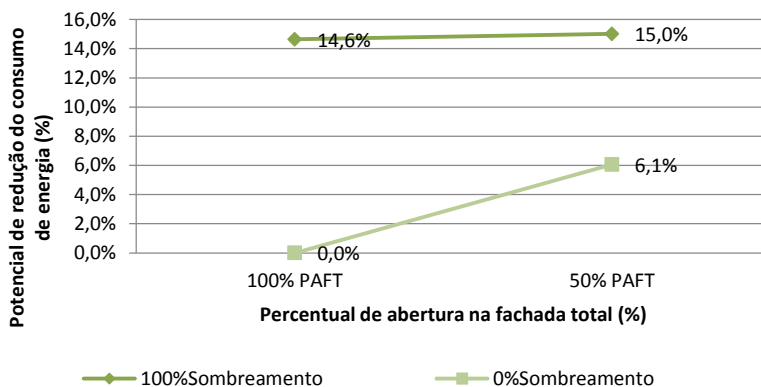
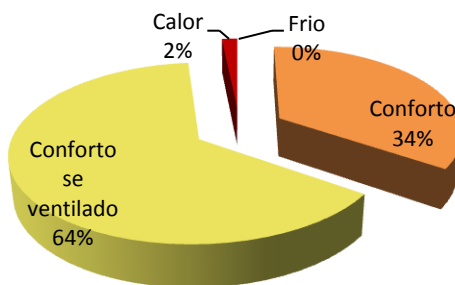


Figura 16 - Percentual de horas em conforto - Caso 4



Quadro 5 - Síntese do processo de integração no caso 4 - Funcart

Característica da integração	Característica do modelo									
	Geometria	Orientação	Zonas térmicas	Área envidraçada	Configuração das aberturas	Proteção solar	Cobertura	Parede	Sistema de iluminação	Condicionamento de ar
Definidos pelo projetista	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Liberdade de modificação	✗	✗	○	○	○	○	○	○	○	○
Variabilidade na simulação	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Impacto no desempenho	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Legenda para grau de intensidade:	✗	○	○	○
	Nenhum	Baixa	Média	Alta
	●	●	●	●
	Baixa usando simulação	Média usando simulação	Alta usando conhecimento precedente	Alta usando simulação

O caso 5 foi o projeto de *retrofit* de uma edificação modernista de grande porte (Figura 17). O projetista solicitou o desempenho na edificação para três alternativas de fachada: abertura na fachada oeste de 60% e na fachada total com 60% e 100%. A análise das principais fontes de carga térmica (Figura 18) indicou que os casos sem sombreamento apresentavam grande influência da radiação solar direta, o que não ocorreu para os casos sombreados. Em todas as alternativas a iluminação artificial teve grande peso, devido ao padrão utilizado ser pouco eficiente, aspecto que

deveria ser melhorado pelo projetista. A análise de sensibilidade com variação de parâmetro demonstrou um desempenho muito similar para a redução do consumo de energia nas alternativas 2 e 3, com sombreamento de 100% (Figura 19). A análise de potencial de ventilação natural demonstrou que se pode chegar a até 96% das horas em conforto com movimento de ar (Figura 20).

Esse caso apresentou características muito definidas, como a geometria, a orientação, as zonas térmicas, a configuração das aberturas, as

características de paredes, o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar. A área envidraçada, a proteção solar e a cobertura apresentavam definição intermediária. A preservação dos traços arquitetônicos do edifício levou à baixa liberdade de modificação, sendo a geometria, a orientação e a configuração das aberturas sem possibilidade de mudança, as zonas térmicas e o sistema de iluminação com pouca liberdade, as áreas envidraçadas e a proteção solar

com liberdade intermediária e a cobertura e paredes com liberdade elevada. Diante desses fatores e do entendimento do clima, foi possível uma alta variabilidade da simulação para as características de área envidraçada, proteção solar e condicionamento de ar, sendo esses muito significativos no consumo de energia, assim com a geometria e a orientação, esses dois últimos baseados em casos precedentes (Quadro 6).

Figura 17 - Modelo Ipase - Caso 5

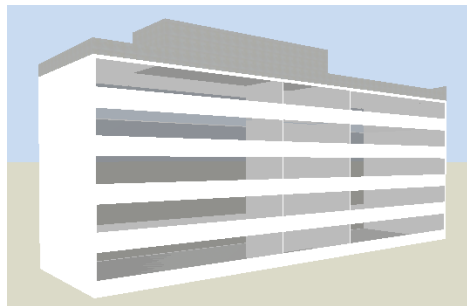


Figura 18 - Carga térmica para resfriamento - Caso 5

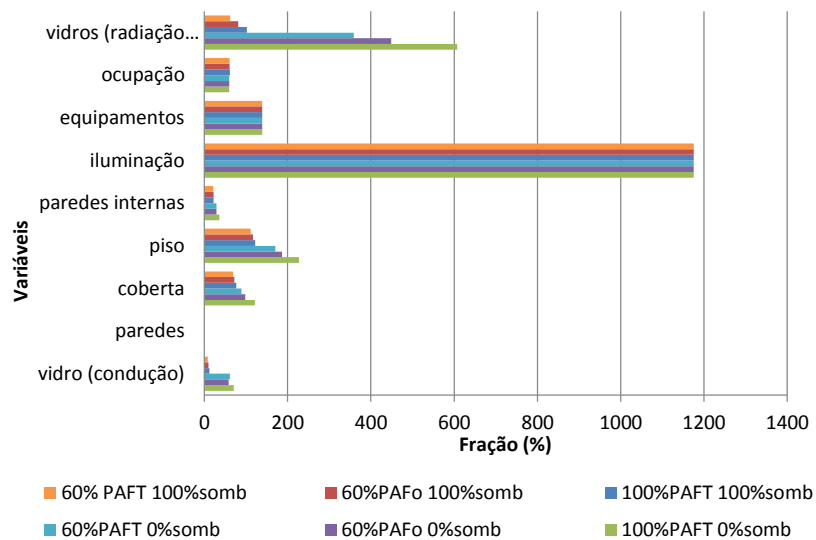


Figura 19 - Análise de sensibilidade com variação de parâmetro - Caso 5

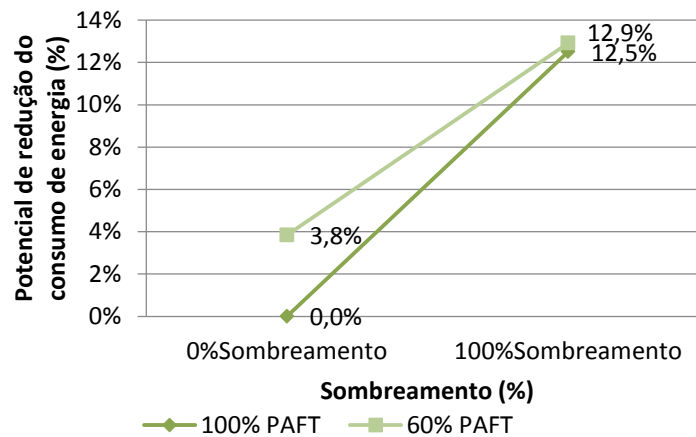
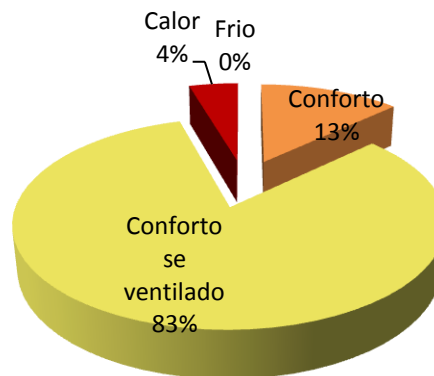


Figura 20 - Percentual de horas em conforto - Caso 5



Quadro 6 - Síntese do processo de integração no caso 5 - Ipase

Característica da integração	Característica do modelo									
	Geometria	Orientação	Zonas térmicas	Área envidraçada	Configuração das aberturas	Proteção solar	Cobertura	Parede	Sistema de iluminação	Condicionamento de ar
Definidos pelo projetista	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Liberdade de modificação	✘	✘	○	○	✘	○	○	○	○	○
Variabilidade na simulação	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Impacto no desempenho	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Legenda para grau de intensidade:

- ✘ Nenhum
- Baixa
- Média
- Alta
- Baixa usando simulação
- Média usando simulação
- Alta usando conhecimento precedente
- Alta usando simulação

O caso 6 (Figura 21) consiste em um projeto de *retrofit* de médio porte. A avaliação inicial demonstrou que a principal fonte de cargas térmicas era a radiação solar, seguida pela cobertura (Figura 22). Assim, a análise de sensibilidade com variação de parâmetro cruzou duas opções de sombreamento: 100% e 0%, e quatro opções de cobertura: telha sanduíche, telha alumínio com isolante térmico, manta aluminizada

e cobertura original (Figura 23). O potencial de ventilação híbrida demonstrou que 58% das horas do ano estariam em conforto e mais 39%, com o movimento de ar (Figura 24).

O caso 6 apresentou uma interação muito parecida com o do caso 5, por também se tratar de um *retrofit*. As características relacionadas a geometria, orientação, zonas térmicas, área

envidraçada, configuração das aberturas, paredes, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar foram muito definidos pelo projetista. A cobertura e a proteção solar apresentaram definição intermediária. Da mesma maneira que o caso anterior, a liberdade de modificação foi baixa devido aos traços modernistas que deveriam ser preservados. Assim, não houve liberdade de modificação da geometria, orientação, zonas térmicas e configuração das aberturas; houve pouca liberdade de modificação das áreas envidraçadas; houve liberdade intermediária de modificação de parede; e houve grande liberdade de modificação de proteção solar, cobertura, sistema de iluminação e condicionamento de ar (Quadro).

O entendimento do comportamento térmico da edificação e do seu uso no turno noturno levou a focar a variabilidade de simulação para os itens proteção solar, cobertura e condicionamento de ar. Observou-se que as áreas envidraçadas, a proteção solar, a cobertura e o condicionamento de ar tiveram grande impacto no desempenho da edificação, a configuração das aberturas teve impacto intermediário, e as paredes, as zonas térmicas e o sistema de iluminação tiveram baixo impacto. Foi possível observar, por meio do conhecimento precedente, que a geometria e a orientação do edifício também tiveram grande impacto no desempenho (Quadro).

Figura 21 - Modelagem AAB - Caso 6

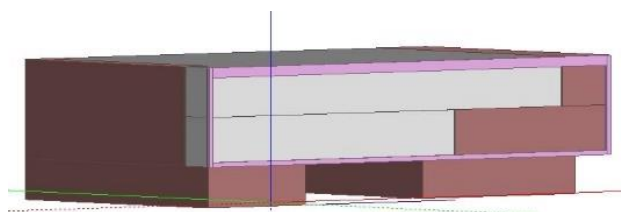


Figura 22 - Carga térmica para resfriamento - Caso 6

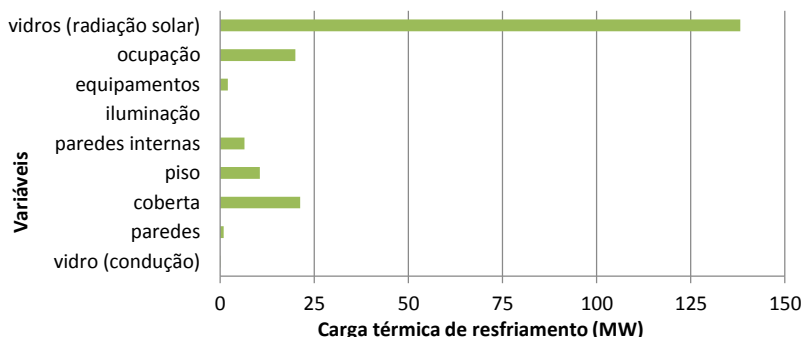


Figura 23 - Análise de sensibilidade com variação de parâmetro - Caso 6

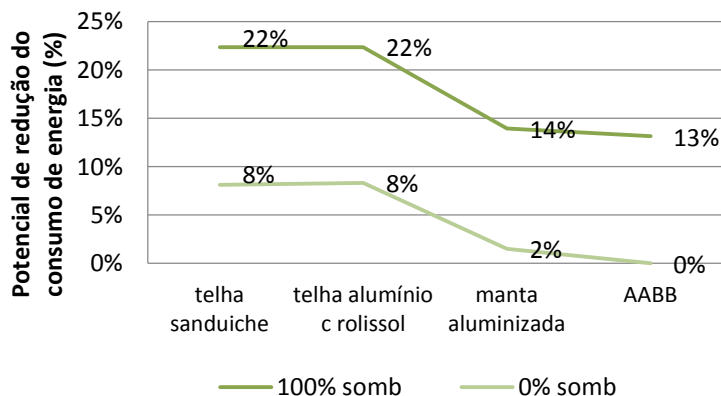
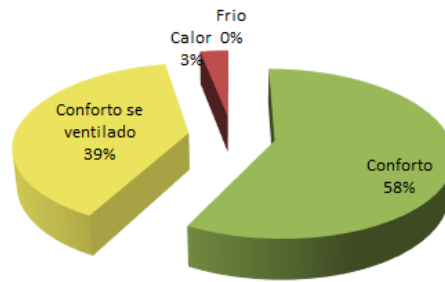


Figura 24 - Percentual de horas em conforto - Caso 6



Quadro 7 - Síntese do processo de integração no caso 6 - AABB

Característica do modelo	Geometria	Orientação	Zonas térmicas	Área envidraçada	Configuração das aberturas	Proteção solar	Cobertura	Parede	Sistema de iluminação	Condicionamento de ar
Definidos pelo projetista	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Liberdade de modificação	✗	✗	✗	○	✗	○	○	○	○	○
Variabilidade na simulação	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Impacto no desempenho	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Legenda para grau de intensidade:

- ✗ Nenhum
- Baixa
- Média
- Alta

● Baixa usando simulação ● Média usando simulação ● Alta usando conhecimento precedente

Para os seis casos estudados percebeu-se uma grande influência da área envidraçada, proteção solar e condicionamento de ar no impacto do desempenho. Esses aspectos estão diretamente ligados às diretrizes bioclimáticas da zona 8 e às exigências de sombrear aberturas e ventilar.

A pesquisa não se deteve na avaliação da geometria e da orientação porque foram restringidos pelos projetistas desde a fase de pré-projeto, devido a limitações de partido. Dessa maneira, a fase de pré-projeto encontra-se como uma fase definidora da liberdade de modificação. Registrou-se a importância do guia de entrevistas, que foi essencial para a compreensão do pré-projeto e da identificação de oportunidades de melhorias no desempenho. Constatou-se a otimização do processo por meio do estudo da variabilidade somente das características analisadas, a partir de uma análise prévia de sensibilidade.

Verificou-se, ainda, que as simulações apontaram para a intervenção em apenas duas variáveis principais, coerente com Lima (2007). Essas duas variáveis foram responsáveis por uma grande redução no consumo de energia. O uso dos padrões para as características ainda indefinidas pode ter contribuído para esse pequeno número de variáveis impactantes, a exemplo do padrão que definiu o uso de vidro verde nos projetos (casos 1, 3 e 4), devido ao baixo fator solar. Da mesma forma que

as cobertas propostas, sempre apresentaram absorvância solar baixa, de forma que permitisse focar a investigação na transmitância térmica do sistema proposto.

O uso desses padrões 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 consultora. 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.

Interação entre os projetistas e a consultora

A interação com o arquiteto buscou informações qualitativas no sentido de responder perguntas colocadas pelos projetistas como: “qual opção devo usar?” ou “isso funciona?”. Já com projetista de *retrofit*, os objetivos foram quantitativos, o intuito foi identificar “quanto do consumo de energia eu vou reduzir?”. Essa diferença foi motivada pelo objetivo do arquiteto em atingir uma meta de desempenho, enquanto o projetista de *retrofit* buscava atingir um determinado valor de relação custo benefício (RCB) a ser aprovada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).

Durante a pré-análise, a interação com o arquiteto contribuiu para caracterizar o modelo quanto a geometria, orientação, zonas térmicas, área envidraçada, configuração das aberturas e proteção solar. A caracterização de coberturas e paredes, em geral, foi definida na fase de detalhamento do projeto. Portanto, implicaram no uso de padrões nas primeiras fases do projeto. A caracterização do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento de ar também empregou padrões, devido à indefinição por parte do arquiteto (Figura 25).

Ainda na pré-análise, a compreensão da liberdade de modificação do projeto ficou muito evidenciada porque o arquiteto, guiado pelo questionário, explicou com detalhes tanto o partido do projeto quanto as restrições projetuais e, com isso, facilitou o entendimento dos tipos de análise que poderiam ser feitas.

A questão da definição de metas, por ser mais abstrata para o arquiteto, demonstrou-se de baixa interação. No entanto, a definição das potencialidades apresentou-se em forma de questões trazidas pelo profissional.

Na fase de modelagem, os itens relativos à rotina, ocupação e caracterização dos equipamentos tiveram que ser retomados, pois não estavam suficientemente expressos no questionário. A fase de pós-simulação não apresentou interação com o arquiteto, por se tratar de tratamento dos dados

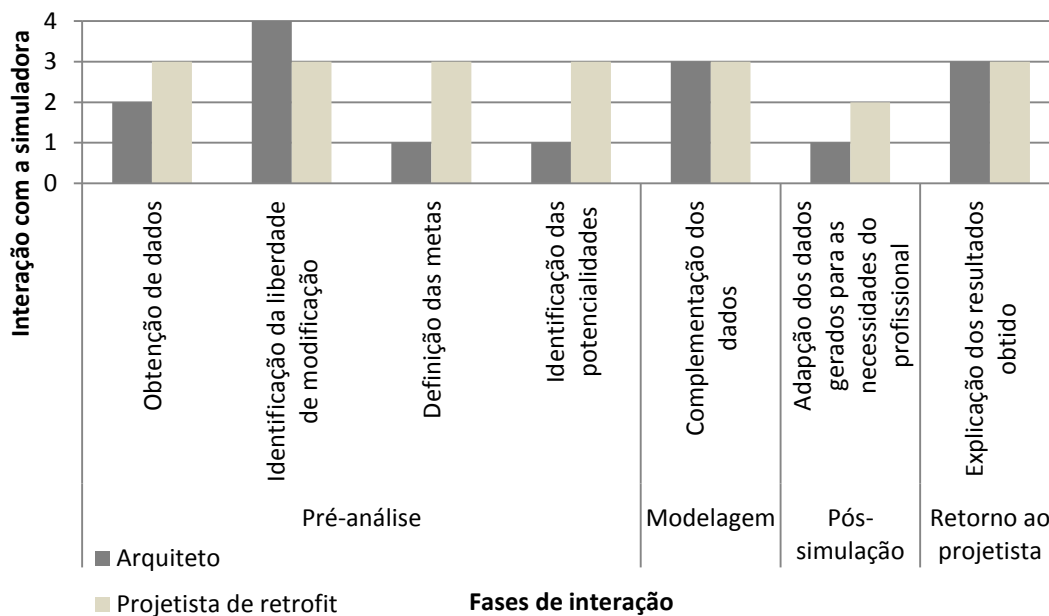
muito específicos e fora do interesse desse tipo de profissional.

Durante a fase de retorno ao projetista a interação voltou a ser alta, pela necessidade de explicar os resultados obtidos. O conhecimento superficial por parte do arquiteto exigiu retomar conceitos que auxiliariam a compreensão dos resultados.

Com o projetista de *retrofit*, a fase de pré-análise apresentou dificuldade na caracterização da geometria, orientação, zonas térmicas, área envidraçada, configuração das aberturas e proteção solar. Essas informações foram mais difíceis de serem obtidas porque se tratou de uma edificação existente, e repassadas, às vezes, de forma parcial para a consultora. A caracterização da parede, por ser de difícil verificação e intervenção, foi solucionada com uso do padrão. Para a cobertura, tentou-se uma informação mais fidedigna; no entanto, o estudo da sua sensibilidade foi realizado na etapa de detalhamento do projeto. Para caracterização do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento de ar, alvo do *retrofit*, foram informados com detalhes.

A compreensão da liberdade de modificação do projeto foi abordada pelo projetista de *retrofit* com muita propriedade. A descrição das características preservadas na edificação histórica e as que podiam ser alteradas facilitou o entendimento das análises possíveis.

Figura 25 - Interação do arquiteto e do projetista de retrofit com a consultora



A definição de metas pelo projetista de *retrofit* demonstrou-se mais específica, apontando itens como redução do consumo de energia e custo das intervenções. Dessa maneira, a definição das potencialidades foi realizada em conjunto com o projetista de *retrofit*.

Durante a fase de modelagem, vários itens tiveram que ser retomados, principalmente por dificuldade de compreensão por parte da consultora, do material recebido. As lacunas foram diminuídas à medida que os casos foram finalizados. Vale ressaltar que devido a informações específicas trazidas pelo projetista de *retrofit*, como o uso do sistema VRF para ar condicionado, foi necessário complementar o questionário, com coeficiente de desempenho (COP) do equipamento, por exemplo.

A fase de pós-simulação apresentou alta interação com o projetista de *retrofit*, pois ele demonstrou um nível maior de conhecimento sobre o tema e, portanto, exigiu respostas mais específicas, como o consumo de energia. No retorno, o projetista de *retrofit* conseguiu compreender os gráficos gerados, mas recorrente solicitou alguma informação que não foi expressa anteriormente. Essa situação levou a uma alta interação nessa fase.

A simulação também foi útil para respaldar as sugestões da consultora, uma vez que se percebeu, por parte do projetista de *retrofit*, uma tendência a repetir soluções que funcionaram em casos anteriores.

Conclusões

A avaliação dos seis estudos de caso demonstrou a viabilidade de aplicação da simulação desde as primeiras fases projetuais desde que o modelador/simulador tenha uma compreensão do projeto, mesmo que no nível de esboço ou partido. Essa compreensão foi obtida por meio do guia de entrevista e *checklist* que complementou as informações do projeto ainda incompleto com dados da programação arquitetônica. Dessa forma, a principal lacuna ao uso da simulação nas primeiras fases projetuais foi superada, o que permitiu o acréscimo de características ao modelo e a adoção de padrões, assim como a compreensão das variações mais adequadas para explorar possíveis soluções, identificar alternativas ou testar conjecturas do projetista. O fato de a consultora ser projetista auxiliou na compreensão das informações recebidas e potencialidades do projeto, o que permitiu que as sugestões de melhoria não ferissem o partido do projeto.

As simulações analisadas indicam grande interação nas fases iniciais do processo projetual (pré-projeto

e estudo preliminar), sendo a fase de pré-projeto voltada para estudos de diretrizes projetuais. No entanto, quando a edificação está muito definida, caso dos *retrofits*, e o clima é conhecido, a simulação tem menor significado na fase de pré-projeto, sendo mais relevante o uso de diretrizes baseadas em experiências precedentes. Já para as fases de estudo preliminar, em geral, as análises de sensibilidade permitem a confirmação e o aprofundamento do entendimento sobre o desempenho termoenergético, dando subsídios para a fase de detalhamento refinar as propostas de intervenção.

Em todas as fases do processo projetual, o retorno dado ao projetista considerou as questões termoenergéticas levantadas pelo projetista ou identificadas pela consultora como possibilidade de melhoria no desempenho. Assim, coube ao projetista confrontar as informações recebidas com demais questões projetuais.

Quando considerados os perfis dos projetistas, percebeu-se que a interação entre o projetista de *retrofit* e a consultora tendeu a ser mais constante, uma vez que esse profissional tem mais aprofundamento no tema, o que permitiu um acompanhamento mais intenso. O projetista comum tendeu a interagir nos momentos em que o conteúdo foi de maior domínio pessoal, a exemplo da identificação da liberdade de modificação, ou que lhe interessou mais, como o retorno ao projetista.

Vale ressaltar que existiu a tendência, por parte do projetista, de reutilizar o resultado obtido de um caso em outros, sem considerar as especificidades. Esse tipo de comportamento reforçou a necessidade de acompanhamento por parte do consultor no processo de projeto e do uso da simulação para respaldar as orientações do consultor.

Referências

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **STANDARD 55**: energy standard for buildings except low-rise residential buildings. Atlanta, 2004.

BEST DIRECTORY. **Building Energy Software Tools**. 23 mar. 2016 2016. Disponível em: <<http://www.buildingenergysoftwaretools.com/>>. Acesso em: 29 mar. 2016.

- BEZERRA, L. A. C. **Análise do Desempenho Térmico de Sistema Construtivo de Concreto Com EPS Como Agregado Graúdo**. Natal, 2003. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.
- 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, Inmetro, 2010.
- BRASIL. **Anexo Geral V da Portaria INMETRO Nº 50/2013: catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros**. Brasília, 2013.
- CARLO, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-residenciais**. Florianópolis, 2008. 182 f. (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- CIRNE, S. **Configuração do Sistema de Ar Condicionado nos Projetos da UFRN**. Natal 2013.
- 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.
- DESIGNBUILDER SOFTWARE LTDA. **DesignBuilder**. 2005.
- GOOGLE MAPS. **Dados do Mapa @2014 Google**. 2014. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-5.799919,-35.2222442,12z?hl=pt-BR>>. Acesso em: 01 nov. 2014.
- HENSEN, H. L. M.; LAMBERTS, R. Introduction to Building Performance Simulation. In: HENSEN, H. L. M.; LAMBERTS, R. (Eds.). **Building Performance Simulation for Design and Operation**. New York: Spon Press, 2011.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Programa Brasileiro de Etiquetagem: Eficiência Energética, condicionadores de ar split, critérios**. Brasília, 2005.
- KUSUDA, T. Early History and Future Prospects of Building System Simulation. In: NAKAHARA, N. *et al.* INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 6., 1999. **Proceedings...** 1999.
- KUSUDA, T. Building Environment Simulation Before Desk Top Computers in the USA Through a Personal Memory. **Energy and Buildings**, v. 33, p. 291-302, 2001.
- LABEEE, L. D. E. E. E. **Arquivos Climáticos em Formato TRY, SWERA, CSV e BIN**. 2014.
- LIMA, G. L. F. **Influência das Variáveis Arquitetônicas no Desempenho Energético de Hotéis no Clima Quente e Úmido**. Natal, 2007. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.
- MACHADO, J. J. D. M. **Retrofit Energético em Edifícios de Interesse Histórico Estudos de Casos: edifícios modernistas em Natal**. Natal, 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.
- MORBITZER, C. *et al.* Integration of Building Simulation Into the Design Process of an Architecture Practice. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 7., Rio de Janeiro, 2001. **Proceedings...** Rio de Janeiro, 2001.
- OLESEN, B. W. Guidelines for Comfort. **Ashrae Journal**, v. 42, n. 8, p. 41-46, aug. 2000.
- PEDRINI, A. **Integration of Low Energy Strategies to the Early Stages of Design Process of Office Buildings in Warm Climate**. Brisbane, 2003. 300 f. Thesis (Ph.D.) - Department of Architecture, University of Queensland, Brisbane, 2003.
- PEDRINI, A.; LAMBERTS, R. Methodology for Building Modelling and Calibration for Warm Climates. In: BUILDING SIMULATION, Rio de Janeiro, 2001. **Proceedings...** Rio de Janeiro, 2001.
- PEDRINI, A. *et al.* **Planilha Interna do Labcon-UFRN**. Natal. 2014.
- PEÑA, W.; PARSHALL, S. **Problem Seeking: an architectural programming primer**. 4th. New York: Wiley, 2001.
- RODRIGUES, C. O. D. M.; PEDRINI, A. Análise de Variáveis por Meio de Simulação Termoenergética nas Primeiras Fases do Processo de Projeto. In: ENCONTRO NACIONAL E IX ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., Campinas, 2015. **Anais...** Campinas: ANTAC, 2015.

RORIZ ENGENHARIA BIOCLIMÁTICA S/S LTDA. **Roriz Bioclimática**. São Carlos, 2012. Disponível em: <http://www.roriz.eng.br/epw_9.html>. Acessado em: 16 out. 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE. Superintendência de Informática. **Atestado de Matrícula**. Natal, 2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Arquivos Climáticos em Formato TRY, SWERA, CSV e BIN**. Florianópolis, 2016. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>>. Acesso em: 16 out. 2016

VENÂNCIO, R. **A influência de Decisões Arquitetônicas na Eficiência Energética do Campus/UFRN**. Natal, 2007. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

WILDE, P. D. **Computational Support for the Selection of Energy Saving Building Components**. Dekft, 2004. Thesis (PhD) - Delft University of Technology, Delft, 2004.

Clara Ovídio de Medeiros Rodrigues

Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Centro de Tecnologia | Universidade Federal do Rio Grande do Norte | Rua da Tecnologia, s/n, Lagoa Nova | Natal - RN - Brasil | CEP 59072-970 | Tel.: (84) 3215-3722 | E-mail: clara@edificioeficiente.com.br

Aldomar Pedrini

Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Centro de Tecnologia | Universidade Federal do Rio Grande do Norte | E-mail: apedrini@ufrnet.br

Revista Ambiente Construído

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro
Porto Alegre - RS - Brasil
CEP 90035-190
Telefone: +55 (51) 3308-4084
Fax: +55 (51) 3308-4054
www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido
E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br