



GIOVANNA TOMCZINSKI NOVELLINI BRÍGITTE

**INTEGRAÇÃO DE DESEMPENHO NA AVALIAÇÃO DE
PROJETO: modelo de informação e simulação computacional
na etapa de concepção.**

CAMPINAS
2013



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

GIOVANNA TOMCZINSKI NOVELLINI BRÍGITTE

**INTEGRAÇÃO DE DESEMPENHO NA AVALIAÇÃO DE
PROJETO: modelo de informação e simulação computacional
na etapa de concepção.**

Orientadora: Profa. Dra. Regina Coeli Ruschel

Coorientador: Prof. Dr. Evandro Ziggiatti Monteiro

Dissertação de Mestrado apresentada a Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, para obtenção do título de Mestre Arquitetura, Tecnologia e Cidade, na área de Arquitetura, Tecnologia e Cidade.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO
DEFENDIDA PELA ALUNA GIOVANNA TOMCZINSKI NOVELLINI
BRÍGITTE E ORIENTADA PELA PROFA. DRA. REGINA COELI RUSCHEL.

ASSINATURA DA ORIENTADORA

CAMPINAS
2013

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

B768i Brigitte, Giovanna Tomczinski Novellini, 1984-
Integração de desempenho na avaliação de projeto : modelo de informação e simulação computacional na etapa de concepção / Giovanna Tomczinski Novellini Brigitte. – Campinas, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: Regina Coeli Ruschel.
Coorientador: Evandro Ziggiatti Monteiro.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Construção - Desempenho - Simulação por computador. 2. Modelagem de informação da construção. I. Ruschel, Regina Coeli, 1958-. II. Monteiro, Evandro Ziggiatti, 1967-. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Performance integration in the design evaluation : information model and computer aided simulation at the conception stage

Palavras-chave em inglês:

Construction - Performance - Computer simulation

Building information modeling

Área de concentração: Arquitetura, Tecnologia e Cidade

Titulação: Mestra em Arquitetura, Tecnologia e Cidade

Banca examinadora:

Regina Coeli Ruschel [Orientador]

Stelamaris Rolla Bertoli

Léa Cristina Lucas de Souza

Data de defesa: 14-08-2013

Programa de Pós-Graduação: Arquitetura, Tecnologia e Cidade

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

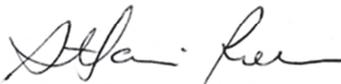
**INTEGRAÇÃO DE DESEMPENHO NA AVALIAÇÃO DE PROJETO:
MODELO DE INFORMAÇÃO E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA
ETAPA DE CONCEPÇÃO**

GIOVANNA TOMCZINSKI NOVELLINI BRÍGITTE

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



**Prof. Dra. Regina Coeli Ruschel
Presidente e Orientador(a) / UNICAMP**



**Prof. Dra. Stelamaris Rolla Bertoli
UNICAMP**



**Prof. Dra. Léa Cristina Lucas de Souza
UFSCar**

Campinas, 14 de agosto de 2013

RESUMO

A preocupação com o desempenho das edificações tem ganhado destaque no Brasil e originado transformações significativas no setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). A crescente demanda pelo desempenho favorece o contínuo desenvolvimento de estratégias e tecnologias em busca da máxima eficiência sem comprometer outras prerrogativas como o custo e o conforto dos usuários. A falta de conhecimento do desempenho de uma edificação no ato de se projetar transfere ao usuário e ao meio ambiente o ônus dos erros e custos da realização de correções, por vezes, paliativas. Pesquisas recentes propõem a integração das análises de desempenho às etapas iniciais do processo de projeto, a fim de obter o melhor desempenho final da edificação. Nesse sentido, escolher o conjunto de soluções adequadas e formas computacionais de desenvolvê-las é uma tarefa de alta complexidade e responsabilidade. Esta pesquisa investiga a compreensão da técnica e utilização de instrumentos de avaliação computacional de desempenho, durante as etapas iniciais do projeto. Inicialmente apresenta-se a importância das avaliações de desempenho no processo de projeto frente às inovações tecnológicas de suporte à simulação. Para isso, estabelece-se uma exploração preliminar do referencial teórico a partir da bibliografia estudada, compreendendo os conceitos de desempenho em edificações e da tecnologia da informação e computacional aplicada ao processo de projeto. Para uma melhor coerência entre a teoria e a prática da proposta aqui apresentada, a fundamentação metodológica apresenta características da pesquisa exploratória e características da pesquisa explicativa, buscando evidenciar relações entre requisitos de desempenho, avaliação computacional e a tomada de decisão na promoção de soluções em prol da melhoria da qualidade final do projeto. A coleta de dados foi realizada por meio de entrevistas, enquete eletrônica, dinâmica de jogo e discussões associadas com especialistas de desempenho, concentrando-se na identificação dos parâmetros, critérios e ferramentas de simulação que auxiliam a etapa cognitiva do projeto. Através do estudo de campo, foi possível elucidar o modelo de informação e identificar os parâmetros que entram em confronto direto por serem compartilhados por um ou mais desempenhos. Pode-se ainda analisar a influência entre os desempenhos, resultando na proposição de uma metodologia de sequenciamento das simulações. Os resultados de ordem experimental comprovaram, apesar das restrições e limitações deste universo, a existência de influências entre os desempenhos, além de um ganho compartilhado através do processo colaborativo, realizado com apoio da simulação na tomada de decisão. Apesar do sequenciamento não ser confirmado, os resultados demonstram que o uso das simulações de modo integrado fazem diferença na qualidade final do projeto, por proporcionarem: a confirmação ou refutação de propostas; elucubração de novos cenários; compartilhamento de cenários nas discussões; e, valorização do desempenho ambiental sobre o desempenho específico na etapa de concepção.

Palavras chave: Desempenho em edificações; Processo de Projeto; Simulação; Tecnologia da Informação.

ABSTRACT

The concern with the building performance has gained prominence in Brazil and generated meaningful changes at the Architecture, Engineering and Construction (AEC) sector. The growing demand for the performance favors the continuous strategies and technologies development, in the search for the maximum efficiency without prejudice of others prerogatives, like costs and users comfort. The lack of the performance knowledge of a building at the designing act transfers to the user and environmental the onus of the mistakes and its correction costs, sometimes, just palliatives. Recent researches propose the integration of the performance analysis to the early stages of the designing process, heading to obtain the best building final performance. Accordingly, choose the adequate solution group and computer aided ways to develop them is a high complex and responsibility task. This research investigates the comprehension of the technique and utilization of performance computational evaluation instruments, during the early stages of designing. Initially presents the performance evaluations importance at the designing process face of the simulation support technologic innovation. For this, establishes a preliminary exploration of the theorist referential from the studied bibliography, comprehending the concepts of building performance and computational and information technology applied to the designing process. For a better coherency between theory and practice of the propose presented here, the methodological foundation presents characteristics of both exploratory and explicative researches, attempting to make evident relationships between performances requirements, computer aided evaluation and the decision take at the solutions promotion heading to the project final quality. The data collection was performed by interviews, electronic polls, game dynamics and associated discussions with performance specialists, focusing in the identification of parameters, criteria and simulation tools that support the project cognitive stage. Through the field study was possible elucidate the information model and identify the parameters that come into direct confrontation by being shared by one or more performances. The influence between the performances can be also analyzed, resulting in the proposition of a simulation sequence methodology. The experimental order results proved, in spite of this universe restrictions and limitations, the existence of influences between the performances, and a gain shared through the collaborative process, performed with the simulation support at the decision take. Despite the non-confirmation of the sequencing, the results demonstrated that the simulation use on an integrated way makes difference on the project final quality, by provide: the proposals confirmation or refutation; new scenarios lucubration; scenes sharing at the discussions; and, environmental performance valorization over the specific performance at the conception stage.

Keywords: Performance in buildings; Process Design, Simulation, Information Technology.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Desempenho.....	5
2.1.1	Origem e evolução do desempenho em edificações	6
2.1.2	Desempenho no processo de projeto.....	11
2.1.3	Sistemas de avaliação e certificação ambiental do desempenho e sustentabilidade em edificações	18
2.2	Avaliações de desempenho e sustentabilidade.....	19
2.2.1	Desempenho acústico.....	19
2.2.2	Desempenho térmico	28
2.2.3	Desempenho luminoso.....	34
2.2.4	Desempenho funcional: acessibilidade	39
2.2.5	Consumo de água.....	45
2.2.6	Consumo de materiais.....	52
2.3	Tecnologia da informação e comunicação aplicada ao processo de projeto.....	55
2.3.1	Conceituação	55
2.3.2	Simulação: definição de um conceito	60
2.3.3	Ferramentas de avaliação de desempenho por simulação	61
2.3.4	As particularidades e propriedades das ferramentas de avaliação de desempenho.....	62
3	METODOLOGIA	67
3.1	Etapas de realização do estudo de campo	68
3.1.1	Etapa 1: referencial teórico.....	68
3.1.2	Etapa 2: preparação para a coleta	70
3.1.3	Etapa 3: coleta de dados.....	75
3.1.4	Etapa 4: análise dos dados.....	76
3.1.5	Etapa 5: produto.....	77
3.2	Etapas de realização da pesquisa experimental.....	77
3.2.1	Etapa 1: problema e hipóteses	78
3.2.2	Etapa 2: variáveis.....	79
3.2.3	Etapa 3: plano experimental	81
3.2.4	Etapa 4: preparação para coleta	85

3.2.5	Etapa 5: coleta	86
3.2.6	Etapa 6: produto.....	86
4	ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	87
4.1	Estudo de Campo.....	87
4.1.1	Instrumentos de avaliação computacional de desempenho	87
4.1.2	O processo de projeto e a avaliação de desempenho	91
4.2	Pesquisa Experimental.....	108
4.2.1	Experimento 1: Influência do desempenho e da simulação.....	108
4.2.2	Experimento 2: Influência entre desempenhos.....	112
4.2.3	Experimento 3: Sequenciamento das simulações	113
5	CONCLUSÃO	117
	REFERÊNCIAS.....	121
	APÊNDICES.....	131
	Apêndice A – Questionário	132
	Apêndice B – Jogo	142
	Apêndice C – Descrição das Ferramentas	172
	Apêndice D – Currículo dos Especialistas	206

À Deus pelas promessas cumpridas em minha vida.
Aos meus pais pelo amor incondicional e por sempre acreditarem em mim.
Aos meus avós pelo carinho e pela sabedoria transmitida.
Aos meus irmãos pela amizade, cumplicidade e amor.
Ao homem que Deus escolheu para juntos, sermos um.

Sem vocês eu não seria completa.

Agradecimentos

Gostaria de fazer um agradecimento especial a minha Orientadora Prof.^a Dr.^a Regina Coeli Ruschel pela dedicação, paciência e imensurável contribuição ao desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço também ao meu Coorientador: Prof. Dr. Evandro Ziggiatti Monteiro e a todos que contribuíram na realização desta pesquisa, em especial aos professores: Stelamaris Rolla Bertoli, Lucila Chebel Labaki, Núbia Bernardi, Paulo Sergio Scarazzato, Marina Sangoi de Oliveira Ilha e Vanessa Gomes da Silva, e seus respectivos alunos: Iara Batista da Cunha, Luciana Oliveira Fernandes, Claudia Maria Martin, Dennis Flores de Souza, Ricardo Prado Abreu Reis e Marcella Ruschi Mendes Saade. Por sempre se mostrarem interessados e dispostos a compartilharem seus conhecimentos e experiências.

Gostaria agradecer ainda à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), por viabilizar a REDE COOPERATIVA DE PESQUISA – PROJETO TICHIS: Tecnologias da Informação de Comunicação Aplicadas à Construção de Habitações de Interesse Social, junto dentro da chamada de Ação Transversal Saneamento Ambiental e Habitação 07/2009 – Processo 0981/10, onde esta pesquisa se insere.

Aos meus pais por serem os primeiros a acreditarem que eu era capaz, agradeço a compreensão e incentivo. Eles foram durante toda a minha vida meu refúgio e fonte da minha inspiração.

Finalmente, gostaria de agradecer especialmente ao meu marido, amigo e companheiro, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando em todos os momentos e tornando possível a realização de mais um dos meus sonhos.

A todos, muito obrigada!

“Feliz o homem que acha sabedoria, e o homem que adquire conhecimento.”
Pv. 4:13

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Metodologia de avaliação do desempenho	8
Figura 2.2. Método Sistemático de Projeto	12
Figura 2.3. Fluxo Proposto por Kalay (1999) – Projeto Baseado em Desempenho	13
Figura 2.4. Fluxo de trabalho por Kalay (1999) e o sugerido por Petersen e Svendsen (2010)	15
Figura 2.5. Modelos de projeto baseado em desempenho:.....	17
Figura 2.6. Curvas de avaliação de ruído (NC)	22
Figura 2.7. Parâmetros que definem o nível sonoro em um dado ponto da fachada.....	26
Figura 2.8. Representação e organização gráfica das informações propostas no método sistemático.....	27
Figura 2.9. Zoneamento bioclimático brasileiro, definido pela NBR 15220-3 (2005)	30
Figura 2.10. Trajetória solar no hemisfério sul.....	36
Figura 2.11. Sistemas de Iluminação Natural.....	37
Figura 2.12. Portadores de necessidades especiais, contexto nacional	39
Figura 2.13. Distribuição dos tipos de deficiências pesquisadas pelo censo 2010	40
Figura 2.14. Consumo de água no Brasil (total: 986,4m ³ /s).....	45
Figura 2.15. Distribuição do consumo de água em um apartamento de HIS	47
Figura 2.16. Possíveis Configurações de Medição Individualizada.	50
Figura 2.17. Dispositivos economizadores.....	51
Figura 2.18. O consumo de materiais na etapa de projeto: compacidades.....	54
Figura 2.19. Esquema de evolução do interesse em utilização em ferramentas de simulação desde aproximadamente 1970 até o início do terceiro milênio	62
Figura 3.1. Desenvolvimento da Pesquisa.....	67
Figura 3.2. Etapas do estudo de campo.....	68
Figura 3.3. Fluxo de projeto proposto pela pesquisa	70
Figura 3.4. Análise dos dados.....	77
Figura 3.5. Etapas da pesquisa experimental.....	78
Figura 3.6. Dinâmica do Jogo.....	80
Figura 4.1. Características das simulações realizadas.....	88
Figura 4.2. Característica do processo das simulações realizadas.	88
Figura 4.3. Ferramentas de Simulação: Perfil das características mais valorizadas e almejadas.	89
Figura 4.4. Modelo do Desempenho Acústico	92
Figura 4.5. Modelo do Desempenho Térmico	92
Figura 4.6. Modelo do Desempenho Luminoso	93
Figura 4.7. Modelo do Desempenho Funcional: Acessibilidade	93
Figura 4.8. Modelo de Sustentabilidade: Consumo de Água	94
Figura 4.9. Modelo de Sustentabilidade: Consumo de Materiais	94
Figura 4.10. Modelo Integrado dos Desempenhos	95
Figura 4.11. Recorrência do Modelo de Informação Mínimo	96
Figura 4.12. Relação de Influência entre os desempenhos no sentido anti-horário: do mais influenciado ao menos influenciado	98

Figura 4.13. Relação de Influência entre os desempenhos no sentido anti-horário: do que mais exerce influência ao que menos exerce influência.....	98
Figura 4.14. Fluxo de projeto proposto pela pesquisa: Sequência de Simulações.....	99
Figura 4.15. Escopos, Ferramentas e Objetivos da Simulação.....	101
Figura 4.16. Relação das Ferramentas: Características, dados de entrada e saída.....	101
Figura 4.17. Macro Fluxo da comunicação entre as ferramentas analisadas.....	107
Figura 4.18. Comparativo: estudo de campo e pesquisa experimental	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Lista de exigências dos usuários, segundo a norma ISO 6241	10
Tabela 2.2. Nível de Critério de Avaliação em dB(A), recomendados pela NBR 10151 (2000)	20
Tabela 2.3. Valores dos níveis sonoros internos, recomendados pela NBR 10152 (1987)	20
Tabela 2.4. Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa	25
Tabela 2.5. Diretrizes para a concepção de projetos na cidade de Campinas,SP, visando o condicionamento térmico natural	29
Tabela 2.6. Critérios de avaliação de desempenho térmico	31
Tabela 2.7. Transmitância Térmica: paredes	32
Tabela 2.8. Capacidade Térmica: paredes	32
Tabela 2.9. Áreas mínimas de aberturas para ventilação	32
Tabela 2.10. Transmitância Térmica: coberturas	33
Tabela 2.11. Níveis de iluminação Natural, ABNT NBR 15575	35
Tabela 2.12. Níveis de iluminação natural ABNT NBR 15575 x artificial ABNT NBR 5413	38
Tabela 2.13. Pontos a serem observados na concepção voltada à acessibilidade	42
Tabela 2.14. Larguras e Inclinações, conforme ABNT NBR 9050/04.	43
Tabela 2.15. Degraus e Escadas Fixas	44
Tabela 2.16. Dimensionamento de Rampas	44
Tabela 2.17. Práticas de gestão na conservação e reuso de águas em edificações	48
Tabela 4.1. Parâmetros de avaliação apontados pelos especialistas	91
Tabela 4.2. Interferências entre os desempenhos estudados	97
Tabela 4.3. Métodos de Avaliação do desempenho do projeto na etapa de concepção	100
Tabela 4.4. Parâmetros do desempenho acústico x <i>inputs</i> das ferramentas de simulação	103
Tabela 4.5. Parâmetros do desempenho térmico x <i>inputs</i> das ferramentas de simulação	104
Tabela 4.6. Parâmetros do desempenho luminosos x <i>inputs</i> das ferramentas de simulação	104
Tabela 4.7. Parâmetros da acessibilidade x <i>inputs</i> das ferramentas de simulação	105
Tabela 4.8. Parâmetros do consumo de água x <i>inputs</i> das ferramentas de simulação	106
Tabela 4.9. Parâmetros do consumo de materiais x <i>inputs</i> das ferramentas de simulação	106

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Aap.	Aproveitamento de águas Pluviais
Ab.	Aberturas
Ac.	Desempenho Acústico
Ace.	Desempenho Funcional: Acessibilidade
Ap.	Áreas Permeáveis
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
ACV	Avaliação de Ciclo de Vida
ANA	Agencia Nacional de Águas
APO	Avaliação Pós Ocupação
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
Cb.	Cobertura
Cc.	Condições Climáticas
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CIB	<i>Conseil International du Bâtiment</i>
CSTB	<i>Centre Scientifique et Technique du Bâtiment</i>
CT	Capacidade Térmica (kJ/m ² .K)
Cs.Ag.	Consumo de Água
Cs.Mt.	Consumo de Materiais
Ct.Ac.	Controle de Acessos
DAS	Análise de Sensibilidade Diferencial
Ee.	Equipamentos Hidráulicos Economizadores
Eef.	Espaçamentos entre edifícios.

Et.	Entorno
Fa.	Fonte de luz artificial
Fe.	Fonte de ruído externo
Fi	Fonte de ruído interno
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
Fn.	Fonte de luz natural
Ge.	Geometria
HIS	Habitação de Interesse Social
Iap.	Infiltração águas pluviais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFC	<i>Industry Foudation Classes</i>
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO	<i>International Organization for Standartization</i>
IRee	<i>Inter Jurisdíctional Regulatory Commíttee</i>
Lm.	Desempenho Luminoso
Mi.	Medição individualizada
Mt.	Materiais
NC	<i>Noise Criteria</i>
NCA	Nível de Critério de Avaliação
OMS	Organização Mundial da Saúde
Ot.	Orientação
PeBBu	<i>Performance Based Building</i>
Rap	Retenção de águas pluviais
SI	Sistema de Informação
Te.	Desempenho Térmico
TI	Tecnologia da Informação

TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
TICHIS	Tecnologias da Informação de Comunicação Aplicadas à Construção de Habitações de Interesse Social
Tp.	Topografia
U	Transmitância Térmica ($W/m^2.K$)
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
VI.	Volumetria



1 INTRODUÇÃO

Popularizado através da publicação da Norma de Desempenho ABNT NBR 15575¹ e do aumento gradativo do anseio por certificações, o desempenho das edificações tem ganhado destaque no cenário nacional originando transformações significativas no setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Nesse sentido, tal preocupação eleva a complexidade e responsabilidade do ato de projetar em busca da máxima eficiência energética, sem comprometer outras prerrogativas inerentes ao projeto.

Essa crescente demanda pelo aumento da qualidade dos projetos, impulsionou expressivamente o desenvolvimento de estratégias e tecnologias capazes de auxiliar na tomada de decisão. Entretanto, o processo de projeto aplicado ainda hoje no Brasil não apresenta garantias ao melhor desempenho do conjunto, devido à subjetividade na arte de projetar e ao baixo compartilhamento e interação entre os diferentes agentes envolvidos: projetistas, consultores, clientes e usuários finais (MELHADO, 2001; FABRICIO, 2002). Dessa maneira, muitas decisões determinantes ao desempenho são tomadas isolada e hierarquicamente, sem projeção eficaz ao desempenho final (FIGUEIREDO; SILVA, 2012). Além disso, transferem ao usuário e ao meio ambiente o ônus dos erros e custos da realização de correções (ALUCCI, 2007).

Em contrapartida, pesquisas nacionais, focadas na gestão do processo de projeto destacam a necessidade de aplicação de uma visão sistêmica entre as diversas variáveis que compõem a solução final do projeto (MELHADO, 2001; FABRICIO, 2002; ROMANO, 2003). No âmbito do desempenho ambiental, Marsh (1997), Kalay (1999), Soebarto (2001), Giannantoni *et al* (2005), Struck e Hensen (2007), Alucci (2007) e Petersen e Svendsen (2010) apresentam metodologias para análise conjunta dos parâmetros de projeto relacionados ao desempenho ambiental, suscetíveis ao confronto direto, através do auxílio das ferramentas de simulação e avaliação digital em busca da solução mais adequada. Principalmente nas etapas iniciais do projeto, onde grandes alterações podem ser estudadas e muitas restrições podem ser contornadas e reavaliadas, aliando o conforto dos usuários à obtenção da maior eficiência do conjunto proposto.

¹ Série: ABNT NBR 15575:2013 Edificações habitacionais – Desempenho.



Apesar de estudos acerca dos instrumentos de avaliação, com o objetivo de flexibilizar e auxiliar as decisões dos projetistas, terem sido iniciados na década de 70, ainda hoje as ferramentas não conseguem agregar uma real reestruturação no processo de projeto, muitas vezes por apresentarem dificuldade de utilização, e ainda por vezes pelo próprio desconhecimento de sua existência. Os resultados levantados por diversas pesquisas apontam para o desinteresse, a dificuldade de aplicação pelos projetistas e a insatisfação dos resultados obtidos (HOLM, 1993; MATHEWS; RICHARD, 1993; HANSEN *et al.*, 2009; ATTIA *et al.*, 2009).

Tendo o exposto acima como cenário, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar o modelo para a integração de desempenho na avaliação de projeto por meio da influência entre desempenhos e da simulação computacional no desenvolvimento de soluções projetuais. O estudo restringe-se a etapa de concepção de Habitações de Interesse Social (HIS). A **hipótese** que motivou esta pesquisa pressupõe que seja possível melhorar a integração das análises no processo de projeto, com ênfase em desempenho, caracterizando as informações agregadas ao modelo, explicitando seus parâmetros, influências e sequenciamento das simulações. Posto que:

- O desconhecimento do desempenho de uma edificação no ato de se projetar transfere ao usuário e ao meio ambiente o ônus dos erros e custos da realização de correções, por vezes, paliativas.
- A integração e retroalimentação durante o processo minimizam erros e aumentam a eficiência do projeto.
- O desempenho final da edificação é comprometido pela falta de análise das interferências interdisciplinares de desempenho.
- A compreensão da técnica e utilização de instrumentos de simulação computacional de desempenhos durante as etapas iniciais do projeto contribuem positivamente para a eficiência do edifício.
- A interoperabilidade entre os softwares de simulação é fundamental para a eficácia da análise integrada de desempenho e retroalimentação do processo de projeto.

Inserida no contexto da REDE COOPERATIVA DE PESQUISA – PROJETO TICHIS: Tecnologias da Informação de Comunicação Aplicadas à Construção de Habitações de Interesse Social, junto à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), dentro da chamada de Ação



Transversal Saneamento Ambiental e Habitação 07/2009 – Processo 0981/10, esta pesquisa tem como objetivos específicos:

- Levantar e caracterizar a avaliação dos desempenhos: térmico, acústico e luminoso, da conservação de recursos materiais, da conservação de água e acessibilidade, através da elaboração de um modelo analítico que contenha abstrações adequadas, funcionando como uma representação de dados analíticos válidos e precisos para os *inputs* e *outputs* do projeto de Habitação de Interesse Social;
- Levantar os parâmetros que entram em confronto direto, durante a fase de concepção, capazes de introduzir alterações que otimizem sistematicamente os desempenhos.

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos. Neste, o objetivo do trabalho é definido, e o tema contextualizado e justificado. No segundo capítulo, que abrange a etapa de domínio do problema, busca-se apresentar por meio de uma revisão bibliográfica a importância das avaliações de desempenho no processo de projeto frente às inovações tecnológicas de suporte à simulação.

A proposta de metodologia é apresentada no terceiro capítulo, delineando as etapas de realização da pesquisa e apresentando a estratégia de análise das evidências encontradas. O quarto capítulo compreende o desenvolvimento do estudo de campo e da pesquisa experimental como prova de conceito, apresentando as análises da avaliação dos desempenhos de maneira integrada.

O quinto capítulo apresenta a reflexão e discussão dos pontos positivos, limitações da realização da pesquisa e apresentadas sugestões de continuidade. Pretende-se, contribuir para o enriquecimento das pesquisas voltadas ao processo de projeto, eficiência e desempenho ambiental da edificação através da utilização de tecnologias de modelagem de informações, a fim de melhorar o desempenho das soluções arquitetônicas.







2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta a evolução do conceito de desempenho aplicado à edificação. Os critérios e parâmetros das avaliações de desempenho são também abordados. Demonstra-se como a tecnologia da informação tem auxiliado no processo de projeto. E, por fim discute-se a importância das avaliações de desempenho no processo de projeto frente às inovações tecnológicas de suporte à simulação.

2.1 Desempenho

Desempenho é um termo multidimensional aplicado em diferentes áreas com o intuito de avaliar a realização do cumprimento de objetivos e metas inicialmente estipulados, definido pelo Houaiss (2001) como: “*Maneira como atua ou se comporta alguém ou algo, avaliada em termos de eficiência, rendimento, atuação*”. Sua aplicação em projetos teve início no período da Segunda Guerra Mundial visando o atendimento às exigências de segurança estrutural dos produtos da indústria bélica e aeroespacial.

O desempenho de edificações, também não é um conceito novo e, mesmo que não definido desta maneira, tem sido aplicado há muitos anos. O mais antigo remonta ao ano de 1950 a.C., quando o Código de Hamurabi estabelecia a responsabilidade de garantir que uma casa não entraria em colapso. A definição, cujo comportamento de um edifício está sujeito às ações do ambiente ao qual está exposto e as ações decorrentes do uso, foi forjada nos países desenvolvidos somente na década de 60, a partir das questões apresentadas pelo pesquisador inglês F. M. Lea, no segundo congresso do *Conseil International du Bâtiment – CIB*,² realizado em 1962.

Após as primeiras formulações e discussões, o tema voltou nos anos seguintes ampliando o número de pesquisadores e fomentando a necessidade de estabelecer uma estrutura conceitual e uma terminologia que promovesse a troca de experiências entre eles. Para isso, em 1970 foi

² Sediado em Rotterdam na Holanda, reúne pesquisadores de todo o mundo nas áreas relacionadas a projeto e produção de edificações.



criada uma comissão de trabalho a CIB W 60 “*The performance concept in building*”, cuja primeira reunião realizou-se em Oslo em 1971. O primeiro evento específico sobre o tema, *Symposium on the performance concept in buildings*, foi realizado em 1972 na Philadelphia. Seguido de outros, avaliando a aplicação do conceito em diferentes países, na Finlândia em 1977; em Portugal em 1982, nos Estados Unidos em 1986 e em Luxemburgo em 1988.

O emprego do conceito de desempenho adquiriu característica própria em cada país. Voltando-se à elaboração de normas e códigos de obras, pesquisa e implantação de metodologias de projeto e controle de qualidade baseados na seleção de alternativas cujos critérios eram preestabelecidos.

Ao longo da história, muitos atributos foram incorporados ao conceito e à avaliação de desempenho voltado à área de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Além das questões técnicas e construtivas, temos o desempenho dos usuários visando os aspectos sociais e comportamentais; o desempenho do projeto voltado a questões cognitivas e psicológicas; e, mais recentemente, associado à sustentabilidade (KALAY, 2004).

No contexto desta pesquisa, voltada à abordagem do desempenho na etapa de concepção do projeto, considera-se o conceito consolidado no meio acadêmico elaborado por Gibson (1982), no qual o desempenho corresponde à prática de pensar e trabalhar em termos dos fins e não dos meios, ou seja, como a construção deve se comportar após, e não durante a sua construção.

2.1.1 Origem e evolução do desempenho em edificações

Observa-se um incentivo maior ao desenvolvimento de pesquisas voltadas ao desempenho das edificações após a crise do petróleo, na década de 1970, principalmente nos Estados Unidos e na Europa, onde os profissionais do setor foram provocados a buscar soluções mais eficientes para o consumo de energia. Entretanto, até o final da década de 1980 estas pesquisas restringiam-se ao contexto conceitual e teórico. Somente com o impulso realizado pelas questões de sustentabilidade, na década de 1990, que o desempenho passou a ganhar espaço desde a concepção à demolição.

Uma iniciativa realizada pela Comunidade Europeia através da Rede PeBBu (*Performance Based Building* - 2001) procurou consolidar todos os trabalhos na área para promover e divulgar



a aplicação e consolidação, reconhecendo a importância dos conceitos de desempenho ao setor. Cujos principais benefícios de sua aplicação foram expressos da seguinte forma:

1. Facilitar a satisfação das necessidades dos usuários e proprietários;
2. Implementar práticas de sustentabilidade nas construções;
3. Facilitar a inovação tecnológica;
4. Permitir maior flexibilidade de *design* nos projetos e reduzir os custos necessários de construção;
5. Facilitar o comércio internacional;
6. Facilitar a comunicação entre todos os envolvidos.

No Brasil, o conceito de desempenho foi apresentado pelo meio acadêmico na década de 1970. Mas, sua evolução tomou corpo na década de 1980, principalmente através de trabalhos realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) para o Banco Nacional da Habitação (BNH), e depois para a Caixa Econômica Federal (CEF), sua sucessora, cujas iniciativas de apoio à pesquisa resultaram na recente elaboração da Norma de Desempenho ABNT NBR 15575³. Esta norma apesar de analisar os requisitos em relação ao desempenho mínimo, ainda assim constitui um marco na tentativa de romper com o arcabouço normativo prescritivo.

Os sistemas regulatórios em vigor, baseados em experiências passadas, caracterizam-se por prescrever como a edificação deve ser construída, preocupando-se assim, em especificar os meios e não os fins. A iniciativa mais articulada para a migração de uma abordagem prescritiva para uma de desempenho ocorreu em 1996, com a criação do *Inter Jurisdictional Regulatory Committee* (IRee). No entanto, a mudança dos sistemas regulatórios não tem se mostrado algo fácil, mas uma tendência pelo entendimento de que este é o melhor caminho ao atendimento das necessidades e exigências dos usuários.

“A migração de uma abordagem prescritiva para uma de desempenho tem se mostrado difícil na prática por várias razões, entre elas, o fato de que é necessária, na maioria dos casos, uma mudança radical para substituir o arcabouço prescritivo existente, desenvolvido por décadas, além da

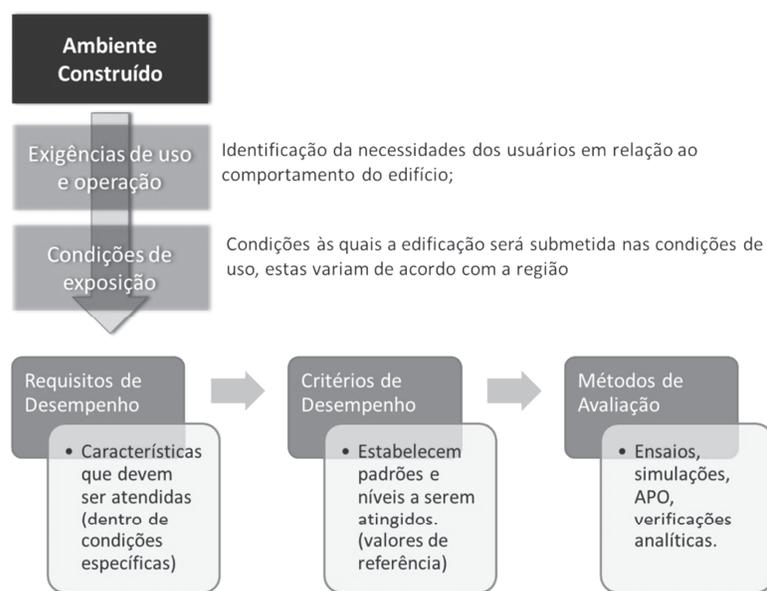
³ Série: ABNT NBR 15575:2013 Edificações habitacionais – Desempenho.



própria dificuldade e falta de experiência na explicitação das necessidades dos usuários em requisitos de desempenho mensuráveis.” (BORGES; SABBATINI, 2008).

Na construção civil pensar em desempenho em termos dos fins e não dos meios requer expressar o comportamento de um edifício em determinadas condições de uso, de modo a garantir que ele cumpra funções e objetivos para o qual foi projetado. Nesse sentido, trabalhar o conceito de desempenho, em projeto, exige uma rigorosa metodologia de avaliação que envolve as necessidades dos usuários, condições de exposição e o estabelecimento de requisitos, critérios e métodos de avaliação do desempenho. A Figura 2.1 busca esquematizar uma metodologia com este fim:

Figura 2.1. Metodologia de avaliação do desempenho



Fonte: Autoria Própria

Nesta metodologia, tem-se inicialmente a identificação das necessidades dos usuários, através da definição das exigências de uso e operação, que devem ser atendidas por uma determinada edificação, para um uso específico. Em seguida tem-se a identificação das condições de exposição às quais a edificação será submetida nas condições de uso, que podem variar de acordo com a região, como por exemplo: características climáticas locais (temperatura, umidade



relativa, irradiação solar, ventos e pressão), localização e entorno imediato (topografia, vias, passeio, edificações adjacentes) e ambiente sonoro (identificação e caracterização das fontes de ruído).

Os requisitos de desempenho, expressos em termos qualitativos, são definidos pelas características que devem atendidas, para exigências de uso e operação, dentro de condições específicas de exposição. Para isso, é necessário estabelecer os critérios, expressos em termos quantitativos, que deverão ser seguidos como valores de referência, dadas as circunstâncias de aplicação. Somente assim, poderão ser tomadas decisões de concepção e estabelecidos os métodos de avaliação de acordo com a etapa e os objetivos das avaliações: ensaios, simulações, avaliações pós-ocupação (APO) e verificações analíticas.

Borges e Sabbatini (2008) apontam como um dos grandes desafios, a tradução das necessidades dos usuários em requisitos e critérios que possam ser mensurados de maneira objetiva, dentro das condições de exposição e uso. Esta foi uma discussão iniciada na comissão CIB W 45 criada em 1960, cujos trabalhos na listagem das exigências dos usuários foram publicados em 1971 pelo CSTB – *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*, na França, e incorporados à ISO 6241, de 1984 (Tab. 2.1).

Além da norma ISO 6241, a *International Organization for Standardization* – ISO publicou a ISO 6240. Ambas resultaram da formação de um comitê em 1979, voltado à normatização da definição e aplicação do desempenho em edificações. Posteriormente em 1992, a ISO publicou a ISO 7162⁴. Apesar das publicações terem sido realizadas há muitos anos, ainda servem como referência, inclusive na formulação da Norma Brasileira de Desempenho.

⁴ ISO 6240 - “*Performance Standards in Building – contents and presentation*”, London, 1980.
ISO 6241 - “*Performance Standards in Building – principles for their preparation and factors to be considered*”, London, 1984.
ISO 7162 - “*Performance Standards in Buildings – contents and formats of standards for evaluation of performance*”, 1992.



Tabela 2.1. Lista de exigências dos usuários, segundo a norma ISO 6241

EXIGÊNCIA	DESCRIÇÃO
Estabilidade Estrutural	Resistencia mecânica a ações estáticas e dinâmicas; Efeitos cíclicos (fadiga).
Segurança ao Fogo	Risco de propagação de chamas; Efeitos fisiológicos (controle de fumaça e ventilação); Tempo de alarme, evacuação e sobrevivência.
Segurança ao Uso	Proteção contra explosões e queimaduras, movimentos mecânicos, choques elétricos e radioatividade; Segurança durante movimentos e circulação; Segurança contra intrusão humana ou animal.
Estanqueidade	Estanqueidade à água e ao ar; Controle de intrusão de poeira.
Conforto Higrotérmico	Controle da temperatura do ar e radiação térmica; Controle da velocidade e umidade do ar; Controle de condensação.
Pureza do Ar	Ventilação; Controle de odores; Controle de gases tóxicos.
Conforto Acústico	Controle de ruídos (contínuos e intermitentes); Inteligibilidade do som; Tempo de reverberação.
Conforto Visual	Controle de iluminação natural e artificial; Insolação; Nível de iluminância e contrastes de luminância; Possibilidade de escurecimento; Aspectos de acabamentos (cor, textura, regularidade); Contato visual (internamente e com o mundo exterior).
Conforto Tátil	Aspereza e flexibilidade das superfícies; Umidade e temperatura das superfícies; Ausência de descargas de eletricidade estática.
Conforto Antropodinâmico	Limitação de acelerações e vibrações; Conforto do pedestre em áreas ventosas; Aspectos de resistência e manobrabilidade humana.
Higiene	Instalações para o cuidado do corpo humano; Suprimento de água limpa; Evacuação de águas servidas, materiais e fumaça.

(Continua)



(Continuação)

EXIGÊNCIA	DESCRIÇÃO
Adequabilidade a usos específicos	Número; Tamanho; Geometria e inter-relações dos espaços; Provisão de serviços e equipamentos; Flexibilidade.
Durabilidade	Conservação do desempenho durante toda a vida útil; Possibilidade de manutenção e reposição.
Economia	Custo de implantação; Custos financeiros; Custos de operação e manutenção.

Fonte: Adaptado da norma ISO 6241 - “Performance Standards in Building – principles for their preparation and factors to be considered”, London, 1984.

Vale ressaltar que para a identificação das necessidades dos usuários, não se trata simplesmente de adotar a lista da Tabela 2.1. Mas, do levantamento das exigências específicas para cada desempenho na edificação que se pretende. O que se faz considerando os recursos disponíveis (tecnológicos e financeiros), as limitações e particularidades da condição de exposição e da população, bem como a identificação das exigências de caráter absoluto e relativo na tradução das exigências dos usuários ao longo da vida útil da edificação. Uma vez que, mesmo com este arcabouço conceitual à metodologia do desempenho, este sempre será sistêmico e probabilístico, atendendo sempre uma determinada parcela da população em um determinado intervalo de tempo.

2.1.2 Desempenho no processo de projeto

Pesquisas voltadas ao ato de projetar concordam que o desenvolvimento do projeto requer uma sequência de decisões na construção da solução de um determinado problema (LAWSON, 2005; WOOD; GIDADO, 2008). No projeto de edificações, é papel do projetista apresentar não um universo de soluções, mas aquelas que, em princípio, atendam ao programa nos aspectos funcionais e técnicos e ao enfoque econômico que o cliente propõe (ROSSO, 1980; KALAY, 2004).

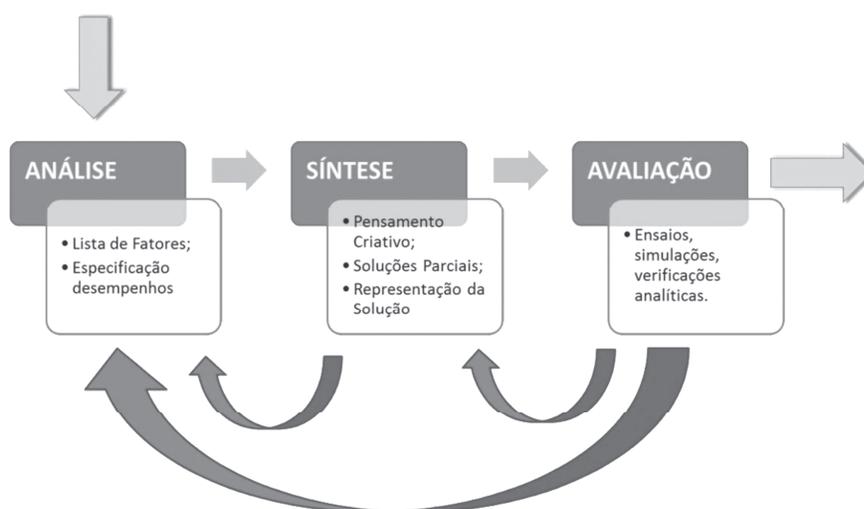


No entanto, essas soluções devem considerar as diversas variáveis interdisciplinares envolvidas pelo processo de projeto cuja complexidade integra: alto grau de interação entre as partes; contínuas mudanças e evolução; alto grau de interação não linear com o ambiente; e dificuldade de execução de atividades individuais que compõem um processo (WOOD; GIDADO, 2008). Ou seja, as soluções não devem apenas basear-se em avaliações pessoais e no conhecimento prévio.

Do ponto de vista intelectual e técnico, o projeto de edifícios pode ser sintetizado como um processo cognitivo que transforma e cria informações, mediado por uma série de faculdades humanas, pelo conhecimento e por determinadas ‘técnicas’, sendo orientado à concepção de objetos e à formulação de soluções de forma a antecipar um produto e sua obra (FABRÍCIO, 2002).

Desta maneira, torna-se comum no campo do projeto a busca por sistematização e estruturação do processo e gestão em etapas, na tentativa de assegurar certa progressão. A saída de uma fase esta diretamente atrelada ao início da outra. De acordo com a metodologia utilizada, o número de fases do processo de projeto pode variar. Mas, no geral o ato de projetar pode ser sintetizado através de um método composto por três estágios de sistematização das informações pertinentes ao projeto: análise, síntese e avaliação (JONES, 1962; LAWSON, 2005). Indicado na Figura 2.2.

Figura 2.2. Método Sistemático de Projeto



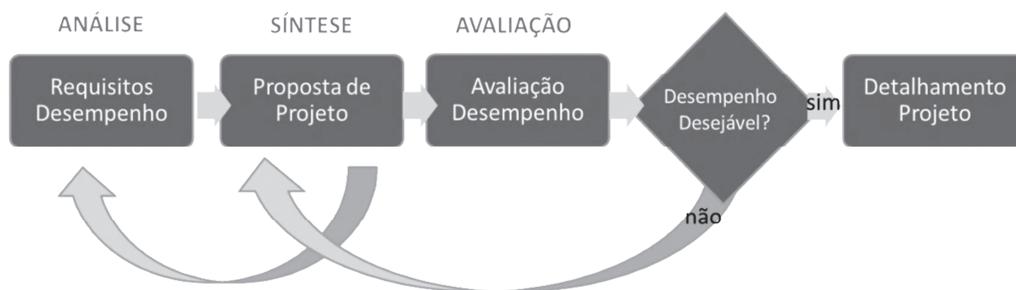
Fonte: Autoria Própria



Um dos resultados mais pragmáticos das pesquisas nesta área, é o paradigma chamado de *Performance-Based Design* (Projeto Baseado em Desempenho), formulado por Kalay (1999). Nele o autor afirma ser o projeto de edificações um processo iterativo de exploração, onde as alternativas devem ser propostas e avaliadas em um dado contexto, na tentativa de auxiliar o projetista a representar e refletir sobre a conveniência da utilização de determinada solução.

A necessidade de iterações surge pela identificação das tarefas como interdependentes, podendo ser classificadas como iterações *intrafase* ou *interfase* (UNGER; EPPINGER, 2002 *apud* PETERSEN; SVENDSEN, 2010). As interações *intrafase* acontecem na própria fase do projeto enquanto as *interfases* entre fases. No fluxo proposto por Kalay (1999), Figura 2.3, temos uma iteração interfase, capaz de auxiliar os projetistas na etapa de concepção do projeto.

Figura 2.3. Fluxo Proposto por Kalay (1999) – Projeto Baseado em Desempenho



Fonte: Adaptado de Kalay (1999).

Inicialmente, na fase de análise devem ser elencadas as metas que a solução proposta deve alcançar, observadas as restrições que devem ser respeitadas. De maneira coerente, os problemas aparecem categorizados e relacionados entre si. É neste momento que devem ser estabelecidos os principais requisitos de desempenho que se objetiva conquistar.

A fase de síntese corresponde à etapa mais criativa, onde devem ser propostas soluções possíveis para os pontos levantados na análise, não devendo ser procuradas soluções únicas ao problema, mas sim, “soluções parciais”, onde várias alternativas são consideradas e combinadas no decorrer do processo (MOREIRA, 2007). Isto se dá, pois não há meios de garantir que uma solução seja boa ou não, apesar de poder ser otimizada em alguns critérios, certamente tantos



outros serão incompletos, podendo não ter todos os requisitos desejados ou conter conflitos internos. Ou seja, o processo de desenvolvimento de projeto é aberto (LAWSON, 2005), não há uma solução única e correta para o problema inicialmente posto.

Na etapa de avaliação, não havendo uma solução definitiva, as soluções parciais deverão ser testadas, verificando a eficácia frente aos objetivos levantados na síntese. O objetivo é de identificar o que é compatível e o que é conflitante e estabelecer o grau no qual uma solução proposta atende aos requisitos de desempenho definidos na fase de análise do problema (KALAY, 2004). O processo é retomado caso a solução não seja satisfatória.

A sequência de decisões, que compreende as fases de análise, síntese e avaliação, não é linear. Deficiências detectadas na avaliação podem levar à revisão da síntese e da análise, podem acontecer melhorias, ajustes ou mudanças nas soluções e a redefinição de metas, restrições e requisitos de projeto (KALAY, 2004). O que torna possível a dinâmica deste processo é a retroalimentação entre estas fases.

Especificamente em arquitetura, o conceito de desempenho abrange diferentes domínios, que vão desde os estéticos aos puramente técnicos (KOLAREVIC; MALKAWI, 2005). Portanto, alguns destes requisitos são baseados em parâmetros quantitativos e, por isso, mais fáceis de avaliar. Outros, ao contrário, são baseados em aspectos qualitativos, tais como comportamento humano e a percepção do edifício.

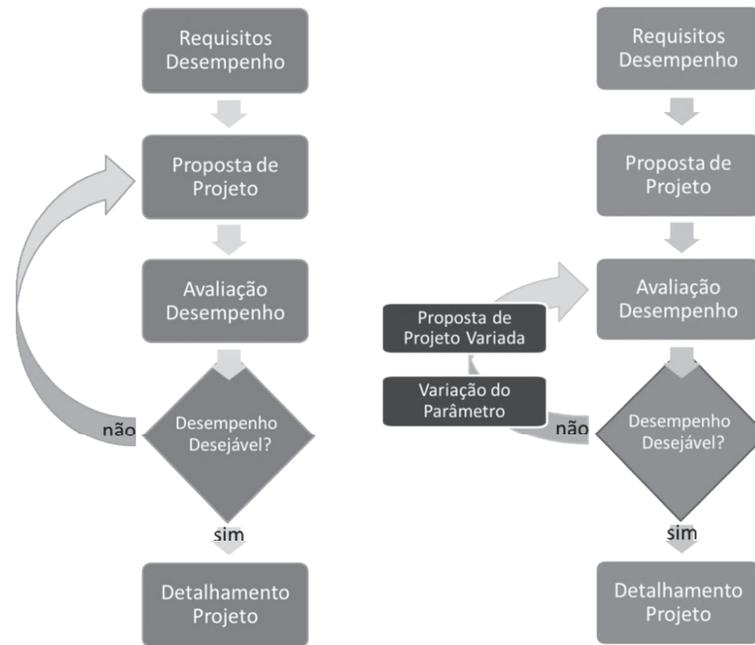
Nas questões relacionadas ao desempenho técnico, quantitativo, testar as soluções propostas através da utilização de ferramentas computacionais, como uma avaliação preditiva do desempenho do conjunto proposto, reduz o tempo do processo e auxilia na tomada de decisão para se determinar a solução mais adequada, já nas etapas iniciais. Pode-se dizer que a avaliação do desempenho durante o projeto é capaz de antecipar a identificação de deficiências, reduzindo gastos que poderiam ser gerados durante o processo ou ainda após a sua produção.

Petersen e Svendsen (2010) ressaltam o fluxo de trabalho do Projeto Baseado em Desempenho como ideal para a integração de ferramentas computacionais de simulação na predição do desempenho de uma proposta de projeto. Mas, apontam que enquanto o uso de uma ferramenta pode fornecer informações necessárias à tomada de decisão através da avaliação de uma proposta, ter ou não o desempenho desejável, ela não fornece qualquer sugestão no caso do desempenho indesejável. Desta maneira, sugerem algumas alterações no fluxo por não utilizar



todo o potencial das ferramentas de simulação de edificações propondo pequenos ajustes, de modo a torná-las um condutor ativo do desenvolvimento do projeto, e não apenas representar um meio passivo de prever o desempenho conforme ilustra a Figura 2.4.

Figura 2.4. Fluxo de trabalho por Kalay (1999) e o sugerido por Petersen e Svendsen (2010)



Fonte: Autoria Própria

A grande vantagem desta alteração consiste na redução de iterações que podem ocorrer até o encontro da solução adequada no fluxo proposto por Kalay. Nele, o projetista gera uma proposta que atendendo aos requisitos pré-estabelecidos, será avaliada quanto ao desempenho. Se a avaliação constata que o desempenho não é atendido ela será rejeitada, ou o projetista tentará ajustá-la.

Geralmente a decisão tomada é de ajustá-la, uma tarefa demorada de tentativa e erro, onde há o risco de que os projetistas fazer ajustes que provoquem erros em uma exigência já satisfeita. Sendo o projetista obrigado a fazer outra iteração, e quantas mais se fizerem necessárias (PETERSEN; SVENDSEN, 2010).



A redução de iterações consiste na inclusão de uma tarefa denominada “variação do parâmetro”, logo após um possível descarte da proposta devido ao descumprimento do desempenho estipulado. A proposta descartada passa a ser utilizada como referência na execução da alteração dos parâmetros decisivos no desempenho na tentativa de melhorá-la antes de passar a uma nova proposta. Sugere-se, para que o projetista possa ter melhor controle, que as alterações sejam realizadas apenas em um dos parâmetros específicos ao desempenho, enquanto os demais permanecem fixados.

De acordo com Petersen e Svendsen (2010), esta abordagem assemelha-se à análise de sensibilidade diferencial (DAS) capaz de permitir que os resultados do programa de sensibilidade sejam inseridos como parâmetros de mudanças a serem explorados diretamente pelos projetistas. Fornecendo assim, uma visão global das consequências do ajuste de um determinado parâmetro. Para estes autores, o fluxo ajustado requer o uso de uma ferramenta de simulação apropriada, capaz de facilitar a variação sistemática de parâmetros. No estudo de caso realizado pelos autores, no qual se propõem a operacionalização do método proposto a ferramenta utilizada foi o iDbuild⁵.

Além de minimizar as análises e reduzir as iterações, as decisões baseadas nesta nova visão geram uma proposta cuja chance é maior em satisfazer as exigências e os requisitos de desempenho.

Na tentativa de reduzir a interferência do agente humano, responsável por avaliar os resultados da simulação e determinar modificações, Oxman (2007) propõe a transição para um modelo de projeto baseado em desempenho, no qual considerações qualitativas e quantitativas podem ser usadas para investigar novos métodos de concepção do projeto.

Para isso, a autora destaca ser necessário superar dois problemas associados ao modelo convencional: (i) o conceito tradicional de projeto tipológico e (ii) a falta de ferramentas digitais para análise e avaliação que integrem capacidades generativas. Do ponto de vista metodológico, é necessário integrar a síntese às atividades de simulação e avaliação para expandir o papel do

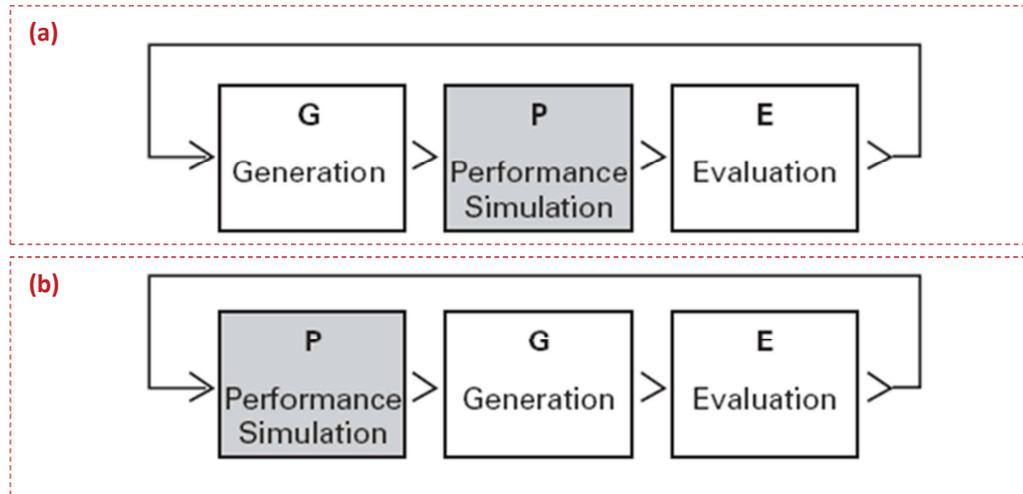
⁵ As versões disponíveis do iDbuild estão disponíveis no site: <<http://www.idbuild.dk>>.



projeto baseado em desempenho, onde o desempenho deve passar a ser uma força generativa na concepção ao invés de critérios de avaliação, conforme ilustra a Figura 2.5.

Figura 2.5. Modelos de projeto baseado em desempenho:

(a) Convencional CAD; (b) Projeto digital baseado em desempenho



Fonte: Adaptado de OXMAN (2007)

No modelo convencional, a síntese baseia-se na geração seguida por simulações e, posteriormente, por avaliações e reavaliações com alterações na tentativa de melhorar seu desempenho. Por outro lado, no modelo digital de projeto as respostas surgem do resultado da simulação do desempenho.

Segundo Oxman (2007), o modelo CAD (*Computer Aided Design*) marcou a saída do papel enquanto mídia, apesar de não ter resultado em grande mudança qualitativa no processo de projeto. O modelo baseado em desempenho é uma evolução dos modelos de formação, no qual a forma é resultado de um processo generativo pré-formulado, baseado em um rico corpo teórico, onde as formas complexas são resultados de requisitos de desempenho, em vez de serem requisitos de partido de projeto.

Em suma, em vez de o desempenho ser apenas um critério de avaliação do projeto, os resultados de simulações integram os processos generativos e de formação (OXMAN, 2007; 2008).



Um dos problemas básicos levantados por Oxman (2007) para a transformação de um processo de projeto convencional para um baseado no Modelo Performativo relaciona-se com a maneira como os projetos são concebidos e modelados. A própria autora traz como resposta o uso de tecnologias de projeto paramétrico que substituam a abordagem de projeto tipológico para uma de base topológica.

Do ponto de vista da prática observada, Andrade (2012) levanta que desde os primeiros métodos que procuravam empregar um modelo mais performativo, várias técnicas desenvolveram-se e aperfeiçoaram-se, algumas delas baseadas, por exemplo, em avaliação de múltiplos critérios de desempenho, interatividade, transformabilidade e controle paramétrico.

O mesmo autor aponta para a evolução do modelo performativo a importância em incorporar modelagem topológica em ferramentas computacionais de autoria BIM (*Building Information Modeling*), atualmente tipológica. E a melhoria nas ferramentas BIM relacionadas ao fluxo de informação digital, como meio de aproveitamento dessas informações nos estágios do processo de projeto, devido à necessidade de reformulação da estrutura do processo de projeto, com redefinição do papel do arquiteto e a intensificação da colaboração ainda nos primeiros estágios do processo de projeto.

2.1.3 Sistemas de avaliação e certificação ambiental do desempenho e sustentabilidade em edificações

A implantação de instrumentos de avaliação e classificação do desempenho das edificações tem se tornado uma realidade nacional e um grande auxílio no incentivo e propagação do conceito a incorporadores, construtoras e usuários finais. Tais instrumentos tiveram início internacionalmente como o BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) e o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), e posteriormente foram incorporados no cenário nacional, inspirando a criação de outros, como o Processo AQUA (Alta Qualidade Ambiental), adaptação brasileira da ferramenta original francesa Démarche HQE® (*Haute Qualité Environnementale*); o PROCEL Edifica: Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações; e o Selo da Casa Azul, regulado pela Caixa Econômica Federal. Ressalta-se a publicação da série ABNT NBR 15575:2013 Edificações Habitacionais – Desempenho, como marco regulatório.



As novas exigências fazem com que os projetistas se deparem com a necessidade de buscar soluções integradas capazes de atingir as metas de desempenho estipuladas. Entretanto, sabe-se que muitas soluções são interdisciplinares e requerem um ambiente cada vez mais colaborativo nas tomadas de decisão ainda nas etapas iniciais do projeto.

Neste sentido a tecnologia da informação surge como uma ferramenta capaz de auxiliar os projetistas a criar um ambiente integrado para o desenvolvimento do projeto, testar as propostas e validar soluções mais adequadas ao conjunto da edificação, antevendo e predizendo o desempenho em cada uma das alternativas.

2.2 Avaliações de desempenho e sustentabilidade

Esta seção investiga os desempenhos: acústico, térmico, luminoso, funcional (com foco na acessibilidade), e de sustentabilidade (com foco no parâmetro de consumo dos recursos: água e materiais); aplicados nas etapas iniciais do projeto de edificação. O objetivo é criar um corpo teórico capaz de dar suporte aos principais conceitos relacionados aos desempenhos ambientais na edificação tratados nesta dissertação.



2.2.1 Desempenho acústico

Um ambiente ruidoso além de prejudicar o desempenho humano acarreta em danos à saúde geral do indivíduo. Santos (1994) e Pimentel (1997) comprovam que níveis elevados de ruído são capazes de interferir em atividades básicas como a comunicação, a concentração e até mesmo o sono. Assim, um ambiente ruidoso impacta físico, fisiológica e mentalmente a vida dos indivíduos. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), o ruído de até 50 dB (A) pode perturbar, mas a partir de 55 dB (A) provoca estresse.

Nesse sentido, o desempenho acústico de um ambiente é determinado, e deve ser controlado, pelo nível sonoro ao qual o usuário é submetido. De modo geral, o ruído é proveniente tanto de fontes internas quanto externas à edificação. A edificação quando submetida aos limites de estímulos sonoros externos especificados na Tabela 2.2 (NBR 10151 - 2000), deve atender aos



níveis máximos para conforto acústico interno, fixados em função do tipo de atividade, estabelecidos pela NBR 10152 (1987), exemplificados na Tabela 2.3.

Tabela 2.2. Nível de Critério de Avaliação em dB(A), recomendados pela NBR 10151 (2000)

TIPOS DE ÁREA	7h-22h	22h-7h
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Tabela 2.3. Valores dos níveis sonoros internos, recomendados pela NBR 10152 (1987)

LOCAIS	dB(A)	NC
Hospitais		
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos	35-45	30-40
Laboratórios, Áreas para uso do público	40-50	35-45
Serviços	45-55	40-50
Escolas		
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35-45	30-40
Salas de aula, Laboratórios	40-50	35-45
Circulação	45-55	40-50
Hotéis		
Apartamentos	35-45	30-40
Restaurantes, Salas de Estar	40-50	35-45
Portaria, Recepção, Circulação	45-55	40-50
Residências		
Dormitórios	35-45	30-40
Salas de estar	40-50	35-45
Auditórios		
Salas de Concerto, Teatros	30-40	25-30
Salas de conferência, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35-45	30-35

(Continua)



(Continuação)

LOCAIS	dB(A)	NC
Restaurantes	40-50	35-45
Escritórios		
Salas de reunião	30-40	25-35
Salas de gerência, salas de projetos e de administração	35-45	30-40
Salas de computadores	45-65	40-60
Salas de mecanograia	50-60	45-55
Igrejas e Templos (cultos meditativos)	40-50	35-45
Locais para esporte		
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45-60	40-55

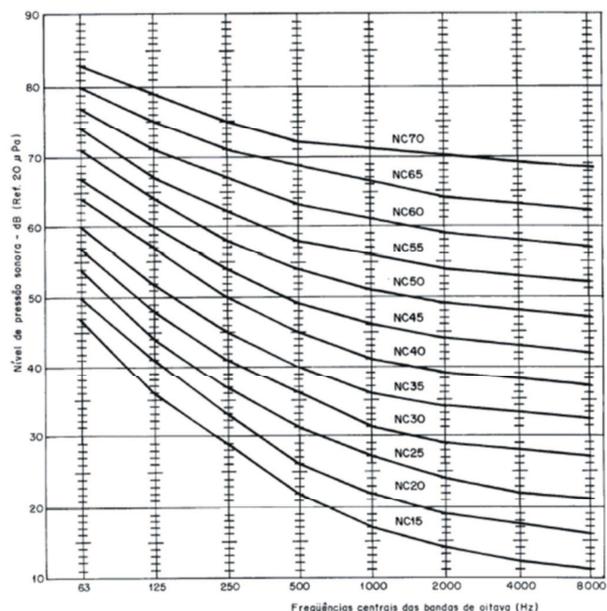
Os intervalos apresentados na Tabela 2.3 indicam, através dos limites inferiores, o nível sonoro desejável para o conforto dos usuários e, através dos superiores, o nível sonoro máximo aceitável para a atividade. Desta maneira, níveis que ultrapassem os limites superiores estabelecidos são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar risco de dano à saúde⁶.

Os níveis expressos em dB(A) representam a integração dos níveis de pressão acústica, por frequência, da energia sonora presente no ambiente. Para cada valor em dB (A) há um valor NC (*Noise Criteria*) correspondente. Conforme a norma nos alerta, a análise de frequências de um ruído é sempre importante para objetivos de avaliação e da adoção de medidas de correção, ou ainda de redução do nível sonoro. Assim, a Figura 2.6 apresenta diversas curvas de avaliação de ruído (NC), através das quais um espectro sonoro pode ser analisado, buscando identificar bandas com frequências mais significativas e que necessitem correção.

⁶ Como nesta pesquisa, a preocupação consiste na avaliação de desempenho, as questões relativas aos riscos de dano à saúde em decorrência do ruído não serão aprofundadas, concentrando nossas análises apenas nos valores referenciados a atender ao conforto dos usuários.



Figura 2.6. Curvas de avaliação de ruído (NC)



Fonte: Manual Ashrae Volume Sistemas Capítulo 35-1980 (ABNT NBR 10.1052/1987).

O ruído interno, de modo geral, pode ser controlado pelo isolamento das divisões internas, entre os ambientes, através da distribuição dos espaços, durante a fase de concepção, e da especificação dos fechamentos (espessura, materiais), em fases posteriores. A distribuição interna deve atender as características de cada ambiente evitando situações de conflito, como posicionar dormitórios próximos à caixa dos elevadores, ou ainda às prumadas hidráulicas.

Por outro lado, o controle de ruído externo implica no reconhecimento das características sonoras do entorno desde as etapas iniciais do projeto, para que as propostas de implantação estejam associadas às melhores soluções acústicas. Em áreas urbanas, *locus* do estudo, além de ser um dos principais causadores da poluição do ar, o tráfego de veículos automotores é também um significativo emissor de ruído externo. Estudado pela Companhia Ambiental do Estado de



São Paulo (CETESB), o Programa Nacional de Controle de Ruído Veicular⁷, estabelece limites máximos de ruído para veículos novos comercializados no Brasil, enquanto para os veículos em circulação, a legislação estabelece como limite o valor declarado pelo fabricante que consta no manual do proprietário⁸ (CETESB,2012). Entretanto, as características das vias associadas à geometria, aos materiais e até mesmo ao controle da velocidade média, influenciam diretamente na emissão dos ruídos.

Sabemos que o grande desafio na obtenção do conforto consiste no fato do cenário urbano encontrar-se em constante mutação, fazendo com que todo o entorno considerado na etapa de projeto sofra alterações a médio e longo prazo. Com o ruído não é diferente, é comum observamos durante a evolução das cidades a conformação de “cânions urbanos” capazes de amplificar o ruído gerado e assim, impactar sobre todas as decisões iniciais. Entretanto, devem ser consideradas todas as informações disponíveis durante o projeto, como ampliações da malha urbana ou alterações no zoneamento, para atenuar os impactos e garantir o conforto dos usuários.

Dentro deste contexto, caracterizar o ruído ao qual o ambiente está exposto é determinante na busca por soluções eficientes aos requisitos de desempenho acústico. De acordo com a NBR 15575-4⁹ devem ser atendidos parâmetros específicos para:

- Isolação acústica de vedações externas;
- Isolação acústica entre ambientes;
- Ruídos de impactos.

Como esta pesquisa concentra-se nas avaliações de desempenho que devem ser consideradas na etapa de concepção, destacam-se os requisitos: “isolação acústica de vedações externas” e

⁷ Lançado a partir das Resoluções CONAMA 01 e 02 de 1993, e atualizado pelas Resoluções CONAMA 08 de 1993, 17 de 1995, 20 de 1996, 242 de 1998, 268 e 272 de 2000. Prevê ainda critérios para serem utilizados em futuros programas de inspeção e fiscalização de veículos em circulação, conforme as Resoluções CONAMA 07 de 1993, 227 de 1997, 252 e 256 de 1999.

⁸ Valor é obtido no ensaio definido pela “NBR 9714 – Veículo rodoviário automotor – Ruído emitido na condição parado”.

⁹ NBR15575-4 Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE.



“isolação acústica entre ambientes”, o último somente na etapa de distribuição espacial das edificações e dos ambientes que a compõem.

Crítérios de avaliação

Tendo como foco os pontos a serem observados na concepção voltada ao conforto acústico, elencados anteriormente, o critério de avaliação consiste na determinação do valor do nível sonoro que atinge as fachadas, comparando-o ao nível de critério de avaliação (NCA) determinado pela NBR 10151 (2000), na Tabela 2.2.: “área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas” e “área mista, predominantemente residencial”. Para os valores de referencia devem ser aplicados valores de correção do NCA para ambientes internos de -10 dB(A) para janela aberta e -15 dB(A) para janela fechada. E ainda, se o nível de ruído do ambiente L_{ra}^{10} for superior ao valor estipulado na tabela para a área e o horário em questão, o NCA assume o valor do L_{ra} .

Desta maneira, deve-se considerar que para o ruído externo não ser incômodo a ponto de provocar o fechamento das aberturas de ventilação natural durante o período diurno, este valor não pode ultrapassar 50 dB(A) em “área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas”, ou 55 dB(A) em “área mista, predominantemente residencial”. Entretanto, como os valores determinados para garantir o conforto acústico nas áreas internas recomendados pela NBR 10152 (1987), Tabela 2.3, são mais conservadores, devem ser adotados como *baseline*: 35 dB(A) nos dormitórios e 40 dB(A) nas salas de estar.

A NBR15575-4 apresenta como critério a diferença padronizada de nível ponderada, promovida pela vedação externa ou fachada, para os dormitórios a ser verificada em campo. A Tabela 2.4 apresenta as recomendações relativas ao nível de desempenho da diferença padronizada de nível ponderada, a 2m da vedação externa, $D_{2m,nT,w}$.

¹⁰ Nível de pressão sonora equivalente ponderado em “A”, no local e horário considerados, na ausência do ruído gerado pela fonte sonora em questão (NBR 10151 (2000)).



Tabela 2.4. Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa

Classe Ruído	Localização da Habitação	$D_{2m,nT,w}$ (dB)	Nível
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	≥ 20	Mínimo
		≥ 25	Intermediário
		≥ 30	Superior
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e II	25	Mínimo
		≥ 30	Intermediário
		≥ 35	Superior
III	Habitação sujeita a ruído intendo de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação.	≥ 30	Mínimo
		≥ 35	Intermediário
		≥ 40	Superior

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15.575-4/2013.

Parâmetros de avaliação

Dentre os parâmetros para a caracterização do desempenho acústico, na etapa de concepção da implantação da edificação, destacam-se:

- (a) Nível sonoro da fachada;
- (b) Distribuição espacial do programa;

(a) Nível sonoro da fachada

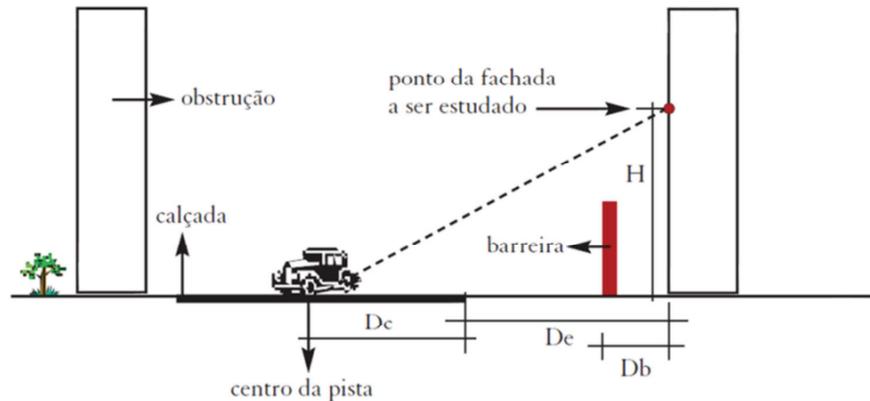
Segundo Alucci (2007), o valor do nível sonoro em um dado ponto da fachada de uma edificação é função das seguintes variáveis, ilustradas pela Figura 2.7:

- Posição do ponto na fachada;
- Trechos da via que podem ser “vistos” por este ponto;
- Do número de veículos por hora que circulam nesta via;
- Velocidade dos veículos;
- Porcentagem de veículos leves e pesados;
- Inclinação da via;
- Existência de obstruções no entorno da edificação;



- Presença de barreiras;
- Posição relativa das obstruções (em relação ao ponto da fachada)

Figura 2.7. Parâmetros que definem o nível sonoro em um dado ponto da fachada



Fonte: ALUCCI, 2007. p.111.

O procedimento detalhado do cálculo para a determinação do valor no nível sonoro (L) é apresentado por Alucci (2007)¹¹ e compreende os seguintes passos:

1. Estimar o nível o nível sonoro (L_c) na borda da calçada;
2. Comparar L_c obtido em (1) com a curva padrão (medida pelo IPT);
3. Corrigir o valor de L_c (1) com a curva padrão (2);
4. Calcular nível sonoro na fachada (L_f) devido à fonte sonora direta (tráfego);
5. Transformar L_f em pressão sonora (Pascal), corrigido para o trecho de pista vista pela fachada;
6. Calcular a pressão sonora na fachada (p_v) devido às obstruções;
7. Calcular a soma das pressões sonoras (direta + refletida) (6);
8. Calcular o nível sonoro final (L) na fachada;
9. Comparar o resultado (L) com o valor recomendado pela NBR 10151.

Desta maneira, a avaliação do nível sonoro da fachada através dos métodos tradicionais de cálculo, pode desestimular o projetista pela complexidade e demora na obtenção dos resultados

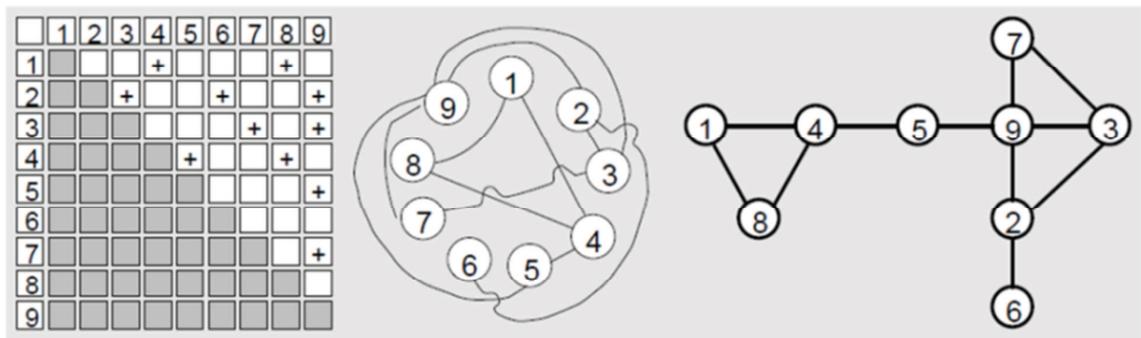
¹¹ O procedimento de cálculo detalhado encontra-se na referência indicada, páginas 112 a 122.

que servirão como auxílio à tomada de decisão, ainda nas fases iniciais. Ressaltando, assim, a importância de ferramentas capazes de simular diversas soluções em um curto espaço de tempo.

(b) Distribuição espacial do programa

A distribuição espacial do programa faz parte da fase cognitiva do projeto. Métodos que auxiliam esse processo buscam restringir o espaço ou escopo do problema para reduzir o tempo no desenvolvimento do projeto e aumentar a sua qualidade (KOWALTOWSKI et al., 2006). Nessa linha, foram criados alguns métodos dentre os quais, o método sistemático, que propõe uma organização sistematizada na coleta de informações, na organização destes dados e na sua apresentação através de meios gráficos, ilustrado pela Figura 2.8, quer sejam matrizes de relação, gráficos das redes de relação ou representação gráfica e tridimensional do projeto (CARVALHO, 2007).

Figura 2.8. Representação e organização gráfica das informações propostas no método sistemático



Fonte: JONES, 1963 apud CARVALHO, 2007.

Através desta metodologia é possível também identificar conexões desejáveis e indesejáveis relacionadas ao conforto acústico por meio da matriz de proximidades. Pode-se, por exemplo, identificar já no primeiro estágio do projeto a orientação indesejável entre dos dormitórios voltados para vias de alta emissão de ruídos, ou ainda, em outra escala a proximidade dos dormitórios as quadras poliesportivas ou áreas recreacionais. Pode-se também, identificar através da matriz, a conexão indesejável entre dormitórios e caixas de elevadores, ou dormitórios e prumadas hidráulicas. Garantindo um cuidado especial na distribuição espacial das edificações e dos ambientes durante a concepção do projeto e sua implantação.





2.2.2 Desempenho térmico

O desempenho térmico de uma edificação resulta da interação entre condicionantes climáticas, uso do ambiente e a resposta térmica da envoltória. A satisfação do usuário é refletida através da conjunção destas variáveis no atendimento às exigências térmicas com ou sem condicionamento artificial do ambiente, evitando-se o desconforto gerado pelo calor ou pelo frio.

As características climáticas e o uso desenvolvido no espaço constituem basicamente o ambiente térmico ao qual a edificação é exposta. O comportamento interativo entre fachada, cobertura e piso, está diretamente relacionado à maneira como a edificação irá reagir a esta exposição na configuração do ambiente térmico interno.

Sendo assim, o estudo de identificação das condições climáticas associado à definição do uso deve auxiliar na proposição das premissas e diretrizes do projeto da edificação e sua implantação. Uma vez que a definição da orientação, aberturas e materiais das paredes e coberturas devem estar de acordo ao clima específico do local.

Nesse sentido, as metodologias de análise climática com vistas à obtenção de recomendações arquitetônicas são instrumentos importantes na fase de pré-projeto por indicarem as estratégias bioclimáticas mais adequadas a serem adotadas nos edifícios, de acordo com seu programa de atividades e em função da caracterização climática do sítio (GONÇALVES *et al.*, 2003).

Diversos métodos podem ser utilizados, entretanto, deve-se atentar às ponderações necessárias relativas às características peculiares do local. Chvatal, *et al* (2000) concluem que o único método, aplicável a climas compostos, a fornecer recomendações ponderadas é o método de Mahoney, após adotarem uma série de métodos¹² para a cidade de Campinas-SP a fim de caracterizar o clima e propor diretrizes para o projeto nesta cidade. O método desenvolvido por Carl Mahoney, e aplicado ainda hoje nas etapas iniciais do projeto, constitui-se pela anotação dos dados climáticos disponíveis em planilhas e comparações com os limites de conforto pré-estabelecidos. Pela aplicação desse método surgem recomendações específicas em termos de

¹² Chvatal, *et al* (2000) aplicaram: (1) *Métodos expedito e estatístico para a determinação dos períodos de verão e inverno* (AKUTSU, VITTORINO E KANACIRO, 1993); (2) *Método proposto por RIVERO* (1986); (3) *Método proposto por AROZTEGUI* (1995); (4) *Método dos Triângulos* (EVANS E SCHILLER, 1991 E 1997); (5) *Tabelas de Mahoney* (Naciones Unidas, 1973 e KOENIGSBERGER ET AL., 1977)



forma, orientação, espaçamento entre edifícios, características térmicas de paredes, coberturas e a definição de aberturas, cujas decisões são tomadas ainda na etapa de concepção. A Tabela 2.5 sintetiza as recomendações levantadas por Chvatal, *et al* (2000) capazes de fornecer subsídios para a fase de concepção do projeto arquitetônico de habitações residenciais em Campinas.

Tabela 2.5. Diretrizes para a concepção de projetos na cidade de Campinas,SP, visando o condicionamento térmico natural

	Recomendações
ABERTURAS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ orientadas de modo que seja possível ventilação cruzada (aproveitamento do vento: sudeste). ▪ protegidas contra o vento sudeste no inverno. Maior cuidado com as infiltrações em janelas e portas submetidas a esse vento em áreas pouco adensadas. ▪ reguláveis, para que seja possível o controle do fluxo de ar, de modo a atender as exigências de ventilação variáveis ao longo do ano. Não devem ser previstas aberturas permanentes de ventilação. ▪ posicionadas de forma que o vento incida diretamente sobre os ocupantes no verão (janelas na altura dos usuários). ▪ com dispositivos exteriores para controlar a radiação solar no período de setembro a abril, principalmente nos horários mais quentes do dia, referentes ao período da tarde (análise através da carta solar). ▪ protegidas contra chuva.
ORIENTAÇÃO/ INSOLAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> ▪ a orientação dos edifícios deve favorecer o aproveitamento do vento predominante (sudeste). ▪ controle da radiação solar através da coloração apropriada das superfícies. ▪ tratamento do solo circundante para controlar as temperaturas superficiais. Uma boa alternativa é o uso da vegetação que também diminui a necessidade de drenagem da água da chuva.
ESPAÇAMENTO ENTRE EDIFICAÇÕES	<ul style="list-style-type: none"> ▪ grande separação entre as edificações para entrada do vento sudeste no verão mais úmido
FECHAMENTOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ inércia térmica média a alta, devido às grandes amplitudes de temperatura, principalmente no inverno.
SUPERFÍCIES ENVIDRAÇADAS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ com dispositivos exteriores para controlar a radiação solar no período de setembro a abril, principalmente nos horários mais quentes do dia, referentes ao período da tarde (análise através da carta solar).

Fonte: CHVATAL, et al (2000), p. 7.



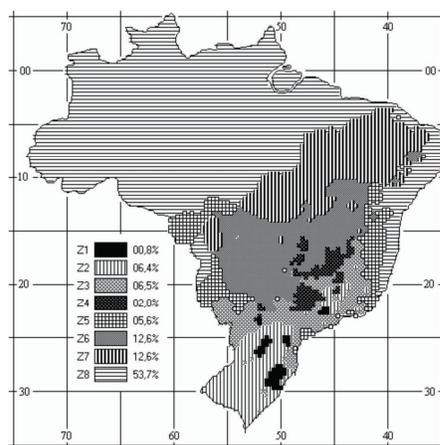
A maior limitação do método de Mahoney é sua simplicidade. Entretanto, esta limitação também é sua maior virtude. O método conta com uma didática clara, veloz, prática, cujos dados de entrada são simplificados e padronizados, fatores essenciais para a aplicação. Neste campo, de acordo com Gonçalves *et al.* (2003), as ferramentas computacionais evoluíram pouco em relação às fases mais avançadas do projeto, que contam com avaliações de dinâmica de fluidos computacional (CFD) e permitem complexas avaliações do ambiente projetado.

Como o conforto térmico está relacionado diretamente ao controle da temperatura do ambiente interno à edificação, neste trabalho foca-se nos requisitos apresentados pela ABNT NBR 15575: "exigências de desempenho no verão" e "exigências de desempenho no inverno".

Critérios de avaliação

O Brasil apresenta uma grande diversidade climática devido às dimensões continentais de seu território. Portanto, durante a análise do desempenho térmico, devem ser consideradas as características bioclimáticas definidas pela ABNT NBR 15220-3, que estabelece o Zoneamento bioclimático brasileiro em oito zonas, conforme demonstra a Figura 2.9. A mesma norma define ainda diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social: orientação sobre aberturas (tamanho e sombreamento) e vedações externas (paredes e coberturas).

Figura 2.9. Zoneamento bioclimático brasileiro, definido pela NBR 15220-3 (2005)



Fonte: (ABNT NBR 15.220-3/2005).

Focando os pontos a serem observados na concepção voltada ao conforto térmico, elencados anteriormente, o critério de avaliação consiste na determinação do valor da temperatura interna



da edificação, cujo resultado deve satisfazer aos níveis de desempenho estipulados pela ABNT NBR 15575, M (mínimo), I (intermediário) e S (superior) na determinação das temperaturas máximas em condições de verão e mínimas em condições de inverno, conforme Tabela 2.6.

Tabela 2.6. Critérios de avaliação de desempenho térmico

VERÃO	Zonas 1 a 7	Zona 8
Mínimo (M)	$T_{i, \max} \leq T_{e, \max}$	$T_{i, \max} \leq T_{e, \max}$
Intermediário (I)	$T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 1^{\circ}\text{C})$
Superior (S)	$T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 2^{\circ}\text{C})$
INVERNO	Zonas 1 a 5	Zonas 6, 7 e 8
Mínimo (M)	$T_{i, \min} \geq (T_{e, \min} + 3^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado.
Intermediário (I)	$T_{i, \min} \geq (T_{e, \min} + 5^{\circ}\text{C})$	
Superior (S)	$T_{i, \min} \geq (T_{e, \min} + 7^{\circ}\text{C})$	
<p>$T_{i, \max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e, \max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; $T_{i, \min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e, \min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15.575-1/2013.

A NBR 15575 estabelece um procedimento normativo e um procedimento informativo para a avaliação do desempenho térmico de edificações:

- Procedimento 1 – Simplificado (normativo): atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedações e coberturas, conforme ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5 respectivamente. Para os casos em que a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica, conforme os critérios e métodos estabelecidos por essas normas, resultem em desempenho térmico insatisfatório, o projetista deve avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo pelo método da simulação computacional;
- Procedimento 2 – Medição (informativo) verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos pela ABNT NBR 15575-1, por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos.

Os requisitos e critérios, estabelecidos na ABNT NBR 15575-4, para os sistemas de vedação são:



- Adequação de paredes externas: como critérios, deve apresentar transmitância térmica (Tab. 2.7) e capacidade térmica (Tab. 2.8) que proporcionem pelo menos o desempenho térmico mínimo.

Tabela 2.7. Transmitância Térmica: paredes

Transmitância Térmica U (W/m ² .K)		
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 8	
U ≤ 2,5	α ≤ 0,6	α > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5

Onde: α é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15.575-4/2013

Tabela 2.8. Capacidade Térmica: paredes

Capacidade Térmica CT (kJ/m ² .K)	
Zonas 1 a 7	Zona 8
≥ 130	Sem requisito

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15.575-4/2013

- Aberturas para ventilação: como critério, deve apresentar valores mínimos admissíveis para áreas de aberturas (Tab. 2.9).

Tabela 2.9. Áreas mínimas de aberturas para ventilação

Áreas mínimas de aberturas para ventilação (nível de desempenho M) Abertura para Ventilação (A) - % da área do piso	
Zonas 1 a 7 Aberturas médias	Zona 8 Aberturas grandes
A ≥ 7	A ≥ 12 Região Norte A ≥ 8 Região Nordeste e Sudeste

A=100. (Aa/AP): Aa área efetiva de ventilação; Ap área do piso. Nas zonas 1 a 6 as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15.575-4/2013

- Sombreamento das aberturas localizadas dos dormitórios em paredes externas: como critério deve apresentar dispositivos que permitam o sombreamento, ventilação e escurecimento, a critério do usuário.



O requisito e critério, estabelecidos na ABNT NBR 15575-5, para os sistemas de cobertura são:

- Isolação térmica da cobertura: cujo critério estabelece os valores máximos admissíveis para transmitância térmica das coberturas (Tab. 2.10), considerando fluxo térmico descendente, em função das zonas bioclimáticas.

Tabela 2.10. Transmitância Térmica: coberturas

Transmitância Térmica U (W/m ² .K)				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
U ≤ 2,30	α ≤ 0,6	α > 0,6	α ≤ 0,4	α > 0,4
	U ≤ 2,30	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FT	U ≤ 2,30 FT

Onde: α é a absorvância à radiação solar da superfície externa da cobertura. O fator de correção da transmitância (FT) é estabelecido na ABNT NBR 15220-3..

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15.575-5/2013

Para das simulações computacionais, a NBR 15575-1 recomenda o uso do programa EnergyPlus, outros programas podem ser utilizados desde que permitam a determinação do comportamento térmico de edificações sob condições dinâmicas de exposição ao clima, sendo capazes de reproduzir os efeitos de inércia térmica, validados pela ASHRAE Standard 140.

Devem ser utilizadas como referência as Tabelas A.1, A.2 e A3, presentes no anexo A da NBR 15575-1, que fornecem informações sobre a localização geográfica de algumas cidades brasileiras e os dados climáticos correspondentes aos dias típicos de projeto de verão e inverno. Na falta de dados da cidade em questão, recomenda-se utilizar os dados de uma cidade com características semelhantes e na mesma zona bioclimática brasileira, conforme NBR 15220-3.

Parâmetros de avaliação

Os parâmetros considerados para a determinação do desempenho térmico, na etapa de concepção da edificação, apresentados pela norma, são: (a) Valor mínimo da temperatura interna e externa à edificação, no inverno; (b) Valor máximo da temperatura interna e externa à edificação, no verão;





2.2.3 Desempenho luminoso

O desempenho luminoso, além de garantir níveis de iluminância (lux) adequados à realização das atividades relacionadas a cada ambiente, é um fator importante em busca da eficiência energética da edificação e de extrema relevância para saúde e bem estar dos usuários. Sua avaliação associa duas fontes de iluminação, a natural e a artificial; em duas dimensões, a subjetiva e a objetiva.

Na dimensão subjetiva, o foco está sobre a qualidade da luz no impacto psicológico do ambiente nos usuários, não possuindo medições numéricas. Na objetiva (quantitativa), a quantidade de luz pode ser medida numericamente. Neste trabalho, voltado à aplicação de ferramentas computacionais nas fases iniciais de projeto, restringir-se-á a iluminação natural na dimensão objetiva, por ser suscetível à simulação e depender exclusivamente das premissas de implantação e definição da volumetria da edificação. A iluminação artificial não será abordada, uma vez que esta pesquisa não contempla as análises de eficiência energética e custo de operação, mas reconhece-se a importância de serem incorporadas na análise da edificação.

A utilização adequada da iluminação natural pode contribuir com a redução do uso da luz artificial durante o período diurno, e propiciar uma comunicação desejável com o exterior. Frequentes pesquisas abordam a importância da luz natural às necessidades psico-fisiológicas das pessoas. Para o melhor aproveitamento na edificação, as aberturas projetadas devem estar de acordo à trajetória solar do local, evitando ofuscamentos e ganho excessivo de calor.

Segundo a ABNT NBR15575, o projeto para os ambientes com iluminação natural devem considerar: a disposição dos cômodos, orientação geográfica da edificação, dimensionamento e posição das aberturas, tipo de janela e de envidraçamento, rugosidade e cor de paredes, tetos e pisos; eventuais poços de ventilação e de iluminação, domo de iluminação e influência de interferências externas (construções vizinhas, por exemplo).

Diversas estratégias de projeto podem ser utilizadas para obtenção da melhor iluminação no interior da edificação. Como recurso, a utilização da carta solar torna possível determinar um sombreamento ótimo para cada abertura, permitindo a iluminação sem o ganho solar (LAMBERTS; TRIANA, 2007). Melhorar o desempenho da iluminação auxilia no desempenho térmico e na eficiência energética da edificação.



Critérios de avaliação

Alguns países possuem normas voltadas à iluminação natural desde a década de 80¹³. No Brasil, apenas recentemente os níveis mínimos de iluminação natural para edificações residenciais foram abordados pela ABNT NBR 15575 (Tab. 2.11).

Tabela 2.11. Níveis de iluminação Natural, ABNT NBR 15575

Dependências	Iluminamento geral para de desempenho (lux)		
	Mínimo	Intermediário	Satisfatório
Sala de Estar; Dormitório; Copa/Cozinha; Área de Serviço;	≥60	≥90	≥120
Banheiro; Corredor ou escada interna à unidade; Corredor e escadarias de uso comum; Garagens e estacionamento.	Não Requerido	≥30	≥45

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15.575-1/2013

Parâmetros de avaliação

Dentre as premissas de projeto apresentadas pela ABNT NBR15575:

1. Disposição dos cômodos;
2. Orientação geográfica da edificação;
3. Dimensionamento e posição das aberturas;
4. Tipos de janela e envidraçamento;
5. Rugosidade e cor das paredes, tetos e pisos;
6. Poços de ventilação e iluminação;
7. Domos de iluminação;
8. Influência de interferências externas.

Os parâmetros para a caracterização do desempenho luminoso natural, na etapa de concepção da edificação foram agrupados, nesta dissertação, da seguinte maneira:

- a) Forma e orientação da edificação (2+8);

¹³ É o caso da DIN5034 (1982) – Luz Natural de Interiores; BSI DD (1982): *Basic Data for the Design of Buildings: Daylight*; BSI DD 63 (1980): *Basic Data for Design Buildings: Sunlight*.



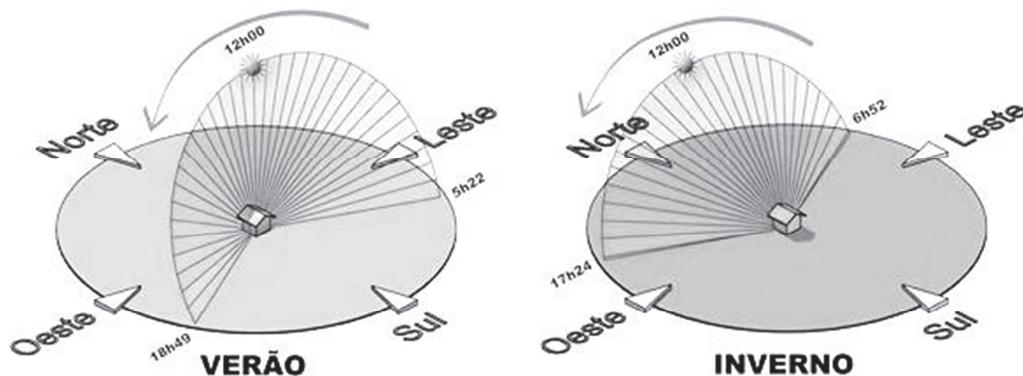
- b) Distribuição e dimensionamento dos cômodos (1);
- c) Distribuição e dimensionamento das aberturas (3+4+6+7);
- d) Nível de iluminamento (lux) (5).

(a) Forma e orientação da edificação;

A forma da edificação deve respeitar a orientação solar mais favorável ao local de acordo com a função e o objetivo ao qual se destina: ventilação, iluminação e/ou radiação solar, conforme análises qualitativas e quantitativas. A adequada orientação solar deve atentar à influência das interferências externas e aos princípios do trajeto do sol, observando o nascer do sol a leste e o ocaso a oeste (Fig.2.10).

Podemos por exemplo citar que, no hemisfério sul, as fachadas orientadas para o oeste tendem a ser mais quentes do que as fachadas orientadas para o leste, devido ao sol baixo coincidir com o período mais quente do dia, o meio da tarde.

Figura 2.10. Trajetória solar no hemisfério sul



(b) Distribuição e dimensionamento dos cômodos (setorização ambientes)

A distribuição dos cômodos deve seguir as características específicas das atividades realizadas e o grau de permanência dos usuários, lembrando que a orientação deve favorecer a iluminação natural, com controles específicos voltados ao conforto higrotérmico dos usuários e a eficiência energética da edificação (LAMBERTS; TRIANA, 2007).

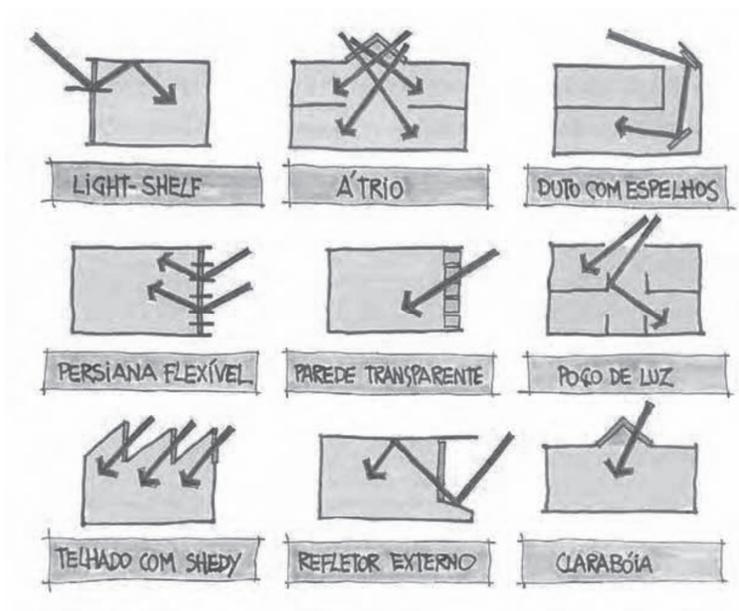


Com relação ao dimensionamento, para manter um nível mínimo de iluminação natural e uma distribuição uniforme da luz, deve-se também considerar a profundidade do espaço, inferior a 2,5 vezes a altura do piso até as vergas (BROWN; DEKAY, 2004).

(c) Distribuição e dimensionamento das aberturas;

A distribuição e o dimensionamento adequado das aberturas, quando protegidas da radiação direta do sol, são fontes eficientes de iluminação. Dentre os tipos de aberturas estão as laterais e as zenitais, conforme demonstra a Figura 2.11.

Figura 2.11. Sistemas de Iluminação Natural



Fonte: Sistemas de iluminação natural (LAMBERTS et al., 1997, p. 165) In: LAMBERTS, R.; TRIANA, M.A. Levantamento do estado da arte: energias. In: Habitação mais sustentável: Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável - Projeto Finep 2386/04. São Paulo, 2007, p.29.

Aberturas laterais proporcionam além de iluminação, ventilação e contato visual com o exterior. Aberturas zenitais permitem a entrada da luz pelo plano horizontal, entretanto sendo suscetível a um ganho maior de calor por estarem expostas a níveis elevados de radiação solar direta. Complementam o sistema os elementos fixos ou móveis capazes de controlar os ganhos de radiação direta, luz e o contato com o exterior, como brises, sistemas integrados aos caixilhos e *light shelves*. As dimensões mínimas das aberturas em cada ambiente variam de acordo com a

área do piso e são estipuladas pelo código de obra de cada município, entretanto tais valores ainda não estão relacionados ao conforto dos usuários.

(d) Nível de iluminamento (lux)

Atualmente os níveis de iluminação artificial de ambientes internos, são definidos pela ABNT NBR 5413. Entretanto, tal norma aborda parâmetros para iluminação, onde se realizem atividades de comércio, indústria, ensino, esporte e outras. Quando analisado os valores incorporados pela NBR 15575 e os propostos pela NBR 5413, para ambientes com atividades semelhantes pode-se observar uma discrepância dos limites estipulados (Tab. 2.12). Verifica-se a necessidade de estudos dos níveis adequados quando os ambientes tem potencial para utilizar a luz natural, principalmente em habitações.

Tabela 2.12. Níveis de iluminamento natural ABNT NBR 15575 x artificial ABNT NBR 5413

Dependências	Iluminamento geral para de desempenho (lux)	
	NBR 15575	NBR 5413
Sala de Estar;	≥60 - ≥90 - ≥120	100-150-200
Dormitório;	≥60 - ≥90 - ≥120	100-150-200
Copa/Cozinha;	≥60 - ≥90 - ≥120	100-150-200
Banheiro;	≥60 - ≥90 - ≥120	100-150-200
Área de Serviço;	≥60 - ≥90 - ≥120	100-200-300
Corredor ou escada interna à unidade; Corredor e escadarias de uso comum;	Não exigido - ≥30 - ≥45	75 – 100 – 150
Garagens e estacionamento	Não exigido - ≥30 - ≥45	100 – 150 - 200





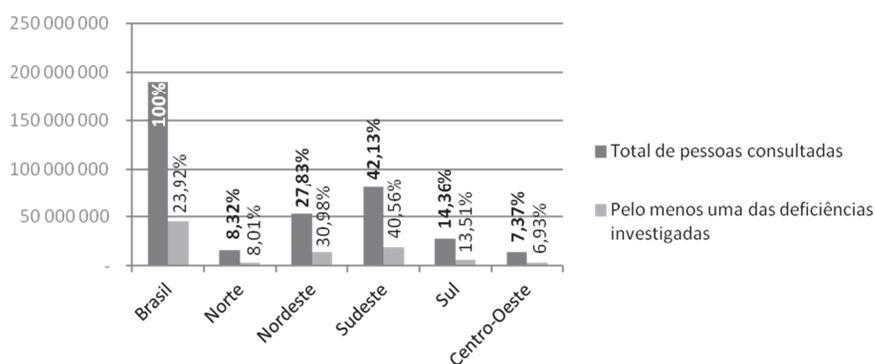
2.2.4 Desempenho funcional: acessibilidade

O conforto funcional se resume a duas áreas de concentração: acessibilidade e ergonomia. A ideia de funcionalidade ligada ao conforto ambiental está relacionada com a prática arquitetônica, o suprimento das necessidades vitais e a satisfação do usuário no convívio com o ambiente. Não se trata somente das medidas mínimas exigidas para a execução de determinada tarefa, mas engloba todo o programa arquitetônico da edificação (RUSCHEL, *et al.*, 2006).

Nesse sentido, o conceito arquitetônico do Desenho Universal torna-se fundamental, pois propõe a democratização do uso do espaço tendo enfoque não apenas em um tipo de usuário, mas inclusivo a diferentes perfis. Considerando que todos têm o direito de ter acesso a tudo. Ao projetar, torna-se necessário conhecer as diferenças existentes e reconhecê-las como enriquecimento ao produto final.

O censo 2010 revelou que 23,9% da população brasileira é portadora de pelo menos um deficiência. As deficiências levantadas foram: visual, motora, auditiva e mental. Esta porcentagem representou um aumento de 9,4% em 10 anos, indicando um crescimento significativo se comparado ao da população brasileira, 12,34%, para o mesmo período (IBGE). A maior concentração apresenta-se nas regiões Sudeste e Nordeste do território nacional, conforme ilustra a Figura 2.12.

Figura 2.12. Portadores de necessidades especiais, contexto nacional

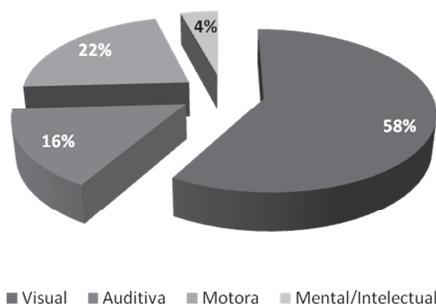


Fonte: IBGE, Censo Demográfico 2010./ (1) As pessoas incluídas em mais de um tipo de deficiência foram contadas apenas uma vez. (2) Inclusive as pessoas sem declaração dessas deficiências. (3) Inclusive a população sem qualquer tipo de deficiência.



O reconhecimento das características e necessidades de cada deficiência é fundamental, pois cada uma impacta, a seu modo, diretamente na apreensão espacial dos usuários e requer adaptações especiais na garantia da sua inclusão ao espaço. Dentre as deficiências pesquisadas pelo censo 2010, mais da metade caracteriza-se por algum tipo de deficiência visual, seguido por motora, auditiva e mental, essa última com menor representatividade, conforme apresenta a Figura 2.13.

Figura 2.13. Distribuição dos tipos de deficiências pesquisadas pelo censo 2010



Fonte: IBGE, Censo Demográfico 2010. (1) As pessoas incluídas em mais de um tipo de deficiência foram contadas apenas uma vez. (2) Com exceção da deficiência mental/intelectual os demais incluem faixas de gradação: (a) não consegue de modo algum, (b) grande dificuldade e (c) alguma dificuldade.

Também o envelhecimento, como reflexo do baixo crescimento populacional aliado a menores taxas de natalidade e fecundidade, tem sido progressivo, e um fator relevante quando o assunto é acessibilidade. Dados do IBGE apontam o crescimento da participação relativa da população com 65 anos ou mais, de 4,8% em 1991, para 5,9% em 2000 chegando a 7,4% em 2010.

Não apenas os portadores de necessidades especiais e os idosos merecem atenção especial, mas todos os que possuem algum tipo de mobilidade reduzida como, por exemplo, a mãe ao passear com seu filho em um carrinho. Portanto, garantir o direito à diversidade é um desafio na busca da convivência harmoniosa e digna para todos, cada vez mais presente na sociedade. Mesmo sendo submetidos a problemas e obstáculos presentes no cotidiano que necessitam de soluções, diferentemente para os idosos e para pessoas portadoras de necessidades especiais, tais obstáculos são materializados em barreiras que impedem o acesso ao direito fundamental de ir e vir (GASPARETTO, 2006).



Assim, a acessibilidade é um ponto de concentração fundamental, estando diretamente sobre a responsabilidade do arquiteto durante a construção da cidade. No entanto, grande parte da produção arquitetônica existente, ainda não está preparada para acolher as diferenças físicas existentes entre os usuários, particularmente, para os portadores de necessidades especiais e para a população idosa, mesmo sendo este direito protegido por leis específicas. Essa situação resulta tanto da má organização do espaço físico, como principalmente pelo despreparo e descuido dos profissionais ainda durante as fases iniciais do processo de projeto.

Kowaltowski (2001) aponta a qualidade de uso do ambiente físico associada diretamente ao estudo do conforto funcional como auxílio ao projetista, principalmente na etapa de concepção de uma edificação. Fase onde RUSCHEL, R. C.; *et al.* (2006) ressaltam a importância do programa de necessidade para a definição da volumetria, acessos, geometria dos espaços, configuração das aberturas, implantação no terreno, proporção entre os espaços externos e internos, características antropométricas e equipamentos a serem utilizados pelos usuários. Entretanto, a aplicação natural dos conceitos de acessibilidade depende exclusivamente do conhecimento prévio dos requisitos necessários.

Critérios de avaliação

De acordo com a NBR 15575, os requisitos necessários à funcionalidade e acessibilidade que devem ser atendidos, são:

- Dimensões mínimas e organização funcional dos espaços;
- Adequação para portadores de deficiências físicas ou pessoas com mobilidade reduzida;
- Possibilidade de ampliação da unidade habitacional;

A apresentação adequada da organização dos cômodos e as dimensões compatíveis devem seguir as referências mínimas estipuladas no item 16.1.1 e 16.2.1 da NBR 15575, pelas tabelas *Móveis e equipamentos-padrão* e *Dimensões mínimas de mobiliário e circulação*. Deve-se também observar a legislação vigente quanto ao pé-direito mínimo de 2,30m nos banheiros e 2,50m nos demais ambientes. A adequação dos espaços aos portadores de necessidades especiais ou com mobilidade reduzida deve seguir a norma específica NBR 9050. Dentre as premissas de projeto abordadas pela NBR 15575, destacam-se para serem observadas na etapa de concepção os itens elencados na Tabela 2.13.



Tabela 2.13. Pontos a serem observados na concepção voltada à acessibilidade.

APONTAMENTO	COMENTÁRIOS	ATIVIDADE ENVOLVIDA
(a) Acessos	Prover acesso a todas as áreas projetadas.	Distribuição espacial do programa. Controle da largura dos acessos (corredores e portas). Controle da superfície.
(b) Deslocamento Horizontal	Promover um passeio agradável, nos espaços a percorrer.	Controle da superfície. Controle da largura dos acessos (corredores e portas). Controle das declividades; Suavizar distância dos percursos.
(c) Deslocamento Vertical	Trabalhar com os desníveis de maneira inclusiva, limitação de declividades.	Controle de escadas, degraus e rampas.

Parâmetros de avaliação

Os parâmetros relacionados à acessibilidade, na etapa de concepção da edificação:

- a) Distribuição inicial do programa;
- b) Controle da largura dos acessos;
- c) Controle da superfície;
- d) Controle das declividades;
- e) Controle de escadas, degraus e rampas;
- f) Suavizar distância dos percursos.

(a) Distribuição inicial do programa e (f) Suavizar distância entre percursos

Através do método sistemático é possível identificar conexões desejáveis e indesejáveis, por meio da matriz de proximidades. Nesse sentido podemos, por exemplo, identificar já no primeiro estágio os percursos a serem criados e minimizar a distância entre eles. Uma vez que deve-se proporcionar facilidade ao acesso através da rota acessível, estipulada e definida pela NBR 9050 como um trajeto contínuo, desobstruído e sinalizado, que conecta os ambientes externos ou internos de espaços e edificações, e que possa ser utilizado de forma autônoma e segura por todas as pessoas, inclusive aquelas com deficiência.

(b) Controle da largura dos acessos



A norma NBR 9050 de Acessibilidade prevê parâmetros para circulações interna e externa conforme descrito na Tabela 2.14, devendo considerar em ambos os casos o controle das superfícies e rotas completamente desobstruídas e isentas de interferências.

Tabela 2.14. Larguras e Inclinações, conforme ABNT NBR 9050/04.

Circulação Interna	Circulação Externa
<p>(a) 0,90m para corredores de uso comum com extensão até 4,00m;</p> <p>(b) 1,20m para corredores de uso comum com extensão até 10,00m; e 1,50m para corredores com extensão superior a 10,00m;</p> <p>(c) 1,50m para corredores de uso público; e,</p> <p>(d) maior que 1,50m para grandes fluxos de pessoas, conforme aplicação da fórmula utilizada para o dimensionamento da faixa livre.</p> <p>(e) Portas, inclusive de elevadores, deverão ter um vão mínimo de 0,80m e altura mín. 2,10m.</p>	<p>Calçadas, passeios e vias exclusivas de pedestres devem incorporar faixa livre com largura mínima recomendável de 1,50 m, sendo o mínimo admissível de 1,20 m e altura livre mínima de 2,10 m.</p> <p>A inclinação transversal não deve ser superior a 3%. Eventuais ajustes de soleira devem ser executados sempre dentro dos lotes.</p> <p>A inclinação longitudinal deve sempre acompanhar a inclinação das vias lindeiras. Recomenda-se que a inclinação longitudinal das áreas de circulação exclusivas de pedestres seja de no máximo 8,33% (1:12).</p> <p>Inclinação superior a 8,33% (1:12) não podem compor rotas acessíveis.</p>
<p>Para determinação da largura da faixa livre em função do fluxo de pedestres, utiliza-se a seguinte equação: $L = F/K + \sum i \geq 1,20$, onde:</p> <p>L é a largura da faixa livre;</p> <p>F é o fluxo de pedestres estimado ou medido nos horários de pico (pedestres por minuto por metro);</p> <p>K = 25 pedestres por minuto;</p> <p>$\sum i$ é o somatório dos valores adicionais relativos aos fatores de impedância.</p> <p>Os valores adicionais relativos a fatores de impedância (i) são:</p> <p>a) 0,45 m junto a vitrines ou comércio no alinhamento;</p> <p>b) 0,25 m junto a mobiliário urbano;</p> <p>c) 0,25 m junto à entrada de edificações no alinhamento.</p>	

(c) Controle da superfície

Os pisos devem ter superfície regular, firme, estável e antiderrapante sob qualquer condição, que não provoque trepidação em dispositivos com rodas (cadeiras de rodas ou carrinhos de bebê) (ABNT 9050/04).

(d) Controle das declividades



Admite-se inclinação transversal da superfície até 2% para pisos internos e 3% para pisos externos e inclinação longitudinal máxima de 5%. Inclinações superiores a 5% são consideradas rampas (ABNT 9050/04).

(e) Controle de escadas, degraus e rampas

Além de seguirem as características apresentadas na Tabela 2.15, de acordo com a norma ABNT 9050/04, degraus e escadas fixas em rotas acessíveis devem estar associados à rampa ou ao equipamento de transporte vertical.

Tabela 2.15. Degraus e Escadas Fixas

Dimensionamento de degraus isolados	Dimensionamento de escadas fixas
Espelho considerando a restrição: $0,16m < x < 0,18m$	Piso e espelho considerando a restrição de $0,63m < P + 2E < 0,65m$; Largura livre mínima de 1,20m; Patamar de 1,20m de comprimento no sentido do movimento, a cada 3,20m de altura ou quando houver mudanças de direção; O primeiro e o último degrau de um lance devem estar distante do espaço de circulação no mínimo 0,3m.

As rampas devem ter largura mínima de 1,20m e inclinação de acordo com os limites estabelecidos na Tabela 2.16. Para inclinação entre 6,25% e 8,33% devem ser previstas áreas de descanso nos patamares, a cada 50m de percurso, mínimo 1,20m. Inclinações transversais não podem exceder 2% em rampas internas e 3% em rampas externas. (ABNT 9050/04).

Tabela 2.16. Dimensionamento de Rampas

Inclinação admissível por segmento de rampa (%)	Desníveis máximos por segmento de rampa (m)	Número máximo de segmentos de rampa
5,00 (1:20)	1,50	Sem limites
$5,00 (1:20) < i \leq 6,25 (1:16)$	1,00	Sem limites
$6,25 (1:16) < i \leq 8,33 (1:12)$	0,80	15

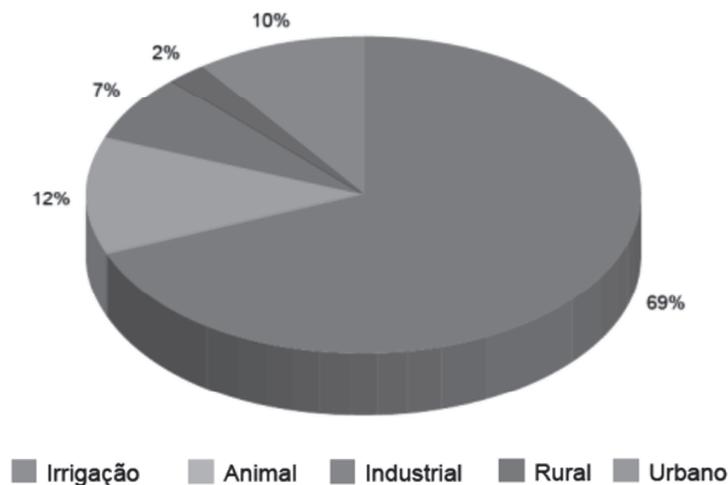




2.2.5 Consumo de água

Não há dúvidas quanto à necessidade de preservação dos recursos naturais, dentre eles, a água. De acordo com a Agenda 21, as demandas por água estão aumentando rapidamente, com 70% a 80% exigidos para a irrigação, menos de 20% para a indústria e apenas 6% para consumo doméstico, no mundo. Entretanto, estes valores podem variar com relação ao país. No Brasil, de acordo com o levantamento realizado pela Agência Nacional de Águas (ANA), as demandas consultivas estão distribuídas conforme ilustra a Figura 2.14.

Figura 2.14. Consumo de água no Brasil (total: 986,4m³/s)



Fonte: ANA, Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, 2011.

Neste cenário voltado à gestão do recurso, o objetivo deste tópico é levantar métodos de propiciar a utilização da água de forma mais sustentável na definição dos sistemas de instalações hidro sanitárias em edificações multifamiliares, durante as etapas iniciais do projeto.

Na definição conceitual dos termos conservação e uso racional, alguns autores admitem a conservação de água como um conjunto de ações que propiciam a economia e preservação do recurso, seja nos mananciais, seja nas edificações (SANTOS et al., 2005). Outros, no entanto, apontam para uma diferenciação entre a conservação atrelada ao fornecimento de águas com enfoque na oferta e demanda, e o uso racional vinculado apenas à demanda (ILHA, 2008). Adota-se a proposta de diferenciação entre o conceito de conservação e o de uso racional, por diferenciar as soluções vinculadas ao processo de projeto.



Durante a etapa de concepção a preocupação do projetista atrelada ao conceito de conservação, relaciona-se diretamente à garantia de manutenção do ciclo da água, através da implantação do edifício no terreno e da definição entre os sistemas de:

- Retenção de águas pluviais;
- Infiltração de águas pluviais;
- Áreas permeáveis.

Nesta etapa, alguns requisitos iniciais precisam ser observados, como a análise de permeabilidade do solo, suas características físicas e estruturais, o índice pluviométrico da área em estudo e o nível do lençol freático, além da viabilidade econômica para determinar a melhor solução no controle de escoamento superficial e infiltração.

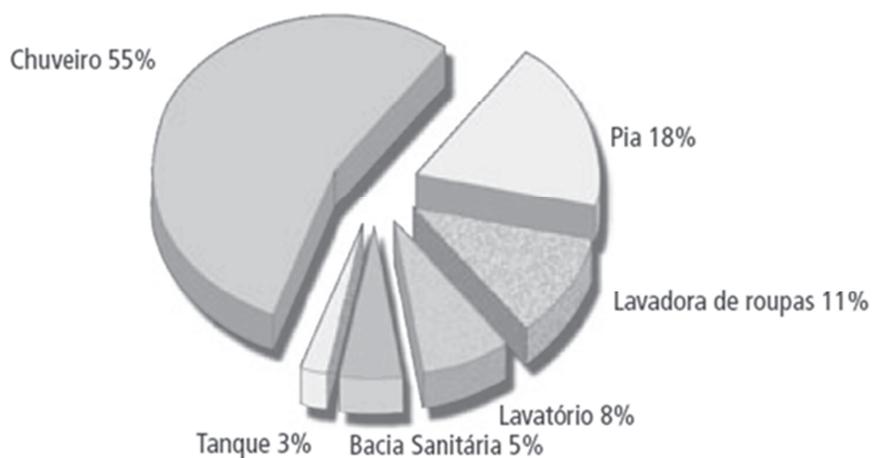
Por outro lado, o uso racional é um fator essencial no controle e redução do consumo, e pode ser trabalhado na edificação através de um ou mais sistemas:

- Reuso de águas;
- Aproveitamento de águas pluviais;
- Medição individualizada e equipamentos hidráulicos economizadores.

Nesse sentido, torna-se necessário conhecer a distribuição do consumo na unidade habitacional. No Brasil não dispomos ainda de valores definidos para a distribuição, sabemos também que essa pode variar por diversos fatores que vão da tipologia da edificação ao perfil do usuário. A Figura 2.15 ilustra a distribuição do consumo de água em um apartamento de um conjunto habitacional em São Paulo.



Figura 2.15. Distribuição do consumo de água em um apartamento de HIS



Fonte: Rocha *et al*, 1999. In: Manual de Conservação e Reuso da Água em Edificações, 2005. p.18.

A utilização de dispositivos economizadores e medidores individualizados surgem como uma estratégia viável na implantação, enquanto algumas premissas como o sistema de infiltração de águas pluviais e o reaproveitamento de água pluvial e água cinza esbarram ainda no controle de qualidade do projeto, execução, operação e manutenção do sistema para o correto funcionamento, além do alto custo de implantação do sistema, principalmente em habitação de interesse social (OLIVEIRA *et al.*,2007).

Recentemente, como resultado do projeto de pesquisa, Oliveira *et al* (2007) reúnem a caracterização e avaliação dos sistemas e equipamentos que propiciam maior eficácia na gestão e conservação de água elencados anteriormente. A Tabela 2.17 apresenta, a partir dos dados levantados neste relatório, um resumo da caracterização e análise crítica das práticas existentes no mercado nacional.



Tabela 2.17. Práticas de gestão na conservação e reuso de águas em edificações.

PRÁTICA	CARACTERIZAÇÃO	ANÁLISE CRÍTICA EM HIS
Sistema de Reuso de Água	Possibilitam a reutilização, por mais de uma vez do efluente proveniente de chuveiros, lavatórios, tanques, máquina de lavar roupas e banheiras. Sua constituição engloba: sistema de coleta de esgoto sanitário, visando à separação de efluentes; sistema de tratamento; sistema de reservação e o sistema de distribuição.	Na tentativa de avaliar as relações risco/benefício e custo/eficácia, dificilmente proporciona um sistema que se mantém sustentável. Além do preconceito, o risco de contaminação associado ao sistema de manutenção e o elevado custo de execução, não justificam a sua utilização em HIS;
Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial	Consiste na captação, armazenamento e posterior utilização para atividades que não necessitem de água potável, de águas precipitadas sobre superfície impermeável como: telhados e pisos. Os principais elementos do sistema são: sistema de captação, sistema de transporte, sistema de descarte, sistema de gradeamento, sistema de reservação, sistema de tratamento e desinfecção, sistema de recalque, sistema de distribuição e sistema de sinalização e informação.	Sistema econômico, de fácil aplicação e com grande desempenho; Apesar da necessidade de monitoramento contínuo e cuidados operacionais para a manutenção de um sistema seguro, a aplicação de sistemas de aproveitamento de água de chuva elevam o grau de sustentabilidade de uma edificação devido à conservação da água e ao auxílio no amortecimento de cheias urbanas e na demanda das estações de tratamento.
Sistema de Infiltração de Água Pluvial	Responsáveis por reestabelecer o balanço hídrico natural, proporcionando condições de infiltração no solo urbano; retardar a vazão de contribuição do lote através da retenção e detenção do escoamento superficial; aumento da eficiência do sistema público de drenagem à jusante dos locais controlados; melhora da qualidade das águas superficiais e aumento da recarga do lençol freático. Caracterizados por pavimentos permeáveis; planos de infiltração; trincheiras ou valas de infiltração; poços de infiltração e telhados de coberturas verdes.	Não retornam o custo de implantação ao longo da vida útil, sendo necessário agregar a eles valor. Entretanto apresenta-se como solução sustentável e viável economicamente; Demandando monitoramento, operação adequada e a realização de manutenção preventiva.
Equipamentos Hidráulicos Economizadores	Relacionam-se diretamente ao uso racional da água através do controle da vazão ou do tempo de uso. Os equipamentos passíveis de instalação, são: bacia sanitária com volume reduzido e respectivos componentes de descarga; registro regulador de pressão; restritor de vazão e arejador.	Não apresentam dificuldades de operação e implementação. Poucas informações técnicas são disponibilizadas pelos fabricantes dificultando a especificação pelos projetistas.

Fonte: OLIVEIRA, Lucia H.; *et al.* Levantamento do estado da arte: Água. Projeto Tecnologias para a construção mais sustentável, Projeto **FINEP 2386/04**. São Paulo, 2007.



Como esta pesquisa concentra-se nas decisões projetuais que devem ser consideradas na etapa de concepção em HIS, com viabilidade econômica, ambiental e social, foca-se nos requisitos estipulados pelos seguintes critérios de gestão da água:

- Medição individualizada;
- Dispositivos economizadores;
- Retenção de águas pluviais;
- Áreas permeáveis.

O sistema de reuso de água, aproveitamento de águas pluviais e infiltração de águas pluviais não serão sugeridos para aplicação em HIS multifamiliar devido às considerações anteriormente apresentadas.

Critérios e parâmetros

A aplicação de qualquer um dos critérios deve considerar, além das normas aplicáveis, algumas premissas fundamentais durante a sua concepção, estas foram levantadas pelo Manual de Conservação e Reuso da água em edificações (2005):

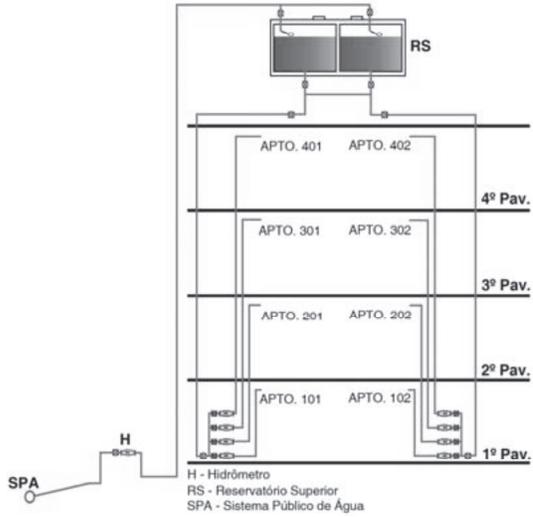
- Garantia de vazão e pressão adequadas aos usos, evitando desperdícios;
- Setorização do consumo d'água e traçados otimizados, reduzindo juntas e conexões através da utilização de paredes hidráulicas;
- Facilidade de acesso para manutenção e medição.
- Ao estabelecer as premissas de implantação, prever algumas soluções capazes de mitigar o impacto causado pelo desconhecimento e conflito de alguns pontos como o desconforto dos ruídos das instalações hidráulicas em dormitórios.

(a) Medição individualizada de água

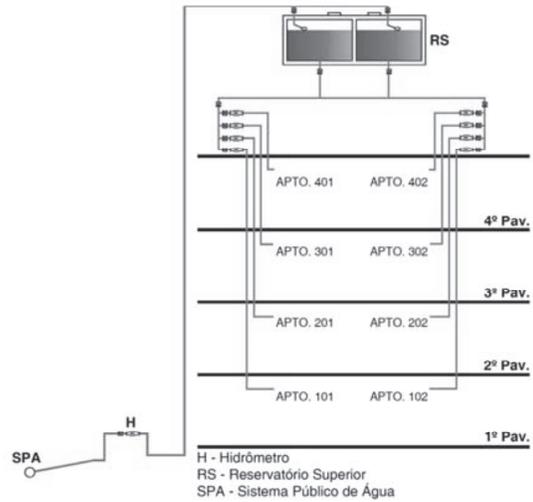
A implantação do sistema requer o dimensionamento probabilístico mais próximo dos valores necessários para a edificação, e pode ser configurado de diferentes formas garantido a medição em local acessível, como apresenta a Figura 2.16.



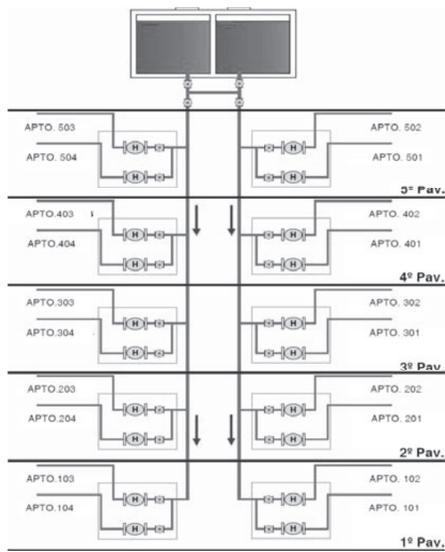
Figura 2.16. Possíveis Configurações de Medição Individualizada.



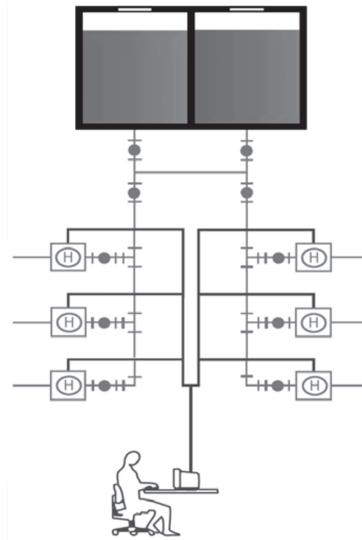
(a) Medidores agrupados no térreo



(b) Medidores agrupados no barrilete



(c) Medidores por pavimento



(d) Medidores por pavimento com leitura remota

Fonte: Boas práticas para habitação mais sustentável / coordenadores Vanderley Moacyr John, Racine Tadeu Araújo Prado, Caixa Econômica Federal. São Paulo : Páginas & Letras - Editora e Gráfica, 2010.p.159.



(b) Dispositivos Economizadores

Em edificações residenciais, as bacias sanitárias e os chuveiros normalmente representam as maiores parcelas do consumo de água. Desta maneira, diminuir o volume consumido nesses aparelhos impacta na redução do consumo total da unidade habitacional. Durante as fases iniciais do projeto, a definição da utilização de algum dos dispositivos permite reduzir o dimensionamento do sistema.

De acordo com o manual de boas práticas para a habitação mais sustentável, a instalação de bacias sanitárias, com volume de descarga nominal de seis litros ou inferior, reguladores de pressão, reguladores de vazão e arejadores (Fig.2.17) contribuem para os seguintes benefícios ambientais:

- redução de volume de esgotos a serem coletados e tratados, preservando, conseqüentemente, a qualidade das águas de superfície;
- redução de insumos utilizados na captação, no tratamento e na adução decorrentes do uso racional de água, tais como energia, sulfato de alumínio, cal, cloro, flúor e outros.

Figura 2.17. Dispositivos economizadores.



Fonte: Boas práticas para habitação mais sustentável / coordenadores Vanderley Moacyr John, Racine Tadeu Araújo Prado, Caixa Econômica Federal. São Paulo : Páginas & Letras - Editora e Gráfica, 2010

(c) Retenção de águas pluviais

O sistema de retenção de água pluvial deve permitir o escoamento controlado visando prevenir o risco de inundações em regiões com alta impermeabilização do solo. Como indicador proposto pelo Selo Azul da Caixa, têm-se a necessidade do reservatório de retenção de águas pluviais, com escoamento para o sistema de drenagem urbana nos empreendimentos com área de terreno impermeabilizada superior a 500m².



(d) Áreas permeáveis

Manter tanto quanto possível o ciclo natural da água com recarga do lençol freático e minimizar o impacto em áreas com alta impermeabilização do solo. Além da legislação em algumas localidades prever uma taxa mínima, o Selo da Casa Azul propõem um aumento de 10% do parâmetro como indicador. No caso de inexistência de legislação local, será considerado, para atendimento a este item, um coeficiente de permeabilidade (CP) igual ou superior a 20%, considerando-se o cálculo do coeficiente de impermeabilização do solo obtido pela relação entre a superfície impermeável e a superfície total do terreno.



2.2.6 Consumo de materiais

A Agenda 21 aponta a construção civil como agente responsável para a concretização de metas nacionais de desenvolvimento socioeconômico através da promoção de habitação, infraestrutura e emprego. Por outro lado, expõe a preocupação voltada aos danos ambientais gerados pelo esgotamento de recursos naturais, da degradação de zonas ecológicas frágeis, da contaminação química e do uso de materiais de construção nocivos à saúde humana.

Os impactos ambientais do ciclo dos materiais na produção do edifício são evidentes. Entretanto, estes impactos caracterizam-se de diferentes maneiras durante as fases de projeto, produção e uso e operação, partindo da escolha à gestão do consumo dos materiais.

Estudos apresentam a etapa de construção como responsável por consumir até 75% dos recursos extraídos da natureza, com o agravante que a maior parte destes recursos não são renováveis (John *et al.*, 2007), o que eleva a necessidade da escolha estratégica dos materiais, diretamente relacionada às questões de sustentabilidade. Contudo, ainda hoje, as decisões são tomadas frente ao custo, durabilidade, renovabilidade e teor reciclado (BUENO, *et al.*, 2011), nessa tentativa isolada perde-se a visão global e do conflito entre as escolhas.

A seleção segundo critérios de sustentabilidade não pode prescindir, também, da consideração do desempenho funcional, julgando-se os produtos em função de sua finalidade, através de múltiplos critérios (CIB, 1982). Entretanto, na avaliação de desempenho físico, onde as características dos produtos podem variar em função da aplicação considerada, existem



aspectos ambientais e sociais que são critérios praticamente incondicionais a serem atendidos como, por exemplo, a baixa emissão de substâncias nocivas, como fibras de amianto (John *et al.*,2007).

Nesse sentido, de acordo com Bueno *et al.* (2011) a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) demonstra ser a ferramenta mais completa e confiável para a seleção de materiais baseada em critérios quantitativos, dentre aquelas baseadas em aspectos de desempenho ambiental. Segundo o mesmo autor, as decisões tomadas durante as fases iniciais do desenvolvimento correspondem a 70% do custo final, semelhantemente através da consideração de aspectos ambientais, na mesma fase, é possível proporcionar uma redução de 70% do impacto ambiental gerado.

A metodologia de ACV é normatizada pela ISO 14040, e corresponde a uma compilação e avaliação dos dados de entrada (energia e matéria prima) e saída (emissões e rejeitos). O termo “ciclo de vida” refere-se à maioria das atividades no decurso da vida do produto desde a sua fabricação, utilização, manutenção, e deposição final; incluindo aquisição de matéria prima necessária para a fabricação do produto (FERREIRA, 2004).

Por outro lado, estudar a gestão do consumo é de extrema importância frente ao custo representativo dos materiais no custo da obra, cerca de 50% (Souza e Deana, 2007). Os mesmos autores apontam que a gestão eficaz do consumo de materiais pode atuar individualmente em cada etapa do empreendimento e suas respectivas fases, sob a ótica da melhoria contínua e como ferramenta para se atingir o resultado almejado em termos de vários aspectos e, especialmente, da sustentabilidade do empreendimento.

Durante a etapa de concepção do projeto, objeto desta pesquisa, a responsabilidade envolve a quantidade de consumo que será utilizada na etapa de produção da edificação. Que posteriormente será refletida na etapa de uso e operação, através do reparo e a manutenção do produto (SOUZA; DEANA, 2007).

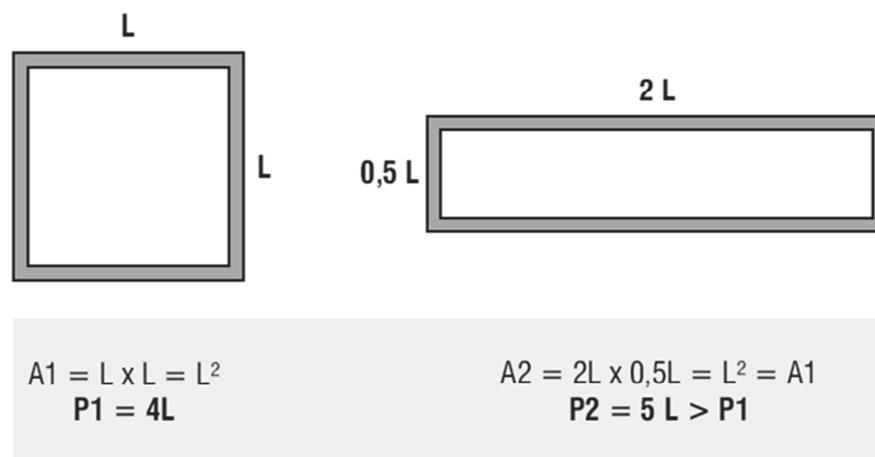
Critérios e parâmetros

Como esta pesquisa concentra-se na etapa de concepção, restringir-se-á a tratar do impacto gerado pelas decisões que envolvem o consumo de material para a produção da edificação. Frente à complexidade do assunto, não entrará no detalhe da escolha e especificação.



Na etapa de projeto, embora não haja consumo propriamente dito, pode-se influenciar diretamente no futuro consumo dos materiais por metro quadrado construído, conforme ilustra a Figura 2.19. Maiores ou menores compacidades de um andar tipo podem influenciar a quantidade de revestimento de fachada por unidade de área construída, tendo-se reflexos quanto à demanda por argamassa para tal serviço (SOUZA; DEANA, 2007).

Figura 2.18. O consumo de materiais na etapa de projeto: compacidades.



Fonte: SOUZA, Ubiraci E. L.; DEANA, Davidson F. Levantamento do estado da arte: consumo de materiais. *In: Habitação mais sustentável: Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável - Projeto Finep 2386/04*. São Paulo, 2007.

Deve-se ressaltar que na visão sistêmica do edifício, devem ser avaliados os conflitos gerados entre as decisões relacionadas ao desempenho e à sustentabilidade. Como, por exemplo, um pavimento tipo retangular tende a melhorar questões relacionadas aos desempenhos térmico, acústico e luminoso, mesmo tendo um consumo maior de materiais. Nesse sentido, devem ser estudadas algumas soluções capazes de mitigar o impacto causado como, por exemplo, a modulação e a definição das formas estruturais que podem aumentar a eficiência, reduzindo o consumo e o desperdício dos materiais.

2.3 Tecnologia da informação e comunicação aplicada ao processo de projeto

Esta seção investiga a tecnologia da informação e comunicação como suporte às decisões de projeto. Tem como objetivo a compreensão da técnica e a utilização de instrumentos de simulação no processo de projeto.

2.3.1 Conceituação

Tecnologia da informação e comunicação (TIC) é um termo geral que se refere a toda tecnologia utilizada para processar, armazenar e distribuir informação (WILLIAN; SAWYER, 2007). A TIC inclui dois tipos de tecnologia: computacional e de comunicação. A tecnologia computacional faz uso do computador como uma máquina multiuso e programável que aceita dados e os processa, gerando a informação que utilizamos. A tecnologia da comunicação consiste em equipamentos e sistemas para a comunicação à distância. Assim, os componentes básicos que suportam a TIC são: computadores (*hardware*), aplicativos (*software*), bancos de dados e redes de comunicação.

Para a TIC aplicada ao processo de projeto, nesta pesquisa interessa particularmente os aplicativos que dão suporte ao processamento da informação e o fluxo de informações gerado entre múltiplos aplicativos. Estes aplicativos são os de produtividade e os específicos. Visando a produtividade de forma genérica, têm-se os processadores de texto, planilhas eletrônicas, bancos de dados, controladores de agenda, navegadores e sistemas de correio eletrônico. Já os aplicativos específicos voltam-se para as áreas de comunicação, financeira, desktop *publishing*, desenho, tratamento de imagem, edição de vídeo e áudio, autoria de multimídia, desenvolvimento para *World Wide Web* (WWW), gestão de projeto, projeto auxiliado por computador, modelagem da informação na construção e simulação.

Como é sabido, o processo de projeto de um edifício é composto por diversas fases e diferentes intervenientes (projetistas, construtores, financiadores, usuários, entre outros). Isso reflete a complexidade que a indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção apresenta, que também advém do caráter do artefato arquitetônico e do processo de decisão associado. A falta de tratamento do fluxo de informação nos processos da construção pode levar a problemas patológicos na construção, atraso nos prazos, baixa produtividade e qualidade e aumento substancial nos custos (NASCIMENTO; SANTOS, 2003).



Os principais fatores que definem a complexidade no projeto são: alto grau de interação entre as partes; contínuas mudanças e evolução; alto grau de interação não linear com o ambiente; e dificuldade de execução de atividades individuais que compõem um processo (WOOD; GIDADO, 2008). Ao considerar a complexidade do processo de projeto, torna-se imprescindível sua gestão e coordenação. Isso ocorre a fim de possibilitar a sistematização e facilitar o manuseio de informações relativas a uma infinidade de variáveis que o compõem e que se interconectam em sistemas complexos.

Neste sentido, a TI auxilia o processo de projeto por permitir que um número maior de informações, mais detalhadas e completas, tanto internas quanto externas à empresa, sejam acessadas e analisadas em menos tempo.

Pacheco e Tait (2000) apontam a utilização da TI para a redução do tempo gasto em atividades difusas ou tarefas de suporte, permitindo um aumento da eficiência do decisor, inovações na busca por oportunidades e antecipação de situações adversas, permitindo melhor compreensão e formulação do problema, reduzindo os aspectos subjetivos das decisões e aumentando o nível de apoio oferecido pelo Sistema de Informação (SI) e da TI.

De acordo com Nascimento e Santos (2003), a informação deve ser compartilhada por todos os agentes e para isso devem ser utilizados mecanismos de comunicação com ferramentas para acesso às informações por toda a equipe. A principal utilização da informação é para a tomada de decisão. Por isso, a qualidade da informação pode determinar o acerto das decisões tomadas.

As contribuições da TI ao setor da construção, no mundo, tiveram início na década de 80 com a introdução da automatização de tarefas específicas através do *Computer Aided Drawing* (Desenho Auxiliado por Computador), que agregaram rapidez e eficiência na realização das atividades. Entretanto, tais atividades eram realizadas de forma segmentada. Somente na década de 90 vieram as contribuições realizadas para a integração das atividades, abrindo um canal de comunicação entre os envolvidos nas diferentes etapas do projeto.

Segundo Nascimento e Santos (2003), no Brasil, entre as décadas de 80 e 90 houve muitas pesquisas que tentaram solucionar o problema da falta de informação entre os agentes do empreendimento, visto que a falta de informação para a tomada de decisão era responsável por parte do baixo desempenho do setor. Nesse sentido, muitos investiram em TI para o



gerenciamento das informações no intuito de organizar e permitir a filtragem das informações. Entretanto, o investimento em TI foi, e ainda é muito pouco quando comparado a outros setores da indústria (NASCIMENTO; SANTOS, 2003).

Nascimento e Santos (2003), destacam ainda a necessidade de alteração no modelo organizacional e do fluxo de informações do processo de projeto, uma vez que a TI por si não garante o aumento de produtividade. A estratégia aplicada a TI depende da estratégia do negócio, levando em conta os aspectos humanos, culturais e políticos.

Nesse sentido, Pacheco e Tait (2000) ressaltam a preocupação em aliar aspectos de planejamento adequado, percepção do papel dos usuários e a cultura organizacional, ao alto investimento realizado em TI, visando garantir a melhor utilização das informações para o funcionamento adequado das organizações e garantia de sua sobrevivência.

Atualmente, os avanços realizados na área da computação associados à comunicação, síncrona e assíncrona, e ao setor de AEC, possibilitam uma alteração no processo do projeto que, sendo realizado sobre uma plataforma colaborativa, permite aos agentes de diferentes áreas de conhecimento participar de maneira mais ativa no desenvolvimento, antecipadamente ao que era de costume. Propondo alterações, desde o conceito inicial do projeto, contribuem com a melhor qualidade e desempenho, e nos menores custo e tempo para a qualidade final. Isto porque conforme levanta Ruschel (2009) inicialmente a ênfase no auxílio ao projeto estava associada aos recursos de máquina (*computer aided*) e evoluiu gradativamente agregando ênfase na informação (*information modeling*).

Ruschel (2009) apresenta a evolução dos sistemas CAD (*Cumputer Aided Design*) a partir do suporte oferecido ao desenho técnico através das ferramentas de desenho bidimensional (CAD 2D), perpassando pelos recursos tridimensionais (CAD 3D) cuja necessidade de facilitar a modelagem fez surgir modelos 3D parametrizados. A este modelo foi-se aos poucos agregando informações não gráficas como tempo (CAD 4D) (ISSA; FLOOD; O'BRIEN, 2003), custo, material entre outras e o CAD evoluiu finalmente para nD (AOUND; LEE; WU, 2005). Ruschel (2009) destaca ainda a necessidade da precisão na representação da informação de AEC de forma integrada e inteligente, como propulsora para a interoperabilidade entre sistemas CAD e todo o



ferramental computacional participante do ciclo de vida da edificação. Essa mudança direcionou o surgimento do conceito *Building Information Modeling* (BIM).

Eastman et al. (2008 p.467) define BIM como:

“a verb or adjective phrase to describe tools, processes and technologies that are facilitated by digital, machine-readable documentation about a building, its performance, its planning, its construction and later its operation.”

Ou seja, o conceito BIM de acordo com essa definição envolve principalmente processos e tecnologias. Esse tem como meta a busca por uma prática de projeto integrada, em um sentido em que todos os participantes da AEC convirjam seus esforços para a construção de um “modelo único” de edifício (ANDRADE; RUSCHEL, 2009).

Através do BIM, um modelo tridimensional preciso do edifício é construído digitalmente com o uso de informações paramétricas. As informações paramétricas tornam os objetos “inteligentes”. Para Smith e Tardif (2009), a principal característica do BIM que o distingue das tecnologias de projeto que o precedem não é a modelagem tridimensional, mas a informação sistematizada, que pode ser organizada, definida e permutável.

Ruschel et al. (2010) citam três aspectos fundamentais do BIM: (1) a modelagem paramétrica para desenvolvimento do ‘modelo único’, (2) a interoperabilidade para integração e colaboração e troca de informações dos envolvidos e (3) a possibilidade de gestão e avaliação do projeto em todo seu ciclo de vida. Dentre estes aspectos as duas primeiras são os diferenciais entre o BIM e os sistemas CAD.

O modelo paramétrico é, segundo Hernandez (2006 *apud* ANDRADE, 2009a), uma representação computacional de um objeto construído com entidades, geralmente geométricas (algumas não são geométricas), que têm atributos que são fixos e outros que podem ser variáveis. A grande vantagem reside na facilidade de alternativas através de regras que garantem uma manipulação segura ao projetista.

A interoperabilidade, de acordo com Andrade (2009a) elimina a necessidade de réplica de dados de entrada que já tenham sido gerados e facilita, de forma automatizada e sem obstáculos,



o fluxo de trabalho entre diferentes aplicativos durante o processo de projeto. Eastman *et al* (2008) apresenta quatro maneiras para a troca de dados entre dois aplicativos BIM: ligação direta; formato de arquivo de troca proprietário; formatos de trocas de dados de domínio público; formatos de troca de dados baseados em eXtensible Markup Language (XML).

A simulação, através da ferramenta computacional, para avaliação das decisões projetuais existe tanto no contexto CAD como no contexto BIM, a diferença está na ênfase do segundo no reuso da informação por meio da interoperabilidade. Como um mesmo projeto deve ser submetido a diferentes simulações, portanto, a diferentes aplicativos, o modelo final deve conter todas as informações necessárias às diferentes análises e, não obstante, os softwares devem possuir um formato de troca mutuamente suportado. A variação consiste apenas no nível de detalhamento das informações.

De acordo com Kolarevic e Malkawi (2005) esta necessidade tornou possível o desenvolvimento de ambientes e plataformas que conseguem a integração das análises do projeto com bases em representações semânticas que suportam a interação de dados dos objetos. O principal formato utilizado hoje para a troca de dados é *Industry Foudation Classes* (IFC), capaz de manter as associações entre o modelo completo e o simulado.

Todavia, de acordo com Kiviniemi et. al. (2008 *apud* ANDRADE, 2009b) o uso de padrões IFC atende a requisitos para certas tarefas, deixando, contudo, que muitas outras tarefas não sejam suportadas por esse formato.

Outro entrave encontra-se na segmentação no setor de AEC. Algumas plataformas restringem a troca de dados em ambientes internos suportados pelo mesmo fornecedor que, aliado ao desconhecimento dos usuários e a possibilidade da perda de informações, acaba inviabilizando algumas tentativas de aferir as soluções durante o desenvolvimento do projeto. Nesse sentido verifica-se uma lacuna à evolução do processo de projeto sendo a interoperabilidade peça fundamental para sua concretização.



2.3.2 Simulação: definição de um conceito

Simulação é um termo repleto de significados, portanto suscetível a diferentes interpretações. Em algumas situações tem a ver com a falta de correspondência com a verdade, dissimulação, fingimento, disfarce; em outras, com a imitação do funcionamento de um processo por meio do funcionamento do outro, mas no âmbito ao qual se restringe esta pesquisa, simulação tem a ver com teste, experiência e ensaio de um modelo.

Apesar de relacionado a uma leitura contemporânea o verbo “simular” é um termo associado à antiga arte de construção do modelo. Aplicada a algumas formas muito variadas de construção deste, que vão desde pinturas renascentistas e da escultura de modelos em escala a modelos computacionais de processos cognitivos.

“Simulation is, therefore, essentially a technique that involves setting up a model of a real simulation and then performing experiments on the model.” (Naylor et al, 1966)

Vale ressaltar que o uso moderno da palavra traça a sua origem na obra de von Neumann e Ulam no final dos anos 1940, quando apresentaram a análise de Monte Carlo que envolveu a solução de um problema não matemático probabilístico através da simulação de um processo estocástico que tem momentos ou distribuições de probabilidade que satisfaça as relações matemáticas do problema probabilístico. Mas foi somente com o advento do computador de alta velocidade, no início da década de 50, que a simulação assumiu outro caráter através de experiências com modelos matemáticos de um computador, tornando possível a realização de experimentos controlados em áreas da ciência que não o faziam (CHWIF; MEDINA, 2010). Nesta etapa podemos observar uma primeira classificação do termo simulação em duas categorias distintas: a que necessita de um computador para ser realizada e a outra que não.

Existem ainda vários termos relacionados à simulação como sistema e modelo, dentre os vários tipos de simulação. Conforme Chwif e Medina (2010) quando pensamos em simular algo, queremos obviamente simular algum sistema, um agrupamento de partes que operam juntas, visando a um objetivo em comum. Um sistema sempre pressupõe uma interação causa-efeito entre as partes que o compõem. Para que tais partes e, principalmente, para que as interações entre as partes sejam identificadas, o objetivo do sistema deve ser conhecido com clareza.



Dado um sistema, podemos construir uma representação simplificada das diversas interações entre as partes deste sistema através da criação de um modelo, uma abstração da realidade, que se aproxima do verdadeiro comportamento do sistema, mas sempre mais simples do que o sistema real.

2.3.3 Ferramentas de avaliação de desempenho por simulação

As ferramentas de simulação de avaliação do desempenho surgem da intenção de fazer entender e analisar o comportamento do edifício, desde a sua concepção à sua demolição. Muitos profissionais são envolvidos, uma vez que a diversidade de análises requer proporcionalmente agentes com conhecimentos específicos, pois diferentes problemas requerem diferentes simulações.

Desde a década de 80 acredita-se que a simulação computacional através da modelagem é capaz de fornecer uma avaliação rigorosa e detalhada do projeto energético do edifício (HENSEN, *et al* 1993; SETH, 1989; NEWTON; JAMES; BARTHOLOMEW, 1988; CLARKE, 1985; NALL, 1985 *apud* HUI, 1998). Entretanto, sua utilização sempre esteve atrelada a profissionais cada vez mais qualificados e especializados, uma vez que as ferramentas, apesar do grande avanço conquistado, ainda não apresentam uma interface naturalmente amistosa aos usuários, que por vezes desconhecem suas propriedades e limitações (HOLM, 1993; MATHEWS; RICHARD, 1993; HANSEN *et al*, 2009).

Conforme Malkawi e Augenbroe (2004) as dificuldades levantadas tendem a gerar uma agenda que impulsionará pesquisadores, profissionais e fabricantes dos softwares a melhorias contínuas da simulação durante as etapas do projeto sendo incorporada ao processo de tomada de decisão.

Pesquisas nacionais, voltadas às diferentes áreas do conforto, apontam a utilização de ferramentas de simulação para a concepção de projetos mais eficientes (DELBIN, 2006). Entretanto, é necessário conhecê-las nas diferentes aplicações, para que o projeto possa ser analisado de forma integrada, otimizando as decisões finais.

Sendo assim, propõem-se avaliar a similaridade dos modelos necessários nos processamento de cada simulação dentre as disciplina: acústica, termo-energética, luminosa, conservação de



água, acessibilidade e ciclo de vida, para finalmente tornar possível a realização das diferentes simulações a partir da construção de um único modelo.

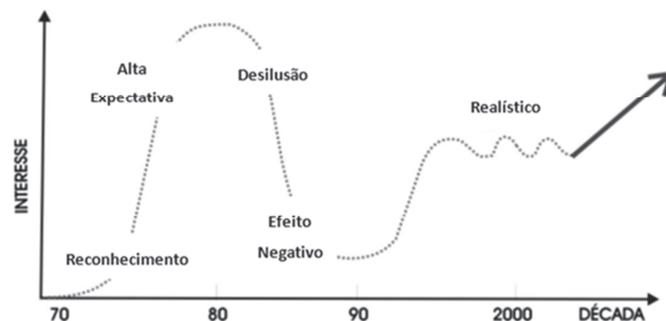
A utilização de um único modelo diminui o risco de perder soluções adotadas durante o processo e da falta de identificação da influência de decisões tomadas frente ao conjunto do projeto. Como apontado por Papamichael (1991), o processo de projeto é caracterizado por ser evolutivo, multidisciplinar, apresentar multi-critérios e multi-soluções, sendo assim, qualquer equívoco durante a modelagem pode resultar em soluções ineficazes ao projeto.

2.3.4 As particularidades e propriedades das ferramentas de avaliação de desempenho

Bartak et al. (2003) ressaltam a importância do conhecimento e utilização correta da simulação como prática para garantir competitividade no mercado de AEC. Atualmente podemos identificar no mercado imobiliário a corrida por certificações e o apelo associado à sustentabilidade como propulsores da retomada do interesse por soluções diferenciadas, maior inovação e, portanto, retomada da utilização da ferramenta de simulação pelos profissionais da área.

Através da Figura 2.19 observamos a variação do interesse por essa aplicação. Atentemos a dois pontos importantes: primeiro, a queda do interesse frente às dificuldades de utilização das ferramentas pioneiras e, posteriormente a retomada com aumento na acessibilidade e inovações do setor.

Figura 2.19. Esquema de evolução do interesse em utilização em ferramentas de simulação desde aproximadamente 1970 até o início do terceiro milênio



Fonte: Adaptado de BARTAK , M. et al. An approach to teaching and research of simulation for environmental engineering design *In: ADVANCED ENGINEERING DESIGN*, 3., 2003, *Proceedings...* , 2003

Frente ao grande crescimento de opções de softwares, emerge a necessidade de selecionar dentre a grande variedade e diversidade, as melhores aplicações e suas limitações, inspirando assim alguns cuidados que devem ser levados em conta na identificação e utilização das ferramentas disponíveis. Isso posto, salientamos que uma ferramenta de simulação de qualidade inferior nas mãos de um engenheiro consciente de suas características e capacidades é superior à melhor ferramenta de simulação nas mãos de um engenheiro pouco familiarizado (WALTZ, 1992 *apud* WESTPHAL, 2007).

Hui (1998), propõem a observação inicial de três pontos: a. ferramentas existentes no mercado, b. faixas de aplicação e c. suas limitações.

a. Ferramentas existentes no mercado:

Mendes et al. (2005) e Westphal (2007) apontam que os primeiros programas computacionais para simulação do desempenho térmico de edificações e estimativa do consumo de energia surgiram na década de 70. Desde então, o desenvolvimento de ferramentas para apoio a soluções mais eficientes, nos diferentes campos do conforto tem tido um crescimento exponencial.

Em abril de 2005, Delbin (2006) levanta um total de 295 softwares cadastrados no diretório de ferramentas¹⁴, disponibilizados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), voltados à simulação do conforto ambiental e eficiência energética para edifícios. Em julho de 2011 esse número passa a 395, dentre eles apenas um tem sua origem no Brasil.

A gama de opções e a dificuldade em categorizá-los devido às constantes alterações e propriedades, que vão da simples e aproximada para a detalhada, levou diversos pesquisadores a realizarem estudos comparativos das ferramentas disponíveis. Dentre eles destacamos os mais recentes realizados por Attia (2010), Attia et al. (2009), Crawley et al. (2008) e Yezioro et al. (2008).

¹⁴ Endereço eletrônico: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/>



Yezioro et al. (2008) realiza um comparativo entre o Energy_10, Green Building Studio web tool, eQuest e EnergyPlus quanto à confiabilidade e precisão dos resultados, enquanto a pesquisa realizada por Crawley et al (2008) compreende as características de 20 programas: BLAST, BSim, DeST, DOE-2.1E, ECOTECT, Ener-Win, Energy Express, Energy-10, EnergyPlus, eQUEST, ESP-r, IDA ICE, IES/VES, HAP, HEED, PowerDomus, SUNREL, Tas, TRACE and TRNSYS. No primeiro estudo, constata-se um erro médio absoluto de 3% onde a simulação mais detalhada tem o melhor desempenho da simulação. No segundo a conclusão aponta a necessidade de uniformizar a comunicação dentro do setor para que as comparações possam ser mais claras.

Como complementação de Attia et al. (2009), Attia (2010) apresenta, em formato de relatório, os potenciais desafios e oportunidades da simulação na construção, através de uma análise comparativa entre as 10 ferramentas em duas visões distintas, a do arquiteto e a do engenheiro no mercado americano.

Por outro lado, no cenário nacional observamos a aplicação e desenvolvimento das ferramentas de simulação voltadas às pesquisas e estudos acadêmicos¹⁵, enquanto o uso comercial por engenheiros e arquitetos durante o desenvolvimento do projeto ainda é pouco expressivo, mantendo a necessidade desde a década de 80 de importar programas de simulação desenvolvidos no exterior, adaptando-os às nossas necessidades e uma melhor compreensão deste universo.

Devemos ressaltar que a seleção deve atender a alguns requisitos, como viabilidade econômica e de prazo para a realização dos projetos, expertise dos usuários, adequação de ferramentas de simulação e dados, além da capacidade do programa para lidar com a aplicação desejada.

b. Faixas de aplicação:

As ferramentas tem a função de:

- Promover a inovação de soluções durante a fase cognitiva do projeto;

¹⁵ Destacamos as pesquisas realizadas pela Universidade Federal de Santa Catarina (USFC), Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Tecnológicas da Universidade de São Paulo (IPT), Pontifícia Universidade Católica do Paraná, FAU-USP e UNESP-Bauru.



- Testar e avaliar as soluções projetuais do projeto;
- Aferir as exigências normativas;
- Estudos econômicos no impacto de conservação de energia e conforto dos usuários.

As aplicações mais utilizadas compreendem:

- Simulações acústicas;
- Simulações de iluminação natural e artificial;
- Simulações termo-energética (HVAC).

c. Limitações

Dentre os resultados elencados por Attia (2010) na avaliação das ferramentas de simulação pelos usuários durante o processo de projeto, treinamento e viabilidade econômica, destacamos algumas limitações:

- As ferramentas não apresentam interfaces amigáveis aos usuários;
- As ferramentas não são práticas durante o processo de projeto;
- As ferramentas ainda não são capazes de integrar diferentes domínios de desempenhos em um software único;
- As entradas iniciais são detalhadas e correspondem a dados indisponíveis durante as etapas iniciais, devendo ser assumidos ao se fazer a análise;
- Baixa confiabilidade das ferramentas para análises finais;
- Saídas gráficas;
- Necessidade de treinamentos apropriados;
- Custos elevados das ferramentas a estudantes.

Com o constante investimento realizado e os apontamentos acadêmicos, o mercado tende a superar estas limitações. Enquanto aguarda-se este desenvolvimento, deve-se aprender a trabalhar dentro destas limitações observando a importância do papel das simulações dentro do processo de projeto.



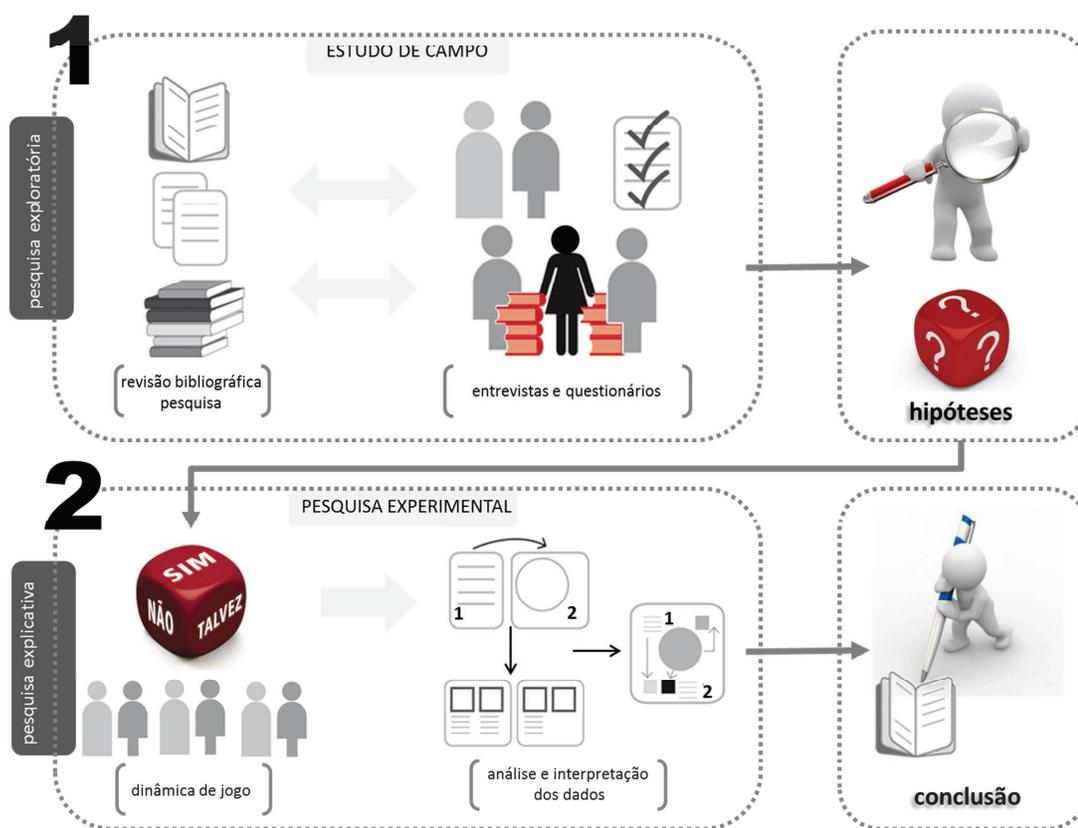




3 METODOLOGIA

Para uma melhor coerência entre a teoria e a prática da proposta aqui apresentada, a fundamentação metodológica apresenta características da pesquisa exploratória e características da pesquisa explicativa (GIL, 2002). Enquanto pesquisa exploratória, buscou-se por meio do estudo de campo familiarizar-se com o problema, através de levantamento bibliográfico, entrevistas aos especialistas e aplicação de questionário. Como pesquisa explicativa, o desenvolvimento de uma pesquisa experimental proposta por meio da dinâmica de jogo, buscando-se evidenciar relações entre requisitos de desempenho, avaliação computacional e a tomada de decisão na promoção de soluções em prol da melhoria da qualidade final do projeto. O desenvolvimento da pesquisa é ilustrado pela Figura 3.1.

Figura 3.1. Desenvolvimento da Pesquisa



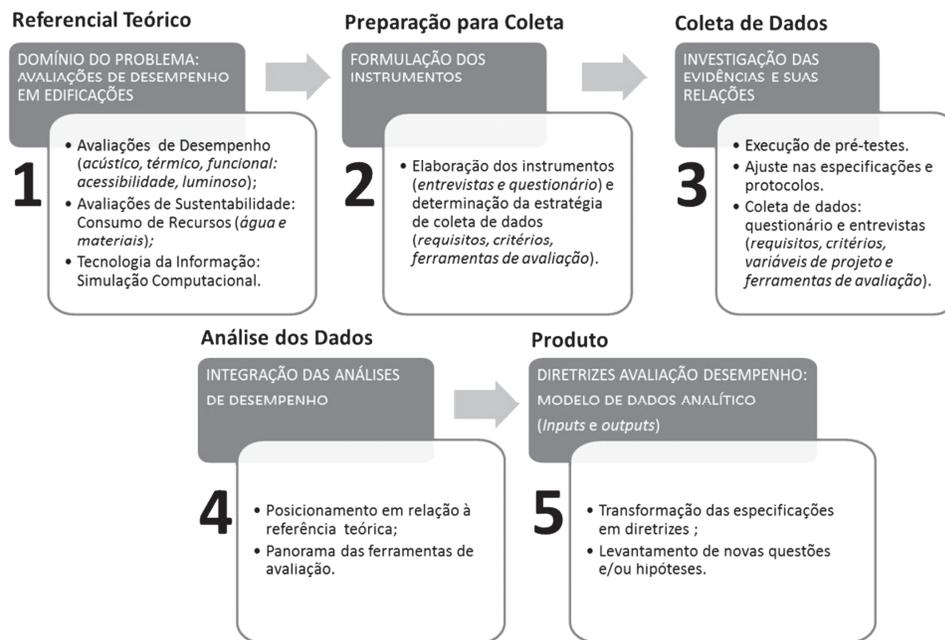
Fonte: Autoria Própria



3.1 Etapas de realização do estudo de campo

O estudo de campo foi realizado em cinco etapas (Fig. 3.2).

Figura 3.2. Etapas do estudo de campo



Fonte: Autoria Própria

3.1.1 Etapa 1: referencial teórico

A **Etapa 1** foi constituída pelo domínio do problema. Nesta fase, buscou-se apresentar a importância das avaliações de desempenho no processo de projeto de edificações frente às inovações tecnológicas de suporte à simulação. Para isso, desenvolveu-se uma revisão bibliográfica nos temas *Desempenho* e *Tecnologia da informação aplicada ao processo de projeto*.

As principais fontes bibliográficas foram livros, teses de doutorado, dissertações de mestrado, normas nacionais e internacionais, artigos científicos publicados em revistas nacionais e internacionais, anais de congressos, sites na internet e entrevistas com pesquisadores e especialistas em desempenhos específicos.



Na identificação e discussão da importância das ferramentas de simulação e avaliação do desempenho, dentre os autores consultados devem ser destacados, Waltz (1992), Holm (1993), Mathews e Richard (1993), Hui (1998), Bertak *et al.* (2003), Augenbroe (2004), Crawley *et al* (2008), Yezioro *et al* (2008), Attia e Beltran (2009), Hansen *et al* (2009), Malkawi e Chwif e Medina (2010) e Attia (2010).

Como terminologia multidimensional, explorada no *Capítulo 2*, o desempenho assume neste trabalho o conceito consolidado por Gibson (1982), no qual corresponde à prática de pensar e trabalhar em termos dos fins e não dos meios. No Quadro 1, são resumidos os elementos que delinearão o enfoque da revisão bibliográfica para a caracterização das avaliações de desempenho e sustentabilidade (apenas relacionada ao consumo de recursos).

Quadro 1. Elementos Metodológicos: Avaliação de Desempenho

Exigências de Uso e Operação	Identificação das necessidades dos usuários em relação ao comportamento da edificação.
Condições de Exposição	Condições às quais a edificação será submetida nas condições de uso, estas variam de acordo com a região.
Requisitos de Desempenho	Características que devem ser atendidas (em condições específicas).
Critérios de Desempenho	Estabelecem padrões e níveis a serem atingidos (valores de referencia)
Métodos de Avaliação	Ensaio, simulações, Avaliações Pós Ocupação, verificações analíticas.

Fonte: Autoria Própria

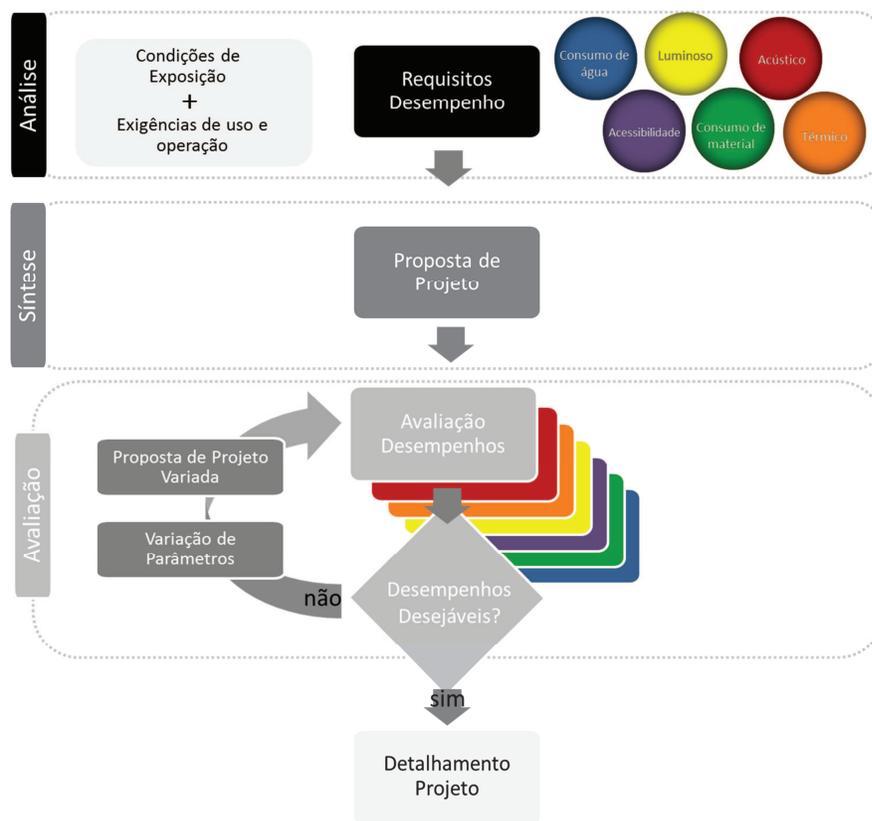
A integração das ferramentas ao fluxo do projeto baseado em desempenho proposto por Petersen e Svendsen (2010), apresentado no *Capítulo 2*, é ideal por reduzir as interações que podem ocorrer até o encontro da proposta que atenda aos pré-requisitos estabelecidos.

Como a abordagem da edificação deve ser sistêmica, a Figura 3.3 apresenta a relação entre os elementos metodológicos, o fluxo do projeto e integra os desempenhos abordados nesta pesquisa: acústico (Ac.), térmico (Te.), luminoso (Lm.), funcional com foco na acessibilidade (Ace.), e em sustentabilidade no parâmetro de consumo de recursos: água (CsAg.) e materiais (CsMt.).



A ilustração apresenta a solução (*proposta de projeto*) como produto da dinâmica implícita entre análise, síntese e avaliação levando em consideração os *Requisitos de Desempenho* desejado. Esse produto é representado num modelo submetido a diversas simulações (*Avaliações de Desempenho*) que ocorrem em separado (paralelo ou sequencial), sendo necessários *n* ciclos de simulações, para que através da variação de parâmetros surjam novas propostas, até que o modelo alcance o desempenho desejável.

Figura 3.3. Fluxo de projeto proposto pela pesquisa



Fonte: Autoria Própria

3.1.2 Etapa 2: preparação para a coleta

Em seguida, foi realizada a *preparação para a coleta (Etapa 2)*. Nesta etapa foram definidas as estratégias para a coleta, e elaborados os instrumentos que constituíram a compreensão da prática na pesquisa: entrevistas e questionário. A estrutura foi elaborada a partir do referencial teórico.



De acordo com Neves e Domingues (2007) uma entrevista permite a interação do pesquisador com o entrevistado, possibilitando captar atitudes, reações e, principalmente, sinais não verbais. Neste trabalho, optou-se pela **entrevista semiestruturada** por oferecer ao pesquisador maior flexibilidade, já que permite intervenções de acordo com o seu desenvolvimento. O roteiro foi direcionado a levantar diretrizes de desempenho nas etapas iniciais de projeto (Quadro 2).

Quadro 2. Roteiro da Entrevista

1. Projeto x Desempenho	
Objetivo: a. Delimitação do Problema. b. Identificação dos Requisitos.	Descrição: a. Identificação do escopo na etapa de concepção. b. Levantamento dos critérios e parâmetros.
Perguntas: a. <i>Qual é o escopo da sua especialidade no projeto da edificação HIS, ainda nas fases iniciais de estudos de massa/implantação?</i> b. <i>Quais os critérios e parâmetros da sua especialidade são abordados na etapa de concepção?</i>	
2. Multi Desempenho	
Objetivo: Estabelecer a relação entre desempenhos	Descrição: Identificação das interferências entre desempenhos.
Pergunta: <i>Existe alguma interferência entre o desempenho da sua especialidade e outro?</i>	
3. Desempenho x Avaliação	
Objetivo: Delimitação do Problema	Descrição: Identificação do processo de avaliação na etapa de concepção.
Pergunta: <i>Qual o método de avaliação, análise de projeto, utilizado hoje?</i>	
4. Avaliação x Ferramenta Computacional	
Objetivo: Identificação das Ferramentas	Descrição: Levantamento das ferramentas computacionais de avaliação.
Pergunta: <i>Existe alguma ferramenta computacional que auxilia este processo?</i>	

Fonte: Autoria Própria



Quanto ao **questionário** (Apêndice A), optou-se por este tipo de instrumento por ser capaz de minimizar as distorções das respostas registradas, através do distanciamento entre o pesquisador e o informante que o responde, e por permitir que os dados sejam disponibilizados para análise em um período relativamente curto. Elaborado a partir da adaptação do trabalho desenvolvido por Attia¹⁶ (2010), foi organizado em seis blocos temáticos, apresentados a seguir nos Quadros 3, 4, 5, 6, 7 e 8.

Quadro 3. Questionário: perfil do entrevistado e da simulação

I. Perfil do entrevistado e simulação	
<p>Objetivo: a. Identificação da amostra</p>	<p>Descrição: a. Identificação do respondente; b. Perfil dos softwares de modelagem e simulação; c. Perfil das simulações</p>
<p>Perguntas: a. <i>Formação (arquitetura; engenharia; outra)</i> b1. <i>Dos softwares de modelagem CAD/3D, qual/quais você utiliza? (Viz; Rhino; FormZ; Maya; ArchiCad; Bentley Architecture; Revit Suite; Sketchup; Digital Project; AutoCAD; Outros).</i> b2. <i>Das ferramentas de análise/simulação, qual/quais você utiliza? (Ecotect; ESP-r; Design Builder; gBXML; eQUEST; Energy-10; Energy+; Radiance; Odeon; Bastian; InvestII; Solibri; Outros).</i> c1. <i>Ferramentas de análise/simulação de desempenho são capazes de, durante a fase cognitiva do processo de projeto, promover a inovação de soluções e a melhoria da qualidade do projeto? (Sim; Não).</i> c2. <i>Se sim, o uso de ferramentas de simulação/análise do desempenho no projeto são capazes de promover: (teste/avaliação de soluções; auxílio da tomada de decisão; maior assertividade das soluções; antecipação de conflitos; diminuição dos erros; outros).</i> c3. <i>Quais tipologias você frequentemente simula? (residencial; institucional; comercial; serviços; outras).</i> c4. <i>Na maior parte das vezes, você simula: (ambientes externos; ambientes internos; ambos).</i> c5. <i>Na maior parte das vezes, você simula: (Iluminação Natural/Artificial; Uso de água (estimativa e custo); Ciclo de Vida; Desempenho Acústico; Desempenho Térmico; Eficiência Energética; Desempenho Funcional; Sistemas HVAC; Outros).</i></p>	

Fonte: Autoria Própria

¹⁶ Attia (2010): Usability and Information Management on the interface; Integration of Intelligent design Knowledge-Base/ Integration of tools in Building Design Process; Accuracy and Ability to simulate Detailed and Complex building Components; Interoperability of Building Modeling.



Quadro 4. Questionário: usabilidade e gerenciamento das informações

II. Usabilidade/Gerenciamento das Informações	
Objetivo: a. Usabilidade e Gerenciamento das Informações.	Descrição: a. Identificação dos Critérios e Características nas Ferramentas
Perguntas: a1. <i>Quais critérios de usabilidade/gerenciamento das informações são importantes em uma ferramenta de simulação de desempenho? (Interface amistosa aos usuários; Facilidade de utilização/curto período de curva de aprendizado; Fácil navegação e organização das informações; Modelabilidade; Representação gráfica dos resultados; Facilidade de introduzir dados de entrada; Outros).</i> a2. <i>Quanto à capacitação e utilização, quais itens são importantes? (Treinamentos especializados; Custo das ferramentas; Disponibilidade/facilidade de aquisição por estudantes; Tempo de aprendizado necessário; Outros).</i> a3. <i>Você considera importante (Criação de relatórios comparativos entre alternativas; Controle de qualidade dos dados de entrada; Pressupostos e valores padrões dos dados de entrada; Armazenamento de dados flexíveis e passíveis de customização; Simplicidade na entrada dos dados, revisão e modificação dos parâmetros; Outros).</i> a4. <i>Que outras características deveriam ser consideradas quanto à usabilidade e gerenciamento das informações?</i>	

Fonte: Autoria Própria

Quadro 5. Questionário: Integração

III. Integração à base de dados e integração das ferramentas no processo de projeto	
Objetivo: a. Integração.	Descrição: a. Identificação dos Critérios e Características nas Ferramentas
Perguntas: a1. <i>São fundamentais para a simulação do desempenho da edificação? (Parâmetros de conformidades normativas; Parâmetros de conformidade de sistemas de certificação (LEED, Aqua). Dados climáticos. bibliografia extensiva de componentes e sistemas da construção; Suporte e treinamento on-line das ferramentas; Outros).</i> a2. <i>São fundamentais para a ferramenta de simulação: (Fornecer análises rápidas de suporte à tomada de decisão; Permitir analisar a incerteza de parâmetros essenciais; Analisar as características climáticas e fornecer estratégias de projeto; Compreender mais de um estágio das fases do projeto; Outros).</i> a3. <i>Quais características deveriam ser consideradas quanto à integração da base de dados?</i>	

Fonte: Autoria Própria



Quadro 6. Questionário: Assertividade e habilidade de simular componentes complexos

IV. Assertividade e habilidade de simular componentes complexos	
Objetivo: a. Assertividade e Complexidade	Descrição: a. Identificação dos Critérios e Características nas Ferramentas
<p>Perguntas:</p> <p>a1. Qual critério de assertividade é fundamental à uma ferramenta de simulação? (Resultados precisos e reais; Validade das simulações; Controle das incertezas; Alta resolução gráfica do modelo).</p> <p>a2. Quanto à habilidade de simular componentes complexos é fundamental (Permitir complexas estratégias de projeto; Simular energia renovável; Avaliar emissões associadas à energia de consumo; Permitir avaliar custos do consumo de energia e do ciclo de vida; Permitir simulações de diferentes tipologias de edificação).</p> <p>a3. Que outras características deveriam ser consideradas quanto à assertividade e possibilidade de simulações complexas?</p>	

Fonte: Autorial Própria

Quadro 7. Questionário: Interoperabilidade entre modelos

V. Interoperabilidade entre modelos	
Objetivo: Interoperabilidade	Descrição: a. Identificação dos Critérios e Características nas Ferramentas
<p>Perguntas:</p> <p>a1. Quais recursos são importantes para a utilização de ferramentas de simulação? (Importação/Exportação entre programas CAD; Importação/Exportação entre programas BIM; Importação/Exportação entre programas de simulação; Capacidade de simulação de diferentes desempenhos frente ao mesmo modelo).</p> <p>a2. Quais são os tipos de formatos mais utilizados no intercâmbio de informações entre ferramentas de modelagem e simulação? (MOD; 3DS; OBJ; XML; DXF; DWG; IFC; Arquivos proprietários (.rvt, .eco); Outros).</p> <p>a3. Quais outras características ou recursos deveriam ser consideradas quanto à interoperabilidade de ferramentas de modelagem e simulação?</p>	

Fonte: Autorial Própria



Quadro 8. Questionário: Ferramentas

VI. Ferramentas: panorama geral: 2, 3, 5 e 5	
Objetivo: a. Estabelecer a relação entre os temas	Descrição: a. Identificação do grau de importância
Pergunta: <i>a. Qual característica você considera mais importante na escolha de uma ferramenta de simulação? (Usabilidade/ Gerenciamento das informações; Integração com base de dados e das ferramentas ao processo de projeto; Assertividade e habilidade de simular componentes complexos; Interoperabilidade).</i>	

Fonte: Autoria Própria

3.1.3 Etapa 3: coleta de dados

A *coleta de dados (Etapa 3)* foi feita pela conjugação de entrevistas e questionário. Através das entrevistas objetivou-se levantar os escopos das análises na etapa de concepção e as ferramentas computacionais que podem servir de apoio à tomada de decisão e, através da aplicação do questionário, levantar o perfil das ferramentas e simulações realizadas.

As entrevistas foram realizadas dentro de um grupo específico, composto por seis especialistas¹⁷ em desempenhos específicos no projeto arquitetônico: Stelamaris Rolla Bertoli (acústico), Lucila Chebel Labaki (térmico), Núbia Bernardi (funcional: acessibilidade), Paulo Sergio Scarazzato (luminoso), Marina Sangoi de Oliveira Ilha (conservação de recursos: água) e Vanessa Gomes da Silva (conservação de recursos: materiais).

A seleção dos entrevistados restringiu-se aos professores pesquisadores da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, especialistas nos desempenhos inseridos no contexto da REDE COOPERATIVA DE PESQUISA - PROJETO TICHIS: Tecnologias da Informação de Comunicação Aplicadas à Construção de Habitações de Interesse Social, junto à FINEP, acrescida do professor especialista em desempenho luminoso da mesma universidade.

Inicialmente foi realizada uma sessão individual com cada um dos especialistas selecionados, objetivando coletar informações referentes ao conhecimento utilizado durante o momento de

¹⁷ Apêndice D – Currículos dos especialistas.



implantação do projeto de HIS. Todos foram questionados quanto aos cuidados dados ao desempenho de sua especialidade, especialmente na fase conceitual da concepção do projeto, onde são definidas as principais características da edificação, como a orientação, implantação, volumetria, distribuição espacial, entre outras.

Após a realização da análise e a interpretação dos aspectos mais relevantes identificados, foi realizada uma nova entrevista com cada especialista para esclarecer as questões que permaneciam em aberto e, principalmente, para aprofundar o conhecimento.

A aplicação do questionário, *Instrumentos de avaliação computacional de desempenho ambiental e acessibilidade no projeto de edificações* (Apêndice A), foi realizada através da distribuição no grupo de discussão sobre Conforto Ambiental e Eficiência Energética (confortoambiental@ufrn.br).

O questionário esteve disponível (*online*) entre os meses de março e abril de 2012. Durante este período, foi respondido por 38 pessoas. O perfil da amostra é predominantemente composto por arquitetos (76%), seguidos pelos engenheiros (16%) e complementada por profissionais de outra formação (8%).

Os dados investigados são apresentados no *Capítulo 4*.

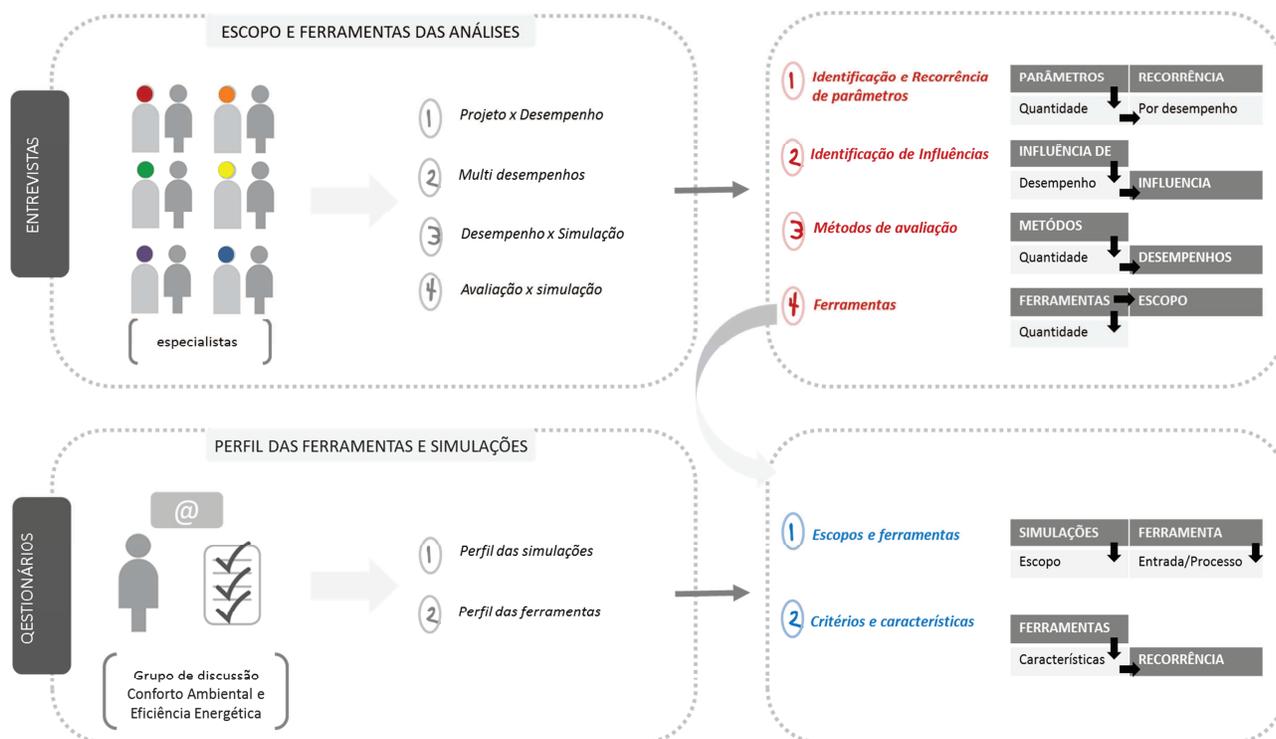
3.1.4 Etapa 4: análise dos dados

Através da análise dos dados (**Etapa 4**), objetivou-se resumir as observações. Para isso, os dados coletados nas entrevistas e nos questionários foram seguidos de análise formal do conteúdo, através da organização do material, descrição analítica dos dados (codificação, classificação e categorização) e interpretação referencial, conforme ilustra a Figura 3.4.

Os dados são analisados nos *Capítulos 4*.



Figura 3.4. Análise dos dados



Fonte: Autoria Própria

3.1.5 Etapa 5: produto

O estudo de campo apresenta os seguintes produtos:

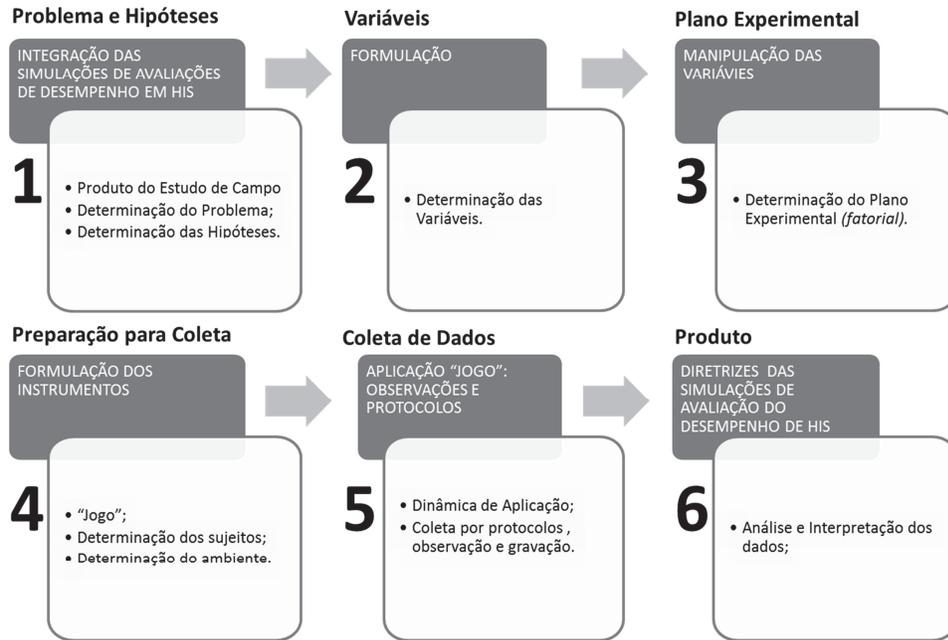
- Modelo de representação analítica (*inputs e outputs*);
- Parâmetros variáveis que entram em confronto direto;
- Análise de influência entre os desempenhos;
- Metodologia de sequenciamento das simulações;
- Levantamento de hipóteses.

3.2 Etapas de realização da pesquisa experimental

A pesquisa experimental foi realizada em seis etapas (Fig. 3.5).



Figura 3.5. Etapas da pesquisa experimental



Fonte: Autoria Própria

3.2.1 Etapa 1: problema e hipóteses

Com origem no estudo de campo, o problema que se apresenta na **Etapa 1** é: *Em que medida a integração das simulações de avaliação de diferentes desempenhos altera o produto "implantação" de um conjunto HIS?*

Neste sentido, a pesquisa experimental investiga três hipóteses:

- 1) Existe influência do desempenho e da simulação nas soluções para a determinação da implantação.
- 2) Há maior influência de um desempenho em relação a outro na integração das soluções.
- 3) Pode-se estabelecer um sequenciamento para a integração das simulações de avaliação de diferentes desempenhos.



3.2.2 Etapa 2: variáveis

O plano experimental foi caracterizado pela aplicação de um jogo. A experiência do jogo abordada neste trabalho consistiu na implantação, em nível conceitual, de um conjunto habitacional. Objetivou-se explicitar a problemática da gestão integrada de multi-desempenho na etapa de concepção de HIS e o papel da simulação como agente facilitador da tomada de decisão.

O jogo¹⁸ foi desenvolvido com base na metodologia do jogo de papéis (*role-playing-games*), nos quais os jogadores-personagens devem discutir e tomar decisões sobre uma situação-problema proposta. Neste caso os jogadores representavam suas respectivas áreas de pesquisa: Conforto Acústico (**Ac**); Conforto Térmico (**Te**); Conforto Luminoso (**Lm**); Acessibilidade (**Ace**); Consumo de Água (**CsAg**) e Consumo de Materiais (**CsMt**).

Como situação-problema, os jogadores deveriam garantir a melhor implantação para o conjunto habitacional de acordo com os parâmetros de desempenho da sua especialidade.

Como exigências do projeto estavam: a implantação de 10 blocos habitacionais, de um reservatório de abastecimento, e uma quadra recreativa. Todos os elementos (peças) deveriam ser locados no terreno específico (tabuleiro).

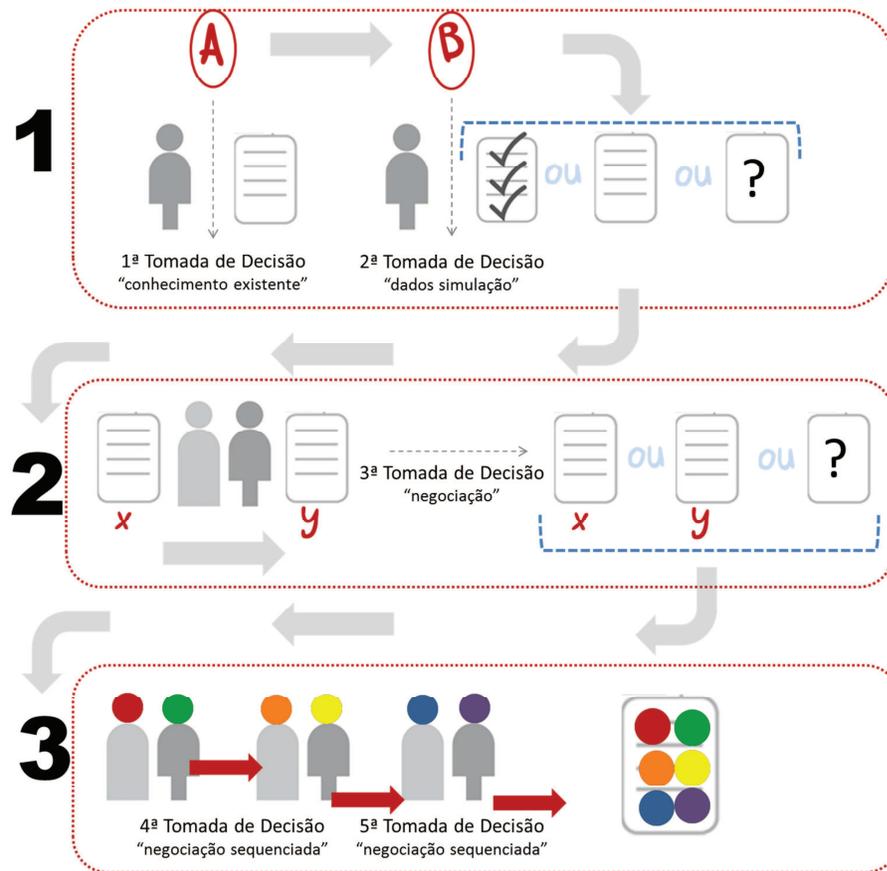
Como dados de entrada, todos os participantes receberam as informações sobre o terreno no próprio tabuleiro: dimensionamento, características do entorno, norte e pontos do levantamento planialtimético.

O jogo é composto por três fases, vislumbrando responder às três hipóteses, respectivamente, conforme ilustra a Figura 3.6.

¹⁸ Apêndice B.



Figura 3.6. Dinâmica do Jogo



Fonte: Autoria Própria

A Fase 1 (**Experimento 1**) é composta por duas etapas: **A e B**. Nesta fase, as tomadas de decisões são individuais, em que cada jogador implementa sua estratégia para a solução. Na etapa A, a decisão tomada é baseada no conhecimento existente e produz a Solução 1A (**S1A**). Na etapa B, cada jogador tem acesso a três cenários que simulam o desempenho relacionado à sua especialidade.

Para passar à Fase 2 o jogador deve definir a Solução 1B (**S1B**) optando em:

1. Seguir com a decisão tomada na Fase 1A; ou
2. Escolher um cenário proposto pelas simulações; ou
3. A partir das simulações e do cenário 1A, propor uma nova implantação.



A Fase 2 (**Experimento 2**) é realizada em duplas pré-estipuladas pela relação de integração dos desempenhos resultante da análise do estudo de campo com os professores-especialistas (acústico –consumo de materiais; térmico-luminoso; consumo de água-acessibilidade). Nesta fase os jogadores devem negociar e propor a Solução 2 (**S2**) que atenda à melhor implantação aos dois desempenhos, devendo:

1. Seguir com a decisão tomada na Fase 1, por um dos jogadores caso atenda aos dois;
ou
2. A partir das decisões de cada jogador, propor uma nova implantação.

Na última fase (**Experimento 3**), os jogadores, defendendo as relações discutidas e definidas na fase anterior, devem tomar as decisões de maneira sequencial: 1º: acústico-consumo de materiais (**S2_{Ac;CsMt}**) x térmico-luminoso (**S2_{Te;Lm}**), resultando na Solução 3 (**S3**); e 2º: solução 3 x consumo de água-acessibilidade (**S2_{Ace;CsAg}**), resultando na Solução 4 (**S4**).

3.2.3 Etapa 3: plano experimental

No **Experimento 1**, tem-se a definição do plano de experimento através dos Quadros 9 e 10. Nesses quadros far-se-á a *leitura horizontal* ($S1A_{Ac} \times S1A_{Te} \times S1A_{Lm} \times S1A_{Ace} \times S1A_{CsAg} \times S1A_{CsMt}$) com relação aos produtos gerados, suas similaridades ou diferenças quanto aos parâmetros: orientação das edificações e localização do reservatório e da quadra, através dos apontamentos registrados para a tomada de decisão.

O resultado será apresentado por uma matriz onde 0 (zero) representa a igualdade de dois ou mais parâmetros, 1 (um) a similaridade de um parâmetro e 2 (dois) a diferença entre dois ou mais parâmetros.

Quadro 9. Plano de experimento da solução baseada no conhecimento existente

Solução baseada no conhecimento existente (S1A)						
Desempenho	Ac	Te	Lm	Ace	CsAg	CsMt
Solução	$S1A_{Ac}$	$S1A_{Te}$	$S1A_{Lm}$	$S1A_{Ace}$	$S1A_{CsAg}$	$S1A_{CsMt}$
Resultado na variável depende (solução proposta pelos jogadores)						

Fonte: Autoria Própria



Quadro 10. Plano de experimento da solução tomada com a apresentação das simulações

Solução tomada com a apresentação das simulações (S1B)						
Desempenho	Ac	Te	Lm	Ace	CsAg	CsMt
Solução	S1B _{Ac}	S1B _{Te}	S1B _{Lm}	S1B _{Ace}	S1B _{CsAg}	S1B _{CsMt}
Resultado na variável depende (solução proposta pelos jogadores)						

Fonte: Autoria Própria

O Quadro 11 apresenta o plano fatorial pelo qual busca-se a identificação da influência das simulações na tomada de decisão. Para isso, adota-se no **cruzamento vertical** das soluções S1A x S1B de cada desempenho. Se mantida, será zero (0); se adotada a da simulação proposta, um (1); ou, se a simulação induziu a uma nova solução, dois (2).

Quadro 11. Plano fatorial da solução tomada sem e com a apresentação das simulações

Desempenho: S1A x S1B						
	Ac	Te	Lm	Ace	CsAg	CsMt
S1A	S1A _{Ac}	S1A _{Te}	S1A _{Lm}	S1A _{Ace}	S1A _{CsAg}	S1A _{CsMt}
S1B	S1B _{Ac}	S1B _{Te}	S1B _{Lm}	S1B _{Ace}	S1B _{CsAg}	S1B _{CsMt}
	S1A _{Ac} x S1B _{Ac}	S1A _{Te} x S1B _{Te}	S1A _{Lm} x S1B _{Lm}	S1A _{Ace} x S1B _{Ace}	S1A _{CsAg} x S1B _{CsAg}	S1A _{CsMt} x S1B _{CsMt}

Fonte: Autoria Própria

O Quadro 12 apresenta o plano fatorial pelo qual busca-se identificar se os requisitos do desempenho para a implantação são **coincidentes** na solução final do experimento 1 (S1B), quanto aos parâmetros compartilhados por um ou mais desempenhos, identificados no estudo de campo. Como a geometria, volumetria, aberturas e condições climáticas foram apresentadas aos jogadores para a tomada de decisão restringe-se aos seguintes parâmetros: *Materiais* (Mt) na junção das edificações e/ou posicionamento do reservatório, *Entorno* (Et) localização da quadra, *Topografia* (Tp) implantação das edificações e/ou do reservatório aproveitando a topografia e



Orientação (Ot.) orientação das aberturas e posicionamento da quadra. Para isso, adota-se o cruzamento das soluções $S1B_n \times S1B_m$ se igual (0); se semelhante (1), se diferente (2).

Quadro 12. Plano fatorial de identificação da presença dos parâmetros

	$S1B_{Te}$	$S1B_{Lm}$	$S1B_{Ace}$	$S1B_{CsAg}$	$S1B_{CsMt}$
$S1B_{Ac}$	PMt _{0/1/2} PEt _{0/1/2} PTp _{0/1/2} POt _{0/1/2}				
$S1B_{Te}$		PMt _{0/1/2} PEt _{0/1/2} PTp _{0/1/2} POt _{0/1/2}			
$S1B_{Lm}$			PMt _{0/1/2} PEt _{0/1/2} PTp _{0/1/2} POt _{0/1/2}	PMt _{0/1/2} PEt _{0/1/2} PTp _{0/1/2} POt _{0/1/2}	PMt _{0/1/2} PEt _{0/1/2} PTp _{0/1/2} POt _{0/1/2}
$S1B_{Ace}$				PMt _{0/1/2} PEt _{0/1/2} PTp _{0/1/2} POt _{0/1/2}	PMt _{0/1/2} PEt _{0/1/2} PTp _{0/1/2} POt _{0/1/2}
$S1B_{CsAg}$					PMt _{0/1/2} PEt _{0/1/2} PTp _{0/1/2} POt _{0/1/2}

Fonte: Autoria Própria

No **Experimento 2** tem-se a definição através do Quadros 13. Para determinar a influência do desempenho na solução final, a análise far-se-á por conjunto. Ou seja, se a solução de um desempenho estiver *contida* ou apresentar com maior intensidade suas características na solução final do que do outro desempenho, há uma maior influência da primeira sobre a segunda. Deste modo, considerando as soluções de partida como Sa e Sb e a solução final como Sab tem-se:

$$Sa \subset Sab = R1 \text{ e } Sb \subset Sab = R2, \text{ sendo } R1 < R2 \text{ ou } R1 > R2.$$



Quadro 13. Plano de experimento da solução integrada em duplas

Solução integrada em duplas (S2)						
Desempenho	Ac	CsMt	Te	Lm	Ace	CsAg
<i>Partida</i>	S1B _{Ac} x S1B _{CsMt}		S1B _{Te} x S1B _{Lm}		S1B _{Ace} x S1B _{CsAg}	
S2	S2 _{Ac CsMt}		S2 _{Te Lm}		S2 _{Ace CsAg}	

Fonte: Autoria Própria

O **Experimento 3** visa identificar a relação de influência na ***solução sequenciada***. A definição do plano de experimento através do Quadro 14 e o plano fatorial através do Quadro 15, cuja leitura para análise é apresentada no Quadro 16.

Quadro 14. Plano de experimento da solução integrada

Solução integrada (S3 e S4)						
Desempenho	Ac	CsMt	Te	Lm	Ace	CsAg
<i>Partida</i>	S2 _{Ac CsMt}		S2 _{Te Lm}		S2 _{Ace CsAg}	
<i>Sequência 1</i>	S3 (S2 _{Ac CsMt} x S2 _{Te Lm})					
<i>Sequência 2</i>			S4 (S3 x S2 _{Ace CsAg})			

Fonte: Autoria Própria

Quadro 15. Plano de fatorial da solução integrada

Solução integrada (S3 e S4)						
Desempenho	Ac	CsMt	Te	Lm	Ace	CsAg
<i>Sequência 1</i>	S3 x S2 _{Ac CsMt} (Resultado: = ≠ ≈)		S3 x S2 _{Te Lm} (Resultado: = ≠ ≈)			
<i>Sequência 2</i>			S3 x S4 (Resultado: = ≠ ≈)		S4 x S2 _{Ace CsAg} (Resultado: = ≠ ≈)	

Fonte: Autoria Própria



Quadro 16. Leitura dos resultados para o plano fatorial da solução integrada

Leitura dos Resultados									
Resultado	= ; =	= ; ≠	= ; ≈	≠ ; =	≠ ; ≈	≠ ; ≠	≈ ; =	≈ ; ≠	≈ ; ≈
Leitura	Inválido	Influência +	Influência -	Influência +	Influência -	Influência ?	Influência -	Influência -	Influência ?
Sentido	x	→	→	←	←	x	←	←	x

Fonte: Autoria Própria

Para a análise das características consideremos a maior recorrência entre os seguintes parâmetros: *Materiais* (Mt) junção das edificações; posicionamento do reservatório, *Entorno* (Et) localização da quadra, *Topografia* (Tp) implantação: edificações; reservatório aproveitando a topografia e *Orientação* (Ot.) orientação: aberturas; quadra. Adota-se no cruzamento das soluções para cada critério do parâmetro: igual (=), ou semelhante (≈), ou diferente (≠). Se, para um mesmo parâmetro houver duas considerações distintas, devido aos critérios, prevalece a seguinte ordem de grandeza: diferente, semelhante e igual. Entretanto, para o resultado final considera-se o de maior recorrência entre os parâmetros.

3.2.4 Etapa 4: preparação para coleta

Optou-se pela realização desse experimento, enquanto dinâmica de jogo, por sua capacidade de proporcionar uma experiência real, conduzindo os participantes a tomarem decisões a partir do que foi vivenciado. O conjunto de recomendações e características adotadas para a criação do jogo é apresentado por Elgood (1993):

- Criar as condições de tomada de decisão rápidas e fáceis, normalmente através de convenções bem compreendidas;
- Conter em si mesmos tudo o que é necessário para a tomada de decisões e de terminações de consequências.
- Usar decisões irrevogáveis e sinalizar o momento de tomada de decisões claramente;
- Evidenciar que cada decisão afeta o estado do jogo; ele se transforma após uma decisão para outro diferente do anterior, portanto as decisões são dinâmicas;



- Permitir a possibilidade de mensuração, ganhando ou perdendo, através da operação de um mecanismo imparcial, voluntariamente aceito.

Os sujeitos envolvidos foram alunos dos programas de pós-graduação da FEC – Unicamp, indicados pelos professores especialistas, escolhidos dentre alunos de mestrado e doutorado, com experiência nos desempenhos aplicados à edificação. O ambiente escolhido para a aplicação foi uma sala de aula de projeto com duração do experimento de 3 horas, aproximadamente 1 hora por fase.

3.2.5 Etapa 5: coleta

A coleta de dados (**Etapa 5**) realizou-se por meio de registro da aplicação e seus produtos. Os dados foram coletados em duas categorias: do Processo (gravação e protocolos); e do Produto (implantações).

3.2.6 Etapa 6: produto

A análise qualitativa (**Etapa 6**) dos dados obtidos foi feita com base na técnica de análise de protocolos para o Processo, por meio de análise das explicações escritas dos participantes e conteúdos do Produto gerado. A técnica de análise de protocolos foi escolhida para complementar a análise de conteúdo, por ser uma das principais técnicas utilizadas para a obtenção de informações relativas ao processo de projeto. Nesse experimento foi utilizada a técnica de retrospectiva, por: (i) interferir minimamente com o especialista durante o desenvolvimento da tarefa; (ii) revelar informações a respeito da produção de soluções e de sua respectiva avaliação; e (iii) obter documentos de processo que cumpram a função de armazenar o conhecimento. Os dados são apresentados e analisados no *Capítulo 4*.





4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Este capítulo inicia com a apresentação dos resultados do estudo de campo envolvendo o questionário sobre a utilização dos instrumentos de avaliação computacional de desempenho. E, os resultados das entrevistas realizadas com especialistas acerca dos desempenhos: acústico, térmico, luminoso e funcional com foco na acessibilidade e em sustentabilidade no parâmetro de consumo de recursos: água e materiais, aplicados nas etapas iniciais do projeto de edificação. Por fim, finaliza com a apresentação dos resultados da pesquisa experimental.

4.1 Estudo de Campo

4.1.1 Instrumentos de avaliação computacional de desempenho

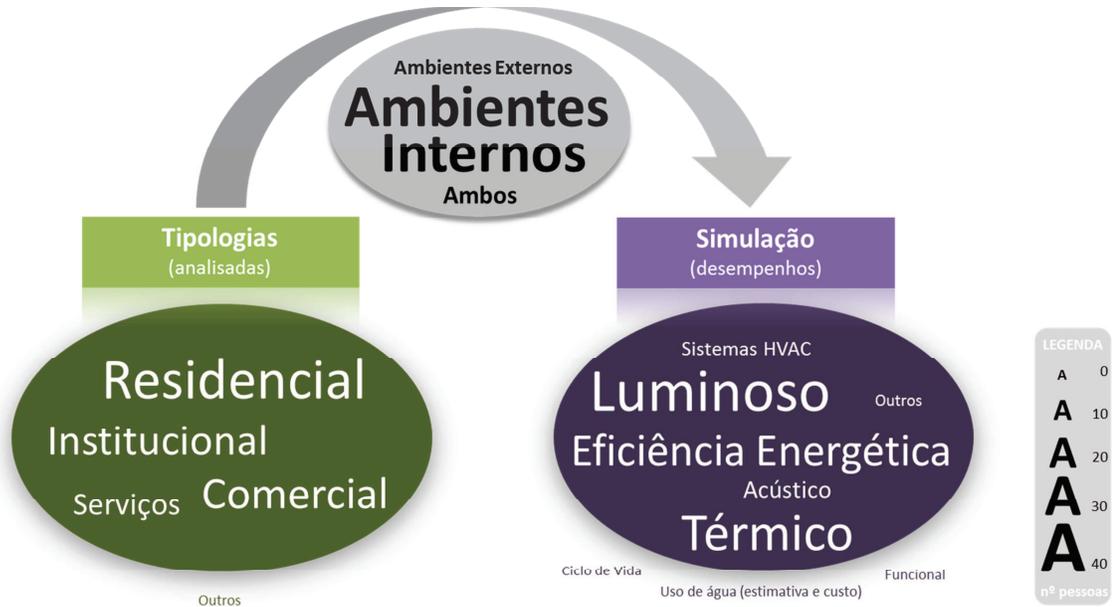
Os resultados apresentados a seguir ilustram como os instrumentos de avaliação computacional podem ser aplicados no processo de projeto. O levantamento não teve a intenção de traçar um panorama, mas sim vislumbrar e levantar alguns pontos de reflexão associados ao tema desta pesquisa. Neste sentido, a leitura dos resultados nas Figuras 4.1 e 4.2 são apresentadas não de forma absoluta (quantitativa), mas relativa (qualitativa). Nesse sentido, a representatividade é atribuída pelo tamanho da fonte, ou seja, quanto mais citada, maior o seu tamanho. O apêndice A apresenta a tabulação dos dados correspondentes a estas figuras.

Nos resultados obtidos, procurou-se identificar primeiramente *o que* é submetido e *quais* os tipos de simulações realizadas, e posteriormente *como* é realizado o processo da simulação. A Figura 4.1, ilustra a relação entre as tipologias e ambientes simulados, bem como os tipos de simulações frequentemente realizadas. Podemos nessa ilustração observar o destaque para as avaliações de iluminação e termo energéticas em ambientes residenciais internos.

Já a Figura 4.2 apresenta o processo de como essas simulações são realizadas. Com relação às ferramentas de análise de desempenho, a maior parte da amostra respondeu utilizar ferramentas diferentes das que estavam apresentadas no questionário (66%). Esta informação supõe que a maior parte das simulações, acontece nos centros de pesquisa e ensino, utilizam ferramentas desenvolvidas na academia, assim como aponta a literatura (Attia, 2010).

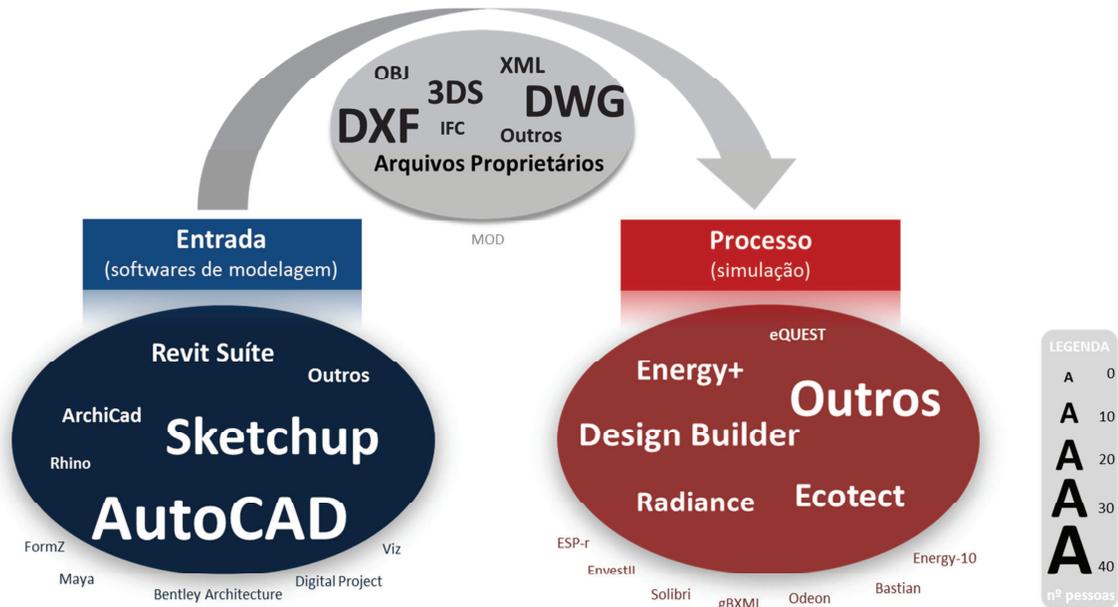


Figura 4.1. Características das simulações realizadas.



Fonte: Autoria Própria

Figura 4.2. Característica do processo das simulações realizadas.



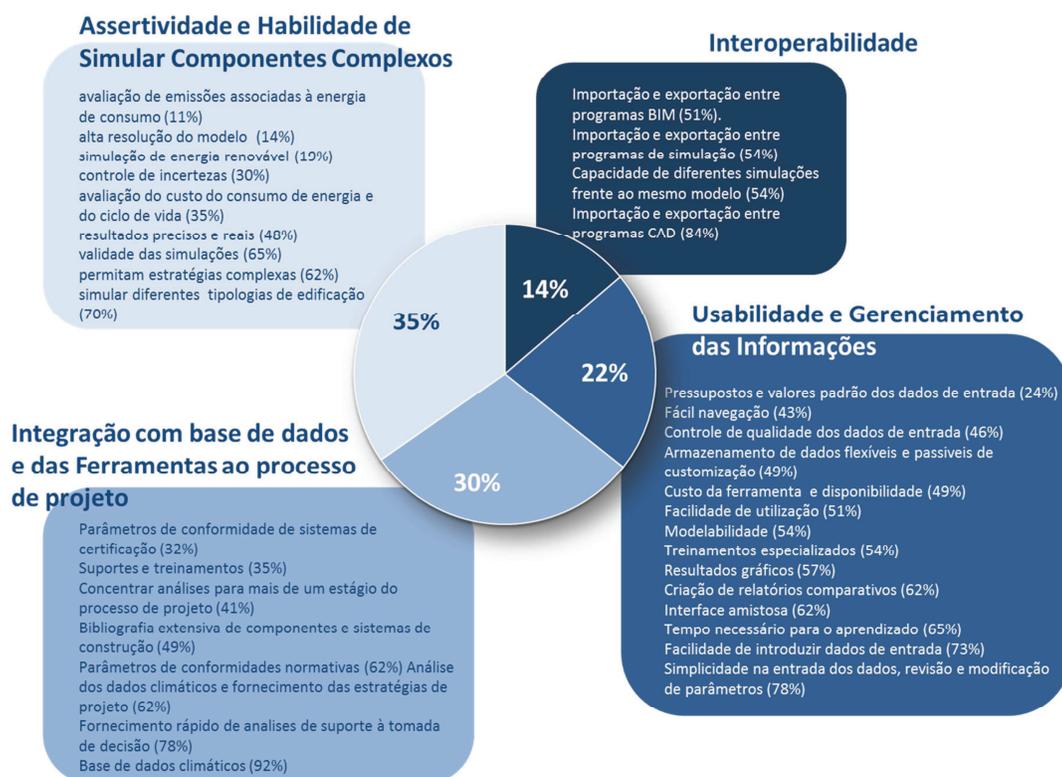
Fonte: Autoria Própria



Com relação à percepção da aplicação das ferramentas de simulação durante o projeto, 97% concordaram que tais instrumentos são capazes, ainda durante a fase cognitiva, de promover inovação de soluções e melhoria da qualidade do projeto. A maior parte da amostra concentra a utilização das ferramentas em prol de *testes e avaliação de soluções* (73%), como *auxílio na tomada de decisão* (73%), pela *antecipação de conflitos* (65%) e possibilidade de *diminuição dos erros* (51%). A *maior assertividade das soluções* aparece por último (49%), refletindo ainda a necessidade do usuário interagir com os resultados, uma vez que as ferramentas apresentam o resultado da solução proposta e não a proposta da melhor solução.

Podemos observar através da Figura 4.3 as características mais valorizadas e almejadas pelos usuários nas ferramentas de simulação. A *Assertividade e Habilidade de Simular Componentes Complexos* junto à *Integração com base de dados e das Ferramentas ao processo do projeto* representam 65%.

Figura 4.3. Ferramentas de Simulação: Perfil das características mais valorizadas e almejadas.



Fonte: Autoria Própria



Baseados nestas quatro áreas, quando questionados de maneira aberta, levantaram características que deveriam ser consideradas no desenvolvimento e aplicação das ferramentas:

I. Usabilidade e gerenciamento das informações

- Dados de entrada no Sistema Internacional e destaque para as variáveis alteradas;
- Banco de dados de propriedade dos materiais e facilidade da modelagem dos sistemas construtivos e inserção de produtos disponíveis no mercado nacional;
- Conferência da geometria importada e manual com exemplos mais complexos;
- Interoperabilidade dos dados do modelo com aplicativos variados e gerenciamento de risco.

II. Integração com base de dados e ferramentas ao processo de projeto:

- Possibilidade de comparação entre dados medidos *in loco* e os teóricos e Interoperabilidade entre as bases de softwares distintos;
- Provocar o hábito dos usuários de pesquisar, criar e manter sua própria base de dados, de forma a dominar todo o processo. A ferramenta deve apenas proporcionar os campos adequados para descrição dos dados em termos físicos.

III. Assertividade e Habilidade de Simular Componentes Complexos:

- Simulação dinâmica (em regime transiente);
- Incluir a distribuição de radiação no ambiente externo e interno em suas diferentes superfícies e simular inércia térmica, permitir o uso de diferenças finitas;
- Incluir ferramentas estatísticas para as combinações de simulações paramétricas;
- Integrar os recursos CFD com simulação predial anual e parâmetros nacionais para calibração do modelo, e interação simultânea de vários estudos (iluminação, acústica, acessibilidade);
- Geometrias complexas, com paredes semienterradas, sob pilotis, cobertas transparentes ou combinadas com brises, estruturas não ortogonais e rasgos contínuos;
- Índices de desempenho das fases de projeto simuladas.

IV. Interoperabilidade:

- Importação de características de materiais e banco de dados com blocos.



4.1.2 O processo de projeto e a avaliação de desempenho

Os resultados a seguir identificam os parâmetros, influências, métodos e ferramentas de avaliação computacional abordados nesta pesquisa. Apresenta-se conforme o roteiro proposto para as entrevistas apresentado no Quadro 2, exposto no *Capítulo 3 - Metodologia: Projeto x Desempenho; Multi Desempenho; Desempenho x Avaliação; Avaliação x Ferramenta Computacional*.

4.1.2.1 Projeto x Desempenho

A partir das entrevistas, relacionou-se os termos que melhor caracterizavam cada resposta e identificou-se a recorrência ou não destes termos entre as entrevistas. Desta análise extraiu-se o conjunto global de fatores de influência (parâmetros de avaliação) e seu reuso entre escopos diferenciados de desempenhos, é apresentado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Parâmetros de avaliação apontados pelos especialistas

PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA AVALIAÇÃO	Ac.	Te.	Lm.	Ace.	CsAg.	CsMt.	OCORRÊNCIA
Aberturas (Ab.)	1	1	1	1	0	0	4
Aproveitamento de águas pluviais (Aap.)	0	0	0	0	1	0	1
Coberturas (Cb.)	0	1	0	0	0	0	1
Condições Climáticas (Cc.)	0	1	0	0	1	0	2
Acessos (Ac.)	0	0	0	1	0	0	1
Tecnologias Economizadoras (Te.)	0	0	0	0	1	0	1
Espaçamento entre edifícios (Eef.)	0	1	0	0	0	0	1
Entorno (Et.)	1	1	1	0	0	0	3
Fonte de luz artificial (Fa.)	0	1	1	0	0	0	2
Fonte de ruído externo (Fe.)	1	0	0	0	0	0	1
Fonte de ruído interno (Fi.)	1	0	0	0	0	0	1
Fonte de luz natural (Fn.)	0	1	1	0	0	0	2
Geometria (Ge.)	1	1	1	1	0	1	5
Infiltração águas pluviais (Iap.)	0	0	0	0	1	0	1
Materiais (Mt)	1	1	1	1	1	1	6
Orientação (Ot.)	1	1	1	0	0	0	3
Retenção de águas pluviais (Rap.)	0	0	0	0	1	0	1
Topografia (Tp.)	0	1	0	1	0	0	2
Volumetria (Vl.)	1	1	1	1	0	1	5
TOTAL	8	12	8	6	6	3	

Legenda: Conforto Acústico (Ac.); Conforto Térmico (Te.); Conforto Luminoso (Lm.); Acessibilidade (Ac.); Consumo de água (CsAg.); Consumo de Materiais (CsMt.). Ocorrência: 0= não; 1= sim.



A partir das entrevistas, foram identificados os escopos e parâmetros que influenciam os desempenhos específicos na etapa de concepção do projeto de HIS. A Figura 4.4 ilustra o modelo do desempenho acústico, cujo escopo estabelece a diretriz de controlar o ruído (aéreo ou de impacto), através dos seguintes parâmetros: volumetria, geometria, orientação, materiais, fontes de ruído (interno/externo), aberturas e entorno (barreiras/obstáculos externos à edificação).

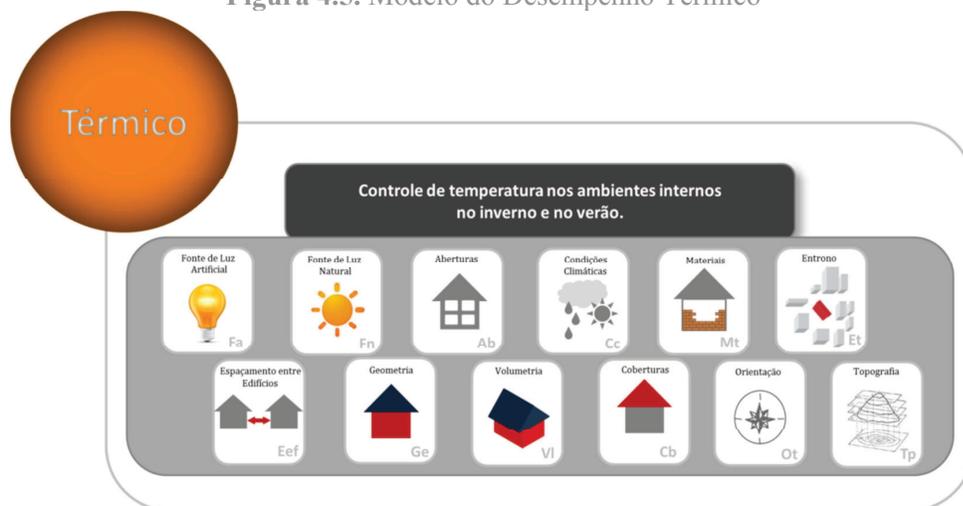
Figura 4.4. Modelo do Desempenho Acústico



Fonte: Autoria Própria

Na Figura 4.5 apresentou-se os parâmetros associados ao desempenho térmico: fontes de iluminação natural e artificial, aberturas, condições climáticas, materiais, entorno (micro clima), espaçamento entre edifícios, geometria, volumetria, cobertura, orientação e topografia.

Figura 4.5. Modelo do Desempenho Térmico



Fonte: Autoria Própria



O modelo, ilustrado pela Figura 4.6, apresenta os parâmetros associados ao desempenho luminoso na etapa de concepção. Como escopo, tem-se a busca do adequado nível de iluminância sem ganho solar. Os parâmetros são: fontes de iluminação natural e artificial, volumetria, orientação, materiais, geometria, aberturas e entorno (sombreamentos ou reflexões externas).

Figura 4.6. Modelo do Desempenho Luminoso



Fonte: Autoria Própria

A Figura 4.7 mostra os parâmetros associados à acessibilidade na etapa de concepção: geometria (acessos: larguras e percursos), volumetria (alturas/desníveis), topografia, materiais, acessos (legibilidade) e aberturas (visibilidade).

Figura 4.7. Modelo do Desempenho Funcional: Acessibilidade



Fonte: Autoria Própria



Os parâmetros (Fig. 4.8) associados à garantia de conservação e uso racional de água na etapa concepção são: retenção de águas pluviais, tecnologias economizadoras (válvulas redutoras de pressão, medição individualizada, aeradores e outros), infiltração de águas pluviais, condições climáticas, aproveitamento de águas pluviais e materiais (traçado das redes).

Figura 4.8. Modelo de Sustentabilidade: Consumo de Água



Fonte: Autoria Própria

A redução da quantidade de material consumido na etapa de construção associa-se na etapa de concepção aos parâmetros de: geometria, volumetria e especificação dos materiais. O modelo é apresentado pela Figura 4.9.

Figura 4.9. Modelo de Sustentabilidade: Consumo de Materiais

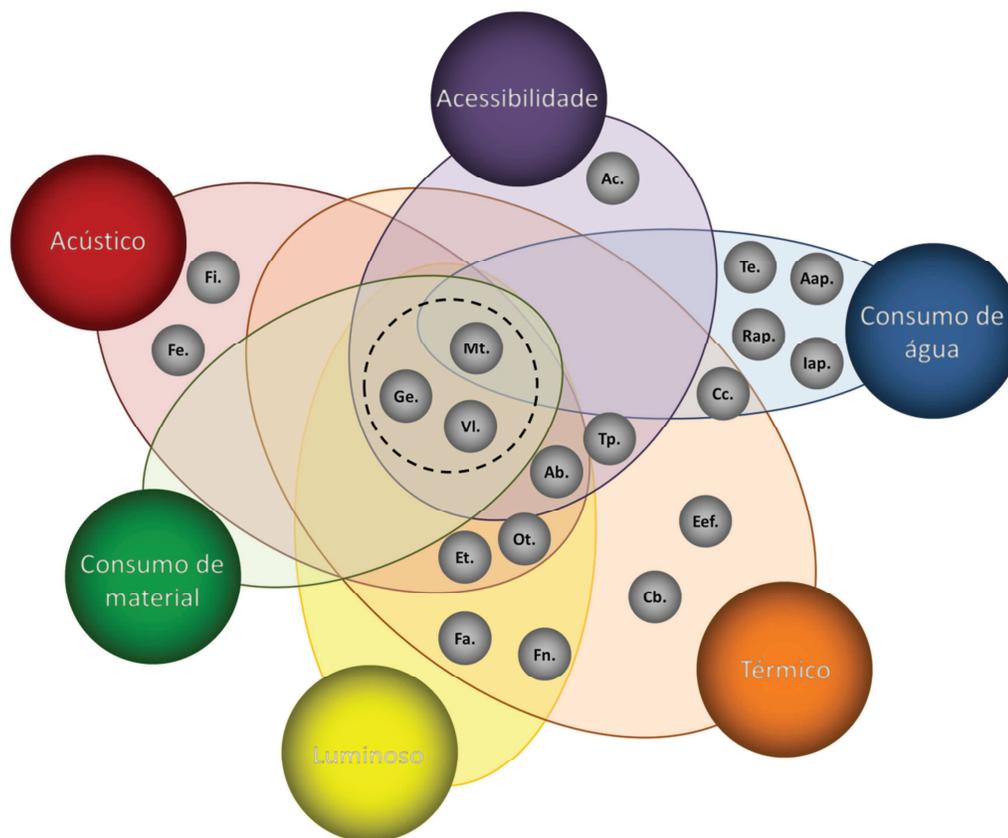


Fonte: Autoria Própria



O levantamento apresentado possibilitou o mapeamento dos parâmetros mínimos necessários ao modelo, base de múltiplas análises. O resultado do modelo integrado é apresentado pela Figura 4.10. Nesta ilustração, podemos identificar como informações mais reutilizadas, representando o modelo de informação mínimo e o mais reutilizado entre simulações (Fig. 4.11), os materiais, a geometria e a volumetria. Em seguida, as informações sobre: as aberturas, a orientação e o entorno. Outra leitura importante reflete o consumo de água como o que menos compartilha seus parâmetros. Enquanto o consumo de materiais, apesar de apresentar o menor número de parâmetros, é o que mais compartilha. Isto pode sugerir uma elevada influência sobre os demais desempenhos, tornando a especificação do material fundamental no processo de projeto. Neste caso podemos observar a necessidade de antecipar esta especificação, tomar como partido o que muitas vezes é decidido apenas em fases mais avançadas do projeto, como no detalhamento.

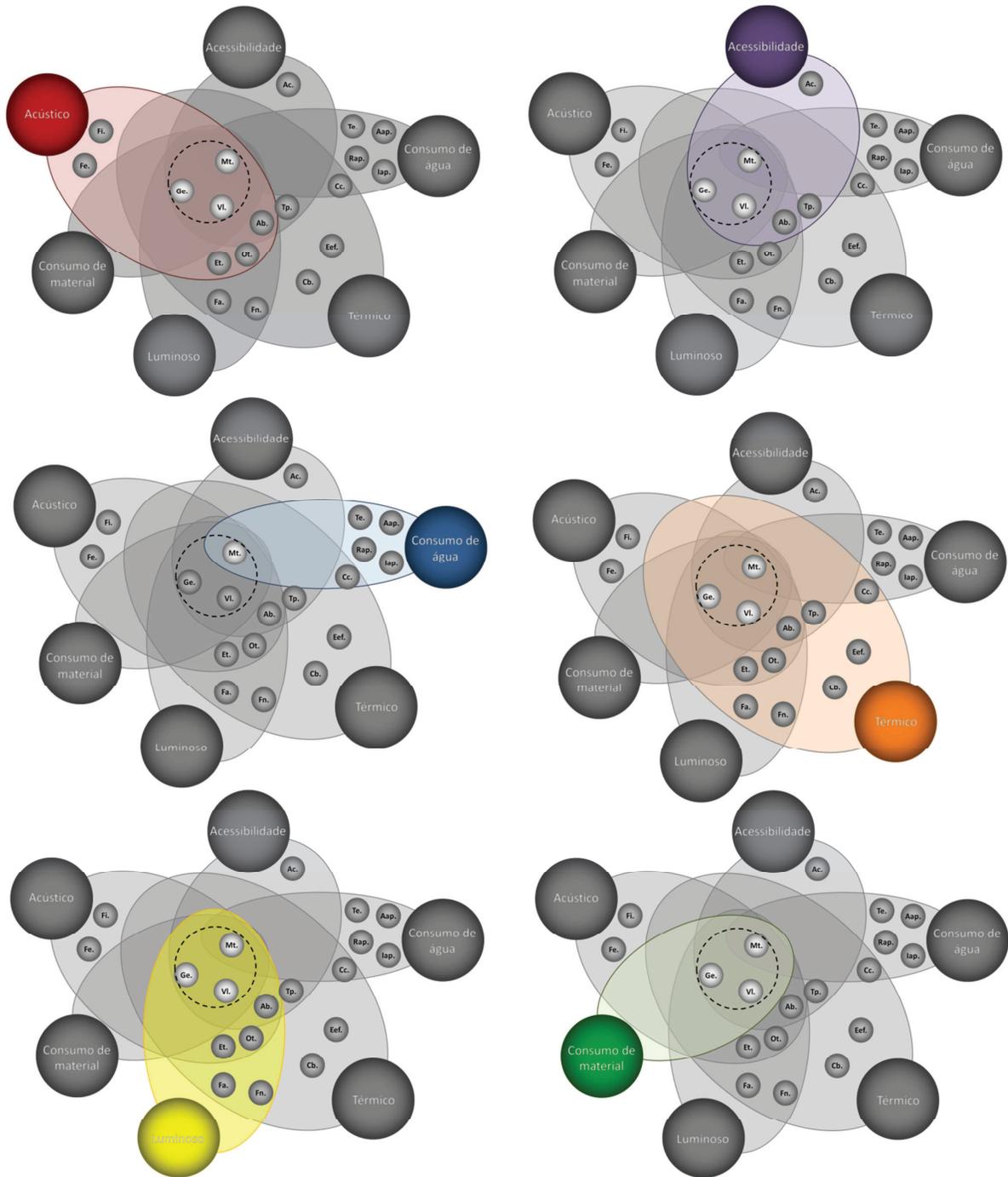
Figura 4.10. Modelo Integrado dos Desempenhos



Fonte: Autoria Própria



Figura 4.11. Recorrência do Modelo de Informação Mínimo



Fonte: Autoria Própria



4.1.2.2 Multi Desempenho

Avaliando-se em conjunto as observações dos especialistas, foi possível levantar a relação de quem sofre influência e de quem exerce influência, conforme a Tabela 4.2. Nesta tabela, a coluna “Influência” apresenta o número de desempenhos influenciados, de modo que, quanto maior o número, maior a influência. Já a linha “Sofre influência de” apresenta através da maior numeração aquele que é mais influenciado.

Tabela 4.2. Interferências entre os desempenhos estudados

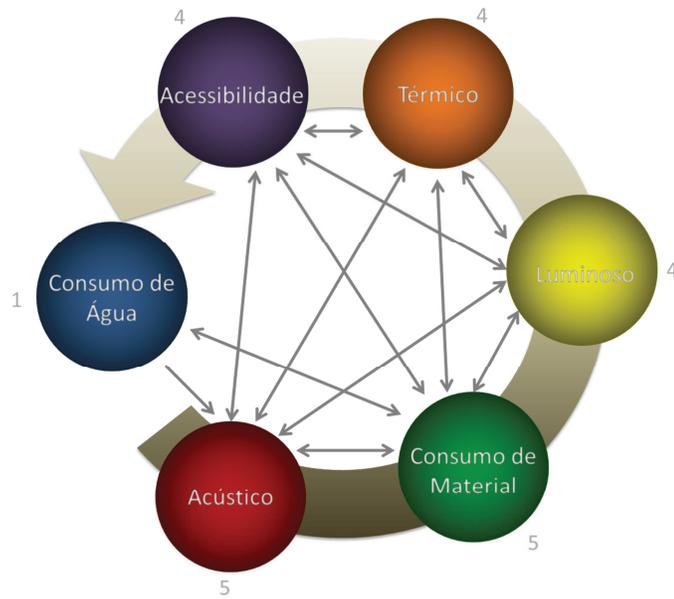
	Ace.	Ac.	CsAg.	CsMt.	Lm.	Te.	Influencia
Acessibilidade (Ace)	0	1	0	1	1	1	4
Acústico (Ac)	1	0	0	1	1	1	4
Consumo de água (CsAg)	0	1	0	1	0	0	2
Consumo de materiais (CsMt)	1	1	1	0	1	1	5
Luminoso (Lm)	1	1	0	1	0	1	4
Térmico (Te)	1	1	0	1	1	0	4
Sofre Influência de	4	5	1	5	4	4	

Fonte: Autoria Própria

Tem-se o esquema de interferências apresentados pelas Figuras 4.12 e 4.13. Observa-se que, segundo os especialistas entrevistados, o desempenho acústico, bem como o consumo de materiais, são os que sofrem mais impacto em relação às decisões tomadas sobre outros desempenhos. Enquanto o consumo de água pouco é influenciado, ou influencia outro desempenho. Podemos também ressaltar a grande relação de interdependência das soluções.

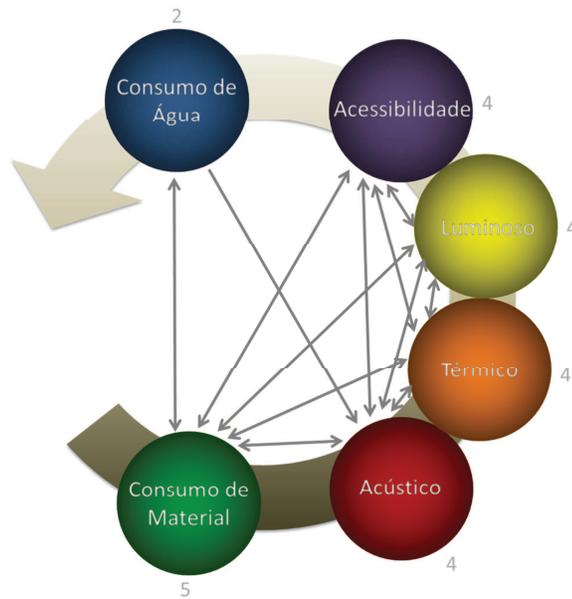


Figura 4.12. Relação de Influência entre os desempenhos no sentido anti-horário: do mais influenciado ao menos influenciado



Fonte: Autoria Própria

Figura 4.13. Relação de Influência entre os desempenhos no sentido anti-horário: do que mais exerce influência ao que menos exerce influência

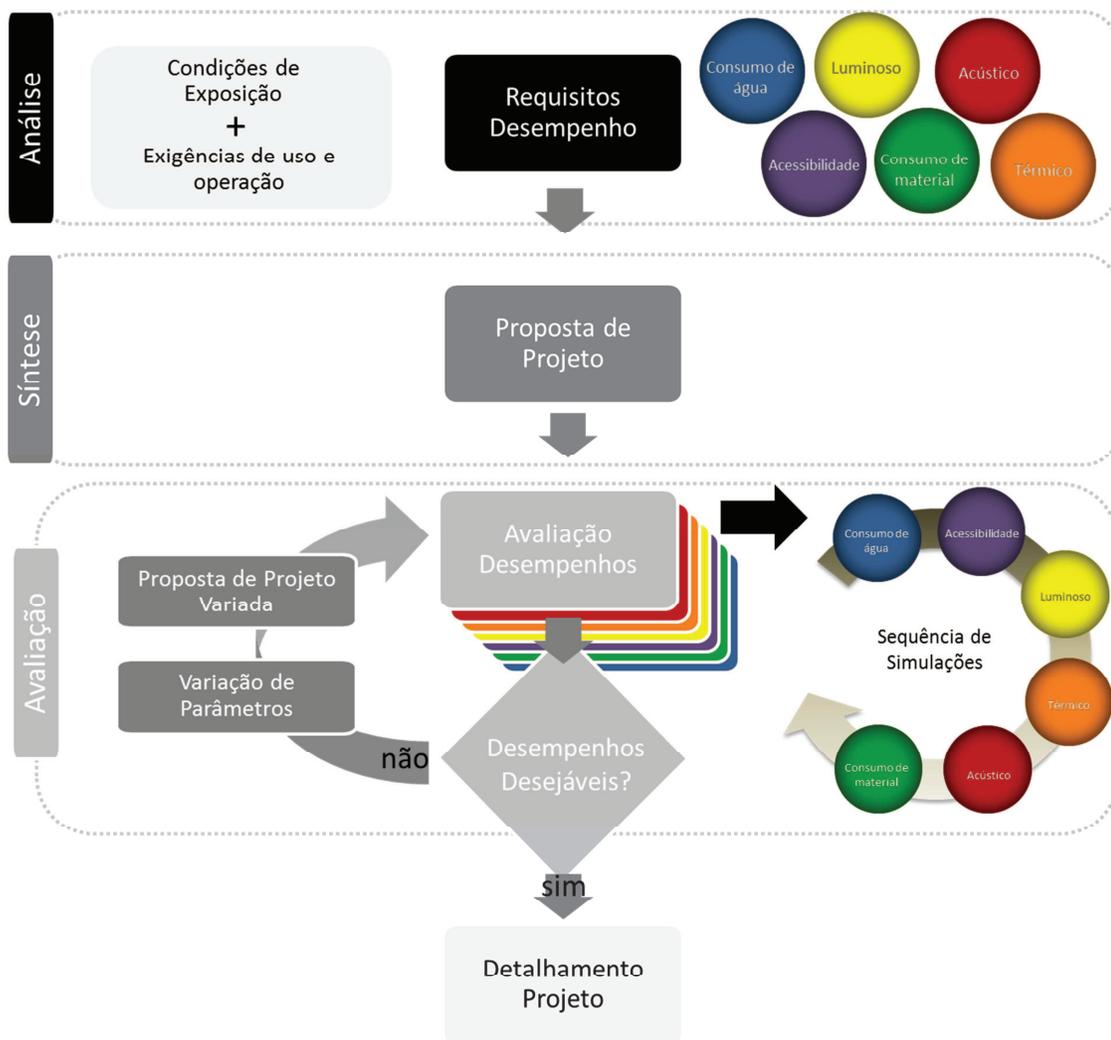


Fonte: Autoria Própria



Objetivando reduzir o número de retrabalhos e identificar um possível sequenciamento, buscou-se compreender a relação de influência entre os desempenhos, de modo que estes pudessem ser ordenados. Os resultados expostos sugerem uma possível metodologia baseada nas influências dos desempenhos, orientando uma sequência para realização das simulações, na tipologia estudada, conforme ilustra a Figura 4.14.

Figura 4.14. Fluxo de projeto proposto pela pesquisa: Sequência de Simulações



Fonte: Autoria Própria



4.1.2.3 Desempenho x Avaliação

Avaliando-se em conjunto as observações dos especialistas, tem-se na Tabela 4.3 o levantamento dos métodos empregados na etapa de concepção. Pode-se observar que a maior parte dos desempenhos nesta fase é ainda avaliada através de processos analíticos e simulações físicas, com pouca interação através de ferramentas computacionais, apesar de haver conhecimento sobre elas nesta etapa. Os desempenhos que mais recorrem à avaliação, ainda na etapa de concepção, são os desempenhos térmico e luminoso. Fato esse que observamos também através dos resultados do questionário para as características das simulações realizadas.

Tabela 4.3. Métodos de Avaliação do desempenho do projeto na etapa de concepção

	Ace.	Ac.	CsAg.	CsMt.	Lm.	Te.	Métodos
Análise Analítica (cálculos)	0	1	1	1	1	1	5
Análise do Projeto (visual)	1	0	0	0	1	1	3
Ferramenta de Simulação (através de modelos físicos)	1	0	0	0	1	1	3
Ferramenta de Simulação (Conhece) (através de modelos computacionais)	0	1	0	1	1	1	4
Ferramenta de Simulação (Utiliza) (através de modelos computacionais)	0	0	0	0	0	0	0
Métodos utilizados/desempenho	2	2	1	2	4	4	

Fonte: Autoria Própria

4.1.2.4 Avaliação x Ferramenta Computacional

Apresenta-se através da Figura 4.15 as ferramentas de avaliação¹⁹ computacional do desempenho por especialidade na fase de concepção, citadas na entrevista. Apresenta-se o escopo de cada desempenho para a aplicação da ferramenta e os objetivos a serem alcançados nesta etapa. O único desempenho para o qual não houve a identificação de ferramenta foi para a avaliação do consumo de água.

¹⁹ A descrição geral do levantamento das ferramentas é apresentada no Apêndice C.



Figura 4.15. Escopos, Ferramentas e Objetivos da Simulação

Desempenho Acústico	Desempenho Térmico	Desempenho Luminoso	Acessibilidade	Consumo de Água	Consumo de Materiais
Escopo Transmissão de ruído; Emissão de ruído; Isolamento Acústico.	Escopo Nível de radiação solar; Sombras e ventos.	Escopo Desempenho Luminoso; Radiação Solar; Sombras; Luminância e Iluminância.	Escopo Check lists; Análise de conflitos; Conformidade com código de obras	Escopo ?	Escopo Estimativa dos impactos ambientais no ciclo de vida do edifício.
Ferramentas ECOTECT 2011; Bastian; CadnaA; Ease 4.3; Odeon; SONArchitect ISO;	Ferramentas ECOTECT 2011; Project Vasari	Ferramentas ECOTECT 2011; Daysim; Desktop Radiance.	Ferramentas Vistoria Elettronica; Solibri Model Checker.	Ferramentas ?	Ferramentas Invest II.
Objetivos Controle de ruído aéreo ou impacto, interno ou externo.	Objetivos Controle de temperatura nos ambientes internos no inverno e no verão.	Objetivos Garantia do nível adequado de iluminância (lux), sem ganho solar.	Objetivos Garantia do direito universal de ir e vir.	Objetivos Garantia de conservação e uso racional de água.	Objetivos Redução da quantidade de material consumido para construção.

Fonte: Autoria Própria

Na Figura 4.16 as ferramentas de avaliação computacional do desempenho por especialidade na fase de concepção são caracterizadas, e apresentam-se seus *inputs* e *outputs*.

Figura 4.16. Relação das Ferramentas: Características, dados de entrada e saída

	Categorias	Dados de Entrada	Saída
BASTIAN®	Transmissão de ruído aéreo.	Definição da Geometria, características dos materiais que compõem o ambiente e inserção e caracterização das fontes de ruído.	Gráficos, Visual, Audíveis e Numéricos
Cadna A® State-of-the-art noise prediction software	Emissão Ruído Ambiental e Emissão de Poluentes no Ar.	Acústica: Caracterização das fontes de ruído, dados urbanos; Poluição do Ar: Estatísticas anuais ou plurianuais de parâmetros meteorológicos e fatores de emissão para o tráfego.	Visual e Numéricos.
EASE Versão 4.3	Transmissão de ruído aéreo e de impacto.	Definição da Geometria, características dos materiais que compõem o ambiente e inserção e caracterização das fontes de ruído.	Gráficos, Visual, Audíveis e Numéricos.
Odeon Room Acoustics Software	Transmissão de ruído aéreo.	Definição da Geometria, características dos materiais que compõem o ambiente e inserção e caracterização das fontes de ruído.	Gráficos, Visual, Audíveis e Numéricos.



	Categorias Isolamento Acústico.	Dados de Entrada Definição da Geometria, características dos materiais que compõem o ambiente e inserção e caracterização das fontes de ruído.	Saída Gráficos, Visual, Audíveis e Relatórios.
	Categorias Cálculos da energia total gasta pela edificação, da emissão de carbono, do desempenho térmico, acústico e luminoso, do nível de radiação solar, uso da água, sombras, ventos e reflexões.	Dados de Entrada Definição da Geometria, características dos materiais que compõem o ambiente e inserção e caracterização das fontes de ruído.	Saída Gráficos, Visual, Audíveis e Relatórios.
	Categorias Térmico, Energético e Ventilação.	Dados de Entrada Informações relativas ao local do projeto, através do georreferenciamento captar informações meteorológicas, Definição da geometria.	Saída Gráficos, Visual, Numéricos e Relatórios comparativos.
	Categorias Distribuição de luminâncias e iluminâncias em edificações, determinadas as condições de qualquer tipo de céu.	Dados de Entrada Arquivos climáticos e modelo responsável por fornecer as propriedades ópticas das superfícies.	Saída Gráficos, Visual, Numéricos.
	Categorias Distribuição de luminâncias e iluminâncias em edificações, sob a disponibilidade de 4 tipos de céu.	Dados de Entrada Plug-in do AutoCAD - barra de menu permite incluir luminárias, lâmpadas, materiais nas superfícies e diversos objetos no ambiente modelado, bem como definir o tipo de céu.	Saída Gráficos, Visual.
	Categorias Check List Eletrônico como base a ABNT NBR9050/04.	Dados de Entrada Preenchimento analítico de campos específicos.	Saída Relatório de não conformidade.
	Categorias A Ferramenta foi desenvolvida para Análise de conflitos BIM em Acessibilidade: possibilita a identificação de conformidade com códigos de construção.	Dados de Entrada Definição das regras e geometria.	Saída Relatórios e Gráficos.
	Categorias Estimativa dos impactos ambientais do ciclo de vida do edifício.	Dados de Entrada Geometria; Especificação dos serviços e vida operacional; Valores pré-selecionados definidos para especificação de escritórios, que podem ser editados pelo usuário.	Saída Gráficos, Numéricos e Relatórios comparativos



O cruzamento dos parâmetros necessários para a avaliação do desempenho **acústico** frente às ferramentas resultou na Tabela 4.4. Consta-se certa equivalência entre os *inputs* das ferramentas, destacando-se apenas a ferramenta CadnaA. Isso se dá, pelo fato dessa ferramenta apresentar um perfil de análise diferenciado das demais, promovendo uma análise em escala urbana, enquanto as demais priorizam análises internas. O entorno nesta análise corresponde à avaliação da escala urbana, presente apenas na ferramenta CadnaA, nas demais foi substituído pela fonte de ruído associada à geometria da edificação. Objetivando a compreensão do desempenho acústico na etapa de concepção verificamos a necessidade de aplicar mais de uma ferramenta, uma em escala urbana para auxiliar o projetista quanto à orientação frente ao entorno, e outra para avaliar a distribuição interna da edificação.

Tabela 4.4. Parâmetros do desempenho acústico x *inputs* das ferramentas de simulação

PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO	Specialistas	Bastian	CadnaA	Ease 4,3	Odeon	ECOTECT	SONArchitect	OCORRÊNCIA
	Aberturas (Ab.)	1	1	0	1	1	1	1
Entorno (Et.)	1	0	1	0	0	0	0	1
Fonte de ruído externo (Fe.)	1	1	1	1	1	1	1	6
Fonte de ruído interno (Fi.)	1	1	0	1	1	1	1	5
Geometria (Ge.)	1	1	1	1	1	1	1	6
Materiais (Mt)	1	1	0	1	1	1	1	5
Orientação (Ot.)	1	0	1	0	0	0	0	1
Volumetria (Vl.)	1	1	1	1	1	1	1	6
TOTAL	8	6	5	6	6	6	6	

Fonte: Autoria Própria

A Tabela 4.5 apresenta a relação entre os parâmetros necessários à avaliação do desempenho **térmico** frente às ferramentas de simulação. Neste caso, o desvio do perfil deve-se ao fato da ferramenta Project Vasari, ainda em estudo, permitir a realização de avaliações do modelo com o mínimo de informações (redução de parâmetros para geometria e volumetria), o que não acontece com o ECOTECT. Entretanto, essa flexibilidade favorece o ajuste da forma às metas pretendidas. Fato este que confere ao Vasari uma característica fundamental nesta pesquisa, a de cumprir a função de trazer a etapa de avaliação para o início do projeto quando suas informações ainda não são tão precisas, permitindo a utilização dos resultados para embasar a tomada de decisão.



Tabela 4.5. Parâmetros do desempenho térmico x *inputs* das ferramentas de simulação

PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO	Especialistas	Autodesk ECOTECH Analysis 2011	Autodesk Project Vasari	OCORRÊNCIA
Aberturas (Ab.)	1	1	0	0
Coberturas (Cb.)	1	1	0	1
Condições Climáticas (Cc.)	1	1	1	2
Espaçamento entre edifícios (Eef.)	1	1	1	2
Entorno (Et.)	1	1	1	2
Fonte de luz artificial (Fa.)	1	1	0	1
Fonte de luz natural (Fn.)	1	1	1	2
Geometria (Ge.)	1	1	1	2
Materiais (Mt)	1	1	0	1
Orientação (Ot.)	1	1	1	2
Topografia (Tp.)	1	1	1	2
Volumetria (Vl.)	1	1	1	2
TOTAL	12	12	8	

Fonte: Autoria Própria

A Tabela 4.6 apresenta a relação entre os parâmetros necessários à avaliação do desempenho **luminoso** frente às ferramentas de simulação. Nota-se certa semelhança nas avaliações realizadas. Nelas o entorno (sombreamentos ou reflexões externas) não são consideradas.

Tabela 4.6. Parâmetros do desempenho luminosos x *inputs* das ferramentas de simulação

PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO LUMINOSO	Especialistas	DAYSIM	Autodesk ECOTECH Analysis 2011	Desktop Radiance	OCORRÊNCIA
Aberturas (Ab.)	1	1	1	1	3
Entorno (Et.)	1	0	0	0	0
Fonte de luz artificial (Fa.)	1	1	1	1	3
Fonte de luz natural (Fn.)	1	1	1	1	3
Geometria (Ge.)	1	1	1	1	3
Materiais (Mt)	1	1	1	1	3
Orientação (Ot.)	1	1	1	1	3
Volumetria (Vl.)	1	1	1	1	3
TOTAL	8	7	7	7	

Fonte: Autoria Própria



A Tabela 4.7 apresenta diferenças que provem das características distintas dos softwares relacionados, o Vistoria Eletrônica é como um *check list* informatizado, e o Solibri, apesar de não ser especificamente voltado à **acessibilidade**, é capaz de auxiliar durante o processo cognitivo de maneira interativa, por propiciar a verificação de parâmetros necessários através de regas pré-estipuladas.

Tabela 4.7. Parâmetros da acessibilidade x *inputs* das ferramentas de simulação

PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA AVALIAÇÃO DA ACESSIBILIDADE	Especialistas	Vistoria Eletrônica	Solibri Model Checker	OCORRÊNCIA
Aberturas (Ab.)	1	0	1	1
Acessos (Ac.)	1	1	1	2
Geometria (Ge.)	1	1	1	2
Materiais (Mt)	1	0	1	1
Topografia (Tp.)	1	1	0	1
Volumetria (Vl.)	1	0	1	1
TOTAL	6	3	5	

Fonte: Autoria Própria

Com relação ao **consumo de água**, durante a pesquisa foram levantadas diversas ferramentas analíticas e *plug-in* em plataforma CAD capaz de auxiliar o projetista durante a representação do projeto de edificações, entretanto, notou-se grande deficiência de ferramentas voltadas a analisar os projetos quanto ao desempenho dos sistemas provisionados, na busca de soluções mais eficientes, conforme ilustra a Tabela 4.8. Algumas ferramentas que permitem BIM surgem como evolução nesta área, entretanto, a falta de bibliotecas e a introdução nos sistemas das normas nacionais atrasam sua difusão e utilização.

Por outro lado, as ferramentas SWMM e HYDRUS permitem criar um modelo de simulação dinâmica de precipitação-vazão, para o evento único ou a longo prazo, da quantidade de escoamento superficial e da qualidade das áreas principalmente urbanas.



Tabela 4.8. Parâmetros do consumo de água x *inputs* das ferramentas de simulação

PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA	Especialistas	Não foram identificadas	OCORRÊNCIA
Aproveitamento de águas pluviais (Aap.)	1	0	0
Condições Climáticas (Cc.)	1	0	0
Tecnologias Economizadoras (Te.)	1	0	0
Infiltração águas pluviais (Iap.)	1	0	0
Materiais (Mt)	1	0	0
Retenção de águas pluviais (Rap.)	1	0	0
TOTAL	6	0	

Fonte: Autoria Própria

Durante a pesquisa notou-se uma grande lacuna de ferramentas e dados voltados a analisar os projetos quanto ao consumo e especificação dos **materiais**, durante as etapas iniciais do projeto, na busca de soluções mais eficientes, no Brasil. Alguns estudos utilizam bases de dados internacionais como, por exemplo, a ferramenta ENVEST II, utilizada para o comparativo apresentado na Tabela 4.9. Entretanto, há desconhecimento dos critérios utilizados, motivando o interesse de montar uma base de dados regionalizada. Este processo pode ser, além de demorado, muito oneroso e depender de dados externos, devido à globalização da produção de materiais. Mas, mesmo assim, extremamente necessário.

Tabela 4.9. Parâmetros do consumo de materiais x *inputs* das ferramentas de simulação

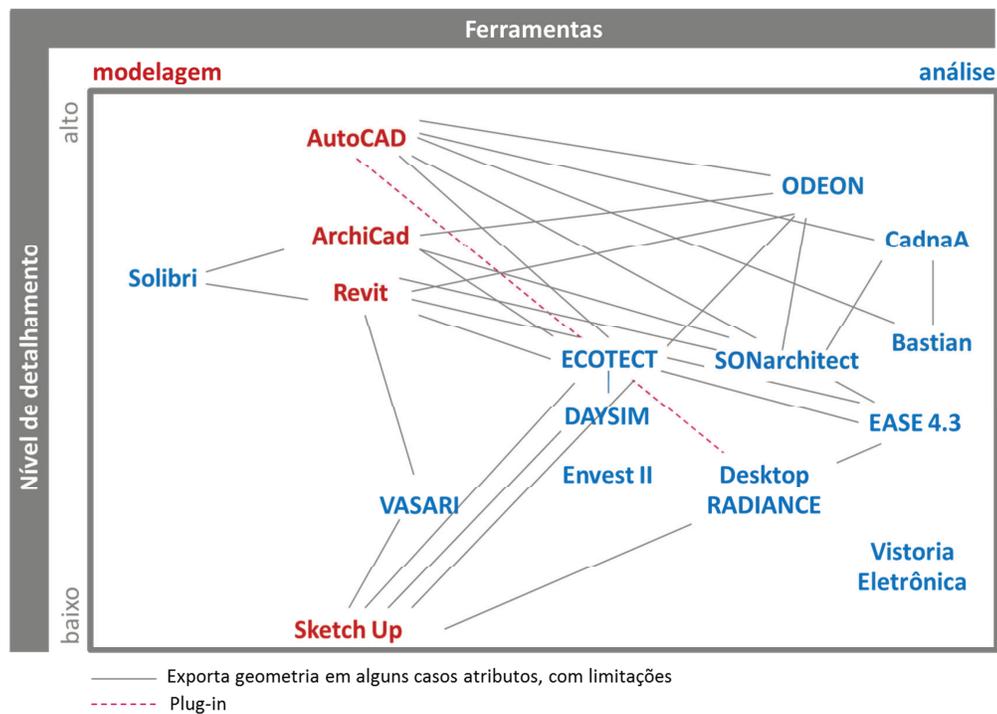
PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE MATERIAIS	Especialistas	ENVEST II	OCORRÊNCIA
Geometria (Ge.)	1	1	2
Materiais (Mt)	1	1	2
Volumetria (Vl.)	1	1	2
TOTAL	3	3	

Fonte: Autoria Própria



Frente à inexistência de ferramentas capazes de analisar simultaneamente diferentes desempenhos, para a integração das análises através do auxílio de ferramentas computacionais, tornou-se necessário compor um macro fluxo, apresentado pela Figura 4.17, da comunicação entre as ferramentas analisadas. A figura apresenta no eixo “y” o nível de detalhamento presente na etapa de aplicação das ferramentas, e através da cor “vermelha” identifica as ferramentas de modelagem e, com a “azul”, de análise. Entretanto, ressaltamos que é necessário analisar a correta transferência das propriedades físicas e geométricas dos modelos durante a integração destas ferramentas, uma vez que não faz parte desta pesquisa analisar criteriosamente a interoperabilidade. Destacamos apenas a ausência de comunicação entre as ferramentas de modelagem e os softwares Envest II e Vistoria Eletrônica, uma vez que os dados de entrada são feitos manualmente. Observamos ainda, nesta ilustração, a relação existente entre os formatos recorrentes no resultado dos questionários (DWG, DXF, 3DS) e a comunicabilidade entre as ferramentas, uma vez que as ferramentas que possuem maior relação (AutoCAD e Sketch Up) apresentam tais formatos.

Figura 4.17. Macro Fluxo da comunicação entre as ferramentas analisadas



Fonte: Autoria Própria



4.2 Pesquisa Experimental

Apresentam-se os resultados da pesquisa experimental em três experimentos, conforme estrutura proposta no *Capítulo 3 – Metodologia*.

4.2.1 Experimento 1: Influência do desempenho e da simulação

Ao compararmos as soluções propostas²⁰ na Fase 1A (Quadro 17) podemos observar a diversidade dos produtos gerados. O resultado reflete o partido de cada desempenho adotado na tomada de decisão. O desempenho acústico adota como diretriz para a implantação a orientação das fachadas cegas das edificações para as áreas de maior ruído: internas ao condomínio (quadra) e externa (rodovia e ferrovia), enquanto o desempenho térmico articula as edificações de maneira a garantir 50% dos dormitórios orientados a leste, fato que também gerou a implantação da quadra na área central de modo a não comprometer a incidência solar lestes dos blocos a oeste. Nessa mesma solução, procurou-se intercalar os blocos de modo a garantir a permeabilidade do vento predominante (sudoeste). A mesma preocupação quanto à insolação leste foi adotada como partido pelo desempenho luminoso, configurando a similaridade das soluções. Apesar de não haver a preocupação com a ventilação, há na proposta do desempenho luminoso o cuidado na localização central da quadra, como proteção desta em baixas alturas solares, além de permitir melhor iluminação aos prédios.

Priorizando a visibilidade e o uso equitativo, a acessibilidade parte da implantação central da quadra proporcionando a instalação de rampas de maneira integrada, porém, há uma redução no número de blocos implantados. A mesma redução é observada na implantação proposta para o consumo de água. Na proposta voltada ao consumo de água, destaca-se a orientação para o norte das edificações de modo a possibilitar a instalação do sistema de aquecimento solar, bem como agrupamentos para a melhor distribuição das vazões e pressões, e redução dos diâmetros das tubulações. A quadra localizada lindeira à rua visa melhor distribuição da rede de incêndio e acesso ao corpo de bombeiros. O posicionamento do reservatório na cota mais alta, comum em três soluções e similar a duas, proporciona melhor pressão de distribuição, menor altura e consequentemente menor custo. A mesma solução e justificativa da locação do reservatório são

²⁰ As soluções propostas são também apresentadas, em maior escala, como resultado do jogo no Apêndice B.



utilizadas pelo consumo de materiais, entretanto, a disposição da quadra vislumbra ampliar o acesso e diminuir a criação de percursos à área recreativa.

O resultado da *leitura horizontal* ($S1A_{Ac} \times S1A_{Te} \times S1A_{Lm} \times S1A_{Ace} \times S1A_{CsAg} \times S1A_{CsMt}$), nos Quadros 17 e 18 considera 0 (zero) a igualdade de dois ou mais parâmetros, 1 (um) a similaridade de um parâmetro e 2 (dois) a diferença entre dois ou mais parâmetros.

Quadro 17. Produtos da solução baseada no conhecimento existente (Fase 1A)

Solução baseada no conhecimento existente (S1A)						
Desempenho	Ac	Te	Lm	Ace	CsAg	CsMt
Solução						
	$S1A_{Ac}$	$S1A_{Te}$	$S1A_{Lm}$	$S1A_{Ace}$	$S1A_{CsAg}$	$S1A_{CsMt}$
Resultado	2	1	1	2	2	2

Fonte: Autoria Própria

Constatamos, no Quadro 18, a escolha da mesma opção de solução pelos desempenhos acústico, luminoso e consumo de água, sem que tivessem conhecimento das simulações ou soluções dos outros desempenhos. Este fato indica a possibilidade de uma solução atender a mais do que um desempenho específico simultaneamente. Apesar dos demais não serem iguais, guardam entre si semelhanças.

Quadro 18. Produtos da solução tomada com a apresentação das simulações (Fase 1B)

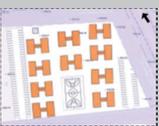
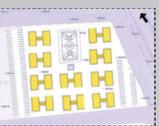
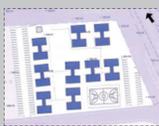
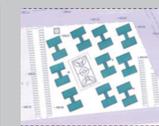
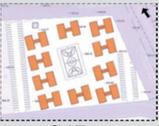
Solução tomada com a apresentação das simulações (S1B)						
Desempenho	Ac	Te	Lm	Ace	CsAg	CsMt
Solução						
	$S1B_{Ac}$	$S1B_{Te}$	$S1B_{Lm}$	$S1B_{Ace}$	$S1B_{CsAg}$	$S1B_{CsMt}$
Resultado	0	1	0	1	0	1

Fonte: Autoria Própria



Ao comparar os produtos gerados, *cruzamento vertical* das soluções S1A x S1B de cada desempenho, considera zero (0) se mantida a solução; se adotada a da simulação proposta, um (1); ou, se a simulação induziu a uma nova solução, dois (2). No Quadro 19, verifica-se grande impacto do uso das simulações para a tomada de decisão, tendo em vista que todas as soluções baseadas no conhecimento sofreram alterações. Observamos ainda que as simulações serviram de duas maneiras distintas. Na primeira, como a própria escolha dentre os cenários apresentados e, na segunda, como *input* para uma nova solução.

Quadro 19. Plano fatorial da solução tomada sem e com a apresentação das simulações

Desempenho: S1A x S1B						
	Ac	Te	Lm	Ace	CsAg	CsMt
S1A	 S1A _{Ac}	 S1A _{Te}	 S1A _{Lm}	 S1A _{Ace}	 S1A _{CsAg}	 S1A _{CsMt}
S1B	 S1B _{Ac}	 S1B _{Te}	 S1B _{Lm}	 S1B _{Ace}	 S1B _{CsAg}	 S1B _{CsMt}
	1	2	1	1	1	2

Fonte: Autoria Própria

A comparação entre as fases destaca mais uma análise interessante: não há apenas a redução de diferenças, mas o aumento da igualdade do produto final. Apesar da limitação do universo pesquisado, neste momento nos interessa apontar através da proximidade das soluções a possibilidade de integração dos desempenhos pesquisados. No Quadro 20 busca-se, na solução final do experimento 1, identificar e comparar parâmetros: *Materiais* (Mt) na junção das edificações e/ou posicionamento do reservatório, *Entorno* (Et) localização da quadra, *Topografia* (Tp) implantação das edificações e/ou do reservatório aproveitando a topografia e *Orientação* (Ot.) orientação das aberturas e da quadra. Para isso, adota-se o cruzamento das soluções S1B_n x S1B_m se igual (0); se semelhante (1), se diferente (2). Observa-se que as incidências de diferenças encontram-se vinculadas posicionamento da **quadra** e à **orientação** proposta por materiais (N-S).



Quadro 20. Plano fatorial de identificação da presença dos parâmetros

Materiais	S1B _{Te}	S1B _{Lm}	S1B _{Ace}	S1B _{CsAg}	S1B _{CsMt}
S1B _{Ac}	1	0	1	0	1
S1B _{Te}		1	1	1	1
S1B _{Lm}			1	0	1
S1B _{Ace}				1	1
S1B _{CsAg}					1
Entorno	S1B _{Te}	S1B _{Lm}	S1B _{Ace}	S1B _{CsAg}	S1B _{CsMt}
S1B _{Ac}	2	0	2	0	2
S1B _{Te}		2	2	2	0
S1B _{Lm}			2	0	2
S1B _{Ace}				2	0
S1B _{CsAg}					2
Topografia	S1B _{Te}	S1B _{Lm}	S1B _{Ace}	S1B _{CsAg}	S1B _{CsMt}
S1B _{Ac}	1	0	1	0	1
S1B _{Te}		1	1	1	1
S1B _{Lm}			1	0	1
S1B _{Ace}				0	1
S1B _{CsAg}					1
Orientação	S1B _{Te}	S1B _{Lm}	S1B _{Ace}	S1B _{CsAg}	S1B _{CsMt}
S1B _{Ac}	1	0	0	0	2
S1B _{Te}		1	1	1	2
S1B _{Lm}			0	0	2
S1B _{Ace}				0	2
S1B _{CsAg}					2

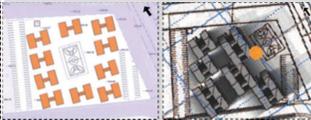
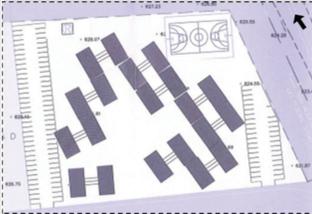
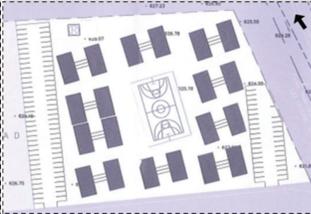
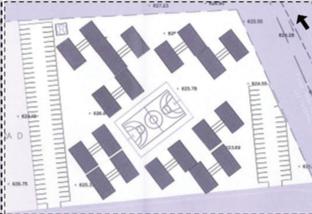
Fonte: Autoria Própria



4.2.2 Experimento 2: Influência entre desempenhos

O resultado apresentado pelo Quadro 21 permite identificar a predominância de características das soluções individuais na solução proposta em duplas.

Quadro 21. Plano de experimento da solução integrada em duplas

Solução integrada em duplas (S2)						
Desempenho	Ac	CsMt	Te	Lm	Ace	CsAg
<i>Partida</i>						
	S1B _{Ac} x S1B _{CsMt}		S1B _{Te} x S1B _{Lm}		S1B _{Ace} x S1B _{CsAg}	
S2						
	S2 _{Ac CsMt}		S2 _{Te Lm}		S2 _{Ace CsAg}	
Resultado	S1B_{Ac} C S2 > S1B_{CsMt} C S2		S1B_{Te} C S2 > S1B_{Lm} C S2		S1B_{Ace} C S2 > S1B_{CsAg} C S2	

Fonte: Autoria Própria

Há notadamente a influência de um desempenho sobre o outro. Na primeira dupla, acústica-consumo de materiais, observamos maior influência da acústica sobre o consumo de materiais. Apesar de serem mantidos tanto a localização do reservatório como as junções, reduzindo o consumo de materiais, há diretrizes acústicas predominantes, como o afastamento das aberturas do reservatório (ruído bombeamento); manutenção das sombras acústicas; menor número de aberturas expostas às fontes de ruídos externas (rodovia e ferrovia); bem como o posicionamento da quadra (fonte de ruído) em uma área já prejudicada em termos de ruído.

A dupla seguinte, térmico-luminoso, apresenta uma solução extremamente semelhante à proposta térmica. Entretanto, os requisitos necessários à iluminação, como a orientação das aberturas e da quadra, também foram atendidos.

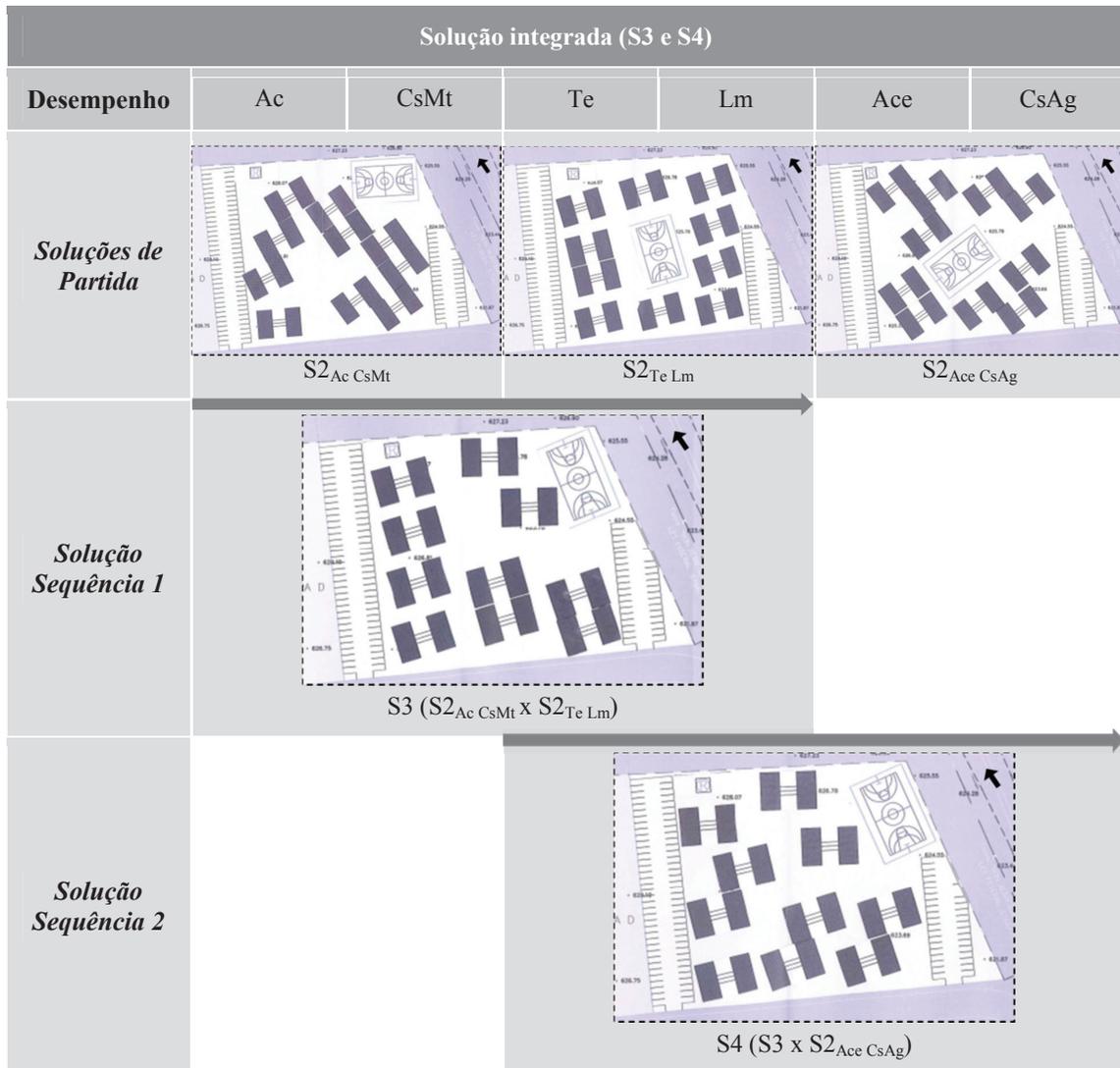


Na terceira dupla, acessibilidade-consumo de água, a solução manteve a proposta original da acessibilidade, que mantem a posição do reservatório e propõem a utilização das áreas de paisagismo na cota mais baixa para reservatórios de água pluvial.

4.2.3 Experimento 3: Sequenciamento das simulações

Podemos, através do Quadro 22, notar algumas semelhanças entre as soluções de partida e as soluções sequenciadas. A análise e os resultados obtidos são apresentados no Quadro 23.

Quadro 22. Plano de experimento da solução integrada sequencial



Fonte: Autoria Própria

Para a análise das características (Quadro 23), considera-se a maior recorrência entre os seguintes parâmetros:

Materiais (PMt) junção das edificações; posicionamento do reservatório

Entorno (PEt) localização da quadra

Topografia (PTp) implantação das edificações; reservatório aproveitando a topografia

Orientação (POt) orientação de aberturas; orientação da quadra.

Adota-se no cruzamento das soluções para cada critério do parâmetro: igual (=), semelhante (\approx), ou diferente (\neq). Se, para um mesmo parâmetro houver duas considerações distintas, devido aos critérios, prevalece a seguinte ordem: diferente, semelhante e igual. Entretanto, para o resultado final, considera-se o de maior recorrência entre os parâmetros.

Quadro 23. Resultado da solução integrada sequencial

Solução integrada (S3 e S4)								
Desempenho	Ac	CsMt	Te	Lm	Ace	CsAg		
Sequência 1	S3 x S2 _{Ac CsMt}		S3 x S2 _{Te Lm}					
Análise	● PMt \approx ; = : (\approx) PEt = : (=) PTp \approx ; = : (\approx) POT \approx ; \neq : (\neq)		● PMt \approx ; = : (\approx) PEt \neq : (\neq) PTp =; = : (=) POT =; = : (=)					
Resultado	↓ (\approx) (=) (\approx) (\neq) \approx		↓ (\approx) (\neq) (=) (=) =					
	Influência: - (menos) / Sentido: (\leftarrow)							
Sequência 2			S3 x S4		S4 x S2 _{Ace CsAg}			
Análise			● PMt \approx ; = : (\approx) PEt = : (=) PTp =; = : (=) POT =; = : (=)		● PMt \approx ; = : (\approx) PEt \neq : (\neq) PTp \approx ; = : (\approx) POT \approx ; \neq : (\neq)			
Resultado			↓ (\approx) (=) (=) (=) =		↓ (\approx) (\neq) (=) (\neq) \neq			
			Influência: + (mais) / Sentido: (\rightarrow)					



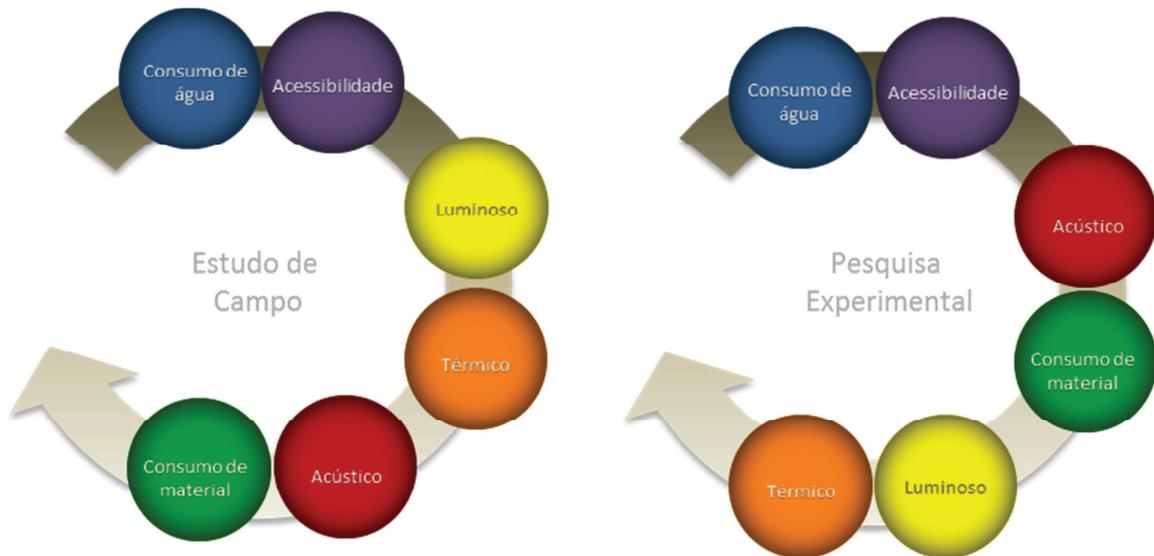
Fonte: Autorial Própria

Ao analisar a S3 evidenciam-se mais as características de partida presentes dos desempenhos térmico e luminoso, do que por consumo de materiais em conjunto com a acústica, principalmente nos critérios estabelecidos para o parâmetro da orientação (aberturas e da quadra).

Na concepção da S4 há forte influência da S3 sobre a decisão final. Neste caso, a solução de partida (S3) se sobrepôs à proposta apresentada em comum para acessibilidade e consumo de água. A única característica imputada pela dupla refere-se às junções entre os edifícios, resguardando a criação de ambiências.

Através deste experimento, constatamos a existência de influências dos desempenhos sobre as soluções (S3 e S4). Neste caso, a ordem de influência do que menos influencia ao que mais influencia é dada por: acessibilidade e consumo de água, acústico-consumo de materiais e por fim térmico-luminoso, divergindo da sequência do estudo de campo, apenas na inversão das duplas acústico-consumo materiais e térmico-luminoso, conforme ilustra a Figura 4.18.

Figura 4.18. Comparativo: estudo de campo e pesquisa experimental



Fonte: Autorial Própria







5 CONCLUSÃO

Discutiu-se neste trabalho a integração das análises de diferentes desempenhos considerando a modelagem da informação e simulação computacional na etapa de concepção do projeto de HIS. O enfoque esteve sob seis áreas: conforto térmico, conforto acústico, conforto luminoso, conservação de recursos materiais, conservação de água e acessibilidade. Através do estudo de campo foi possível elucidar o modelo de representação analítica e identificar os parâmetros que entram em confronto direto por serem compartilhados por um ou mais desempenhos. Pode-se ainda analisar a influência entre os desempenhos resultando na proposição de uma metodologia de sequenciamento das simulações, cuja investigação experimental permitiu testar.

Na introdução deste trabalho levantou-se a hipótese de ser possível melhorar a integração das análises no processo de projeto, com ênfase em desempenho, caracterizando as informações agregadas ao modelo, explicitando seus parâmetros, influências e sequenciamentos das simulações. Apresentados no *Capítulo 4*, o estudo de campo permitiu criar uma estrutura conceitual da hipótese, enquanto a pesquisa experimental permitiu testar a introdução de simulações na tomada de decisão. Embora não se possa afirmar que o sequenciamento adotado pode ser reaplicado para qualquer tipologia de projeto, observou-se no cenário estudado de HIS que é possível melhorar a solução final, frente às individuais, atendendo aos parâmetros de maneira integrada. A metodologia apresentada pôde demonstrar, através do sequenciamento das simulações, a diminuição do número das iterações necessárias na busca da solução para o modelo único.

O principal objetivo da pesquisa posto no Capítulo 1 era *”caracterizar o modelo para a integração de desempenho na avaliação de projeto por meio da influencia entre desempenhos e da simulação computacional no desenvolvimento de soluções projetuais.”* O Capítulo 2 fez o estudo da arte, enquanto o *Capítulo 4* representou a exploração prática.

Definiu-se, além do objetivo geral, dois objetivos específicos. O primeiro objetivo era: *“Levantar e caracterizar a avaliação dos desempenhos: térmico, acústico e luminoso, da conservação de recursos materiais, da conservação de água e acessibilidade, através da elaboração de um modelo analítico que contenha abstrações adequadas, funcionando como uma representação de dados analíticos válidos e precisos para os inputs e outputs do projeto de*



Habitação de Interesse Social;” O *Capítulo 04* realizou esse objetivo ao levantar os escopos e parâmetros específicos de cada desempenho, permitindo a elaboração do modelo integrado (*Seção 4.1.2*).

O segundo objetivo específico era: “*Levantar os parâmetros que entram em confronto direto durante a fase de concepção, capazes de introduzir alterações que otimizem sistematicamente os desempenhos.*” O compartilhamento dos parâmetros apresentado através do modelo integrado bem como a relação de influência foram estabelecidos no *Capítulo 04*. Permitiram ainda gerar um possível sequenciamento.

A partir do estudo de campo levantou-se três hipóteses testadas pela pesquisa experimental:

- 1) Existe influência do desempenho e da simulação nas soluções para a determinação da implantação.
- 2) Há maior influência de um desempenho em relação a outro na integração das soluções.
- 3) Pode-se estabelecer um sequenciamento para a integração das simulações de avaliação de diferentes desempenhos.

A primeira hipótese, testada pelo experimento 1, confirmou a influência sobre as soluções finais tanto de cada desempenho específico como da simulação, além de indicar a possibilidade de uma solução atender a mais do que um desempenho específico simultaneamente.

Através do experimento 2, confirmou-se a segunda hipótese de maior influência de um desempenho em relação a outro. No caso estudado: do desempenho acústico sobre o consumo de materiais; desempenho térmico sobre luminoso e acessibilidade sobre o consumo de água.

O terceiro experimento, apesar de estabelecer uma solução integrada a partir do sequenciamento, não validou o sequenciamento original proposto pela metodologia. Entretanto, constatamos a existência de influências e um ganho compartilhado através do processo colaborativo realizado com apoio da simulação na tomada de decisão, uma vez que a utilização das simulações proporcionou aos participantes: confirmarem ou refutarem suas propostas; elucubram novos cenários; compartilhar dos cenários nas discussões; e, valorizarem o desempenho ambiental sobre o desempenho específico na etapa de concepção.



Constatou-se no desenvolvimento da pesquisa que o modelo de informação não é único durante o fluxo de informação para análise de desempenhos. Mas, existe um nível de informação mínimo que foi identificado nesta pesquisa: geometria, volumetria e materiais. Nesse sentido, um campo a ser explorado para possibilitar o refinamento das informações agregadas ao modelo envolve a criação de um banco de dados de materiais dentro das características e particularidades da indústria da construção e mercado nacional. Desta maneira, este trabalho, além de contribuir para a caracterização do modelo de informação para uso de diferentes ferramentas de simulação durante a etapa de concepção da implantação de HIS, impulsiona o aperfeiçoamento do uso de *Building Modeling Information* (BIM) em projetos e o aumento do uso de ferramentas de simulação e tecnologia da informação na construção na etapa de concepção do projeto.

A experiência da aplicação do jogo demonstrou, apesar das limitações e restrição deste universo, a possibilidade de integração das análises de diferentes desempenhos através do uso da modelagem de informação e simulação computacional na etapa de concepção do projeto de HIS. Nesse estudo, todos os participantes foram professores e pesquisadores nas áreas de conforto térmico, conforto acústico, conforto luminoso, conservação de recursos materiais, conservação de água e acessibilidade. Portanto, cabe ressaltar que o modelo explica uma realidade genérica, sendo assim, diferenciações começam a surgir à medida que casos específicos são aplicados. Todavia, o método pode ser usado para guiar a iteração de um dado grupo de especialistas em projeto de edificações com ênfase em desempenho ambiental, além de servir como metodologia de ensino colaborativo em ateliês de projeto.

Uma contribuição importante dá-se devido à demonstração de que a utilização da simulação na etapa de concepção é capaz de apoiar a tomada de decisão e pode proporcionar um estímulo criativo quando utilizada de maneira integrada pela colaboração de diferentes áreas de desempenho. Podendo assim ser promovida em qualquer ambiente cuja ênfase seja dada ao desempenho ambiental do projeto de edificações.

A partir deste trabalho, sugerem-se novos estudos como a aplicação da metodologia de sequenciamento no processo de projeto, integração e interação computacional das análises, a aferição do número de iterações e sua eficiência, além da identificação do sequenciamento em diferentes tipologias (escolas, edifícios comerciais, entre outros) e, por fim, o desenvolvimento de



ferramentas capazes de avaliar simultaneamente o impacto das decisões durante o processo de projeto em diferentes desempenhos.





REFERÊNCIAS

AGENDA 21 Capítulo 18. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em:

www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/_arquivos/cap18.pdf. Acesso em: abril, 2012.

ALUCCI, M. P. **TAO**: uma metodologia para a implantação de edificação. Ênfase no desempenho térmico, acústico e energético. 145f. Tese (livre docência) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

ANDRADE, M. L. V. X.; RUSCHEL, R. C. BIM: Conceitos, cenário das pesquisas publicadas no Brasil e Tendências. Anais do Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no **Ambiente Construído** - IX Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios. São Carlos, 2009a.

ANDRADE, M. L. V. X.; RUSCHEL, R. C. Interoperabilidade entre Archicad e Revit por meio do formato IFC. IV **TIC** Rio de Janeiro, 2009b.

ANDRADE, M. L. V. X. **Projeto Performativo na prática arquitetônica recente**: estrutura conceitual. Campinas, 2012. 399p. Tese (doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5413 Iluminância de Interiores**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, maio 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152 – Níveis de ruído para conforto acústico**. (Incorpora a Errata de JUN 1992). Rio de Janeiro, março de 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151 – Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade** – Procedimento. (Incorpora a Errata de JUN 2003). Rio de Janeiro, julho de 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050 – Acessibilidade a edificações, mobiliários e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro, junho de 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho**. Partes 1, 2, 3, 4, 5 e 6. Rio de Janeiro, fevereiro de 2013.



ATTIA, S. Building Performance Simulation Tools: Selection Criteria and User Survey. **Architecture at climat**, Université Catholique de Louvain, Louvain La Neuve, 2010.

ATTIA, S., HENSEN, J., HERDE, A., BELTRÁN, L., "Architect Friendly": A comparison of ten different building performance simulation tools. **IBPSA Conference Glasgow**, Scotland July 27-30, 2009.

Autodesk ECOTECH Analysis. Disponível em: < <http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/>>. Acesso em: maio, 2012.

Autodesk Project VASARI. Disponível em: < <http://labs.autodesk.com/utilities/vasari/>>. Acesso em: maio, 2012.

BARTAK, M. et al. An approach to teaching and research of simulation for environmental engineering design. In: **ADVANCED ENGINEERING DESIGN**, 3., 2003, Proceedings... , 2003.

BASTIAN/CadnaA. Disponível em: <<http://www.datakustik.com/en/navitop/home/>> Acesso em: abril,2012

Boas práticas para habitação mais sustentável / coordenadores Vanderley Moacyr John, Racine Tadeu Araújo Prado, **Caixa Econômica Federal**. São Paulo : Páginas & Letras - Editora e Gráfica, 2010. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Selo_Casa_Azul_CAIXA_versao_web.pdf. Acesso em: abril/2012.

BORGES, C. A. M; SABBATINI, F. H. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. - São Paulo: EPUSP, 2008. 19 p. - (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/515)

BROWN, G.Z.; DEKAY, Mark. **Sol, Vento & Luz**: estratégias para o projeto de arquitetura. 2.ed. São Paulo: Bookman, 2004.

BUENO, Cristiane; FABRICIO, Marcio M.; ROSSIGNOLO, João A. avaliação de ciclo de vida de componentes construtivos como ferramenta de decisão no processo de projeto. Anais do 2º Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído – **SBPQ** – Rio de Janeiro, 2011, p.685-696.



CARVALHO, D. M. **Os princípios da forma e a análise de projetos arquitetônicos**. 351f. Tese (doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007.

CHVATAL, K. M. S.; LABAKI, L. C.; KOWALTOWSKI, D. C.C.K. Estudo do Clima de Campinas: a dificuldade de caracterização e proposição de recomendações de projeto para climas composto. In: **ENTAC 2000 - VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 2000, Salvador, BA. Anais do ENTAC 2000. Salvador : ANTAC, 2000. v. 2. p. 1274-1282.

CIB - INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION. **Working with the Performance Approach in Building**. Rotterdam, 1982.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações**. 3 ed. São Paulo: Leonardo Chwif, 2010. 320p.

CRAWLEY, D. B. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. In: **Building and Environment**, 43: 661-663, 2008.

Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental – **CETESB** – Ruído:
<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/Emissao-Veicular/18-Ruido> (29/02/2012)

DAYSIM. Disponível em: <<http://www.daysim.com/index.html>>. Acesso em: maio, 2012.

DELBIN, S. **Inserção de simulação computacional de conforto ambiental de edifícios em ensino de projeto arquitetônico**: proposta metodológica. 220p. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2006.

Desktop RADIANCE. Disponível em: < <http://radsite.lbl.gov/deskrad/>>. Acesso em: maio, 2012.

DIDONÉ, E. L.; PEREIRA, F.O.R. Simulação computacional integrada para a consideração de luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 139-154, out./dez. 2010.



EASE 4.3. Disponível em: <http://www.renkus-heinz.com/ease/ease_intro/intro_about_ease.html> Acesso: maio,2012.

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. **Bim Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors.** Hoboken (NJ): John Wiley & Sons, 2008.

ENVESTII. Disponível em: <<http://investv2.bre.co.uk/>>. Acesso em: abril, 2012.

FABRÍCIO, M. M. **Projeto simultâneo na construção de edifícios.** São Paulo: EPUSP, 2002. (Tese de Doutorado)

FERREIRA, José V. R. **Análise do ciclo de vida dos produtos.** Instituto Politécnico de Viseu, 2004. Disponível em: <http://www.estv.ipv.pt/paginaspessoais/jvrf/gest%C3%A3o%20ambiental%20-%20an%C3%A1lise%20de%20ciclo%20de%20vida.pdf>. Acesso em: abril, 2012.

FIGUEIREDO, Francisco Gitahy de and SILVA, Vanessa Gomes da. **Processo de Projeto Integrado e desempenho ambiental de edificações:** os casos do SAP Labs Brazil e da Ampliação do CENPES Petrobras. *Ambient. constr.* [online]. 2012, vol.12, n.2, pp. 97-119

GIANNANTONI, C. et al. "Multicriteria approach for the improvement of energy systems design", **Energy**, 30: p. 1989-2016, 2005.

GIBSON, E.J., Coord., **Working with the performance approach in building.** Rotterdam. CIB W060. 1982. (CIB State of the Art Report n. 64).

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GONÇALVES, W. B. et al. Estudo de zoneamento bioclimático para o estado de minas gerais com base nas tabelas de Mahoney - considerações sobre a metodologia e resultados preliminares. In: **ENCAC - COTEDI**, Curitiba , p. 241-248, novembro, 2003.

HOLM, D. "Building thermal analyses: what the industry needs: the architect's perspective", **Building and Environment**, 28 (4): p. 405-407, 1993.



HUI, S. C. M., 1998. Simulation based design tools for energy efficient buildings in Hong Kong, Hong Kong Papers in **Design and Development**, Vol. 1, 1998, pp. 40-46, Department of Architecture, University of Hong Kong.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **IBGE** – Censo Demográfico 2010: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados_preliminares_amostra/default_resultados_preliminares_amostra.shtm (01/03/2012).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **IBGE** – Censo Demográfico 2000: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/default_censo_2000.shtm (01/03/2012).

ILHA, Marina S. O. **Conservação de água em edifícios**. Apresentação LEPIS-FEC. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Universidade Estadual de Campinas, 2008.

JOHN, Vand AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – **ANA** – Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, 2011: <http://conjuntura.ana.gov.br/conjuntura/>. Acesso em: abril, 2012.

JOHN, V. M.; OLIVEIRA, Daniel P.; LIMA, José A. R. Levantamento do estado da arte: seleção de Materiais. *In*: Habitação mais sustentável: Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável - **Projeto Finep 2386/04**. São Paulo, 2007.

JONES, J. C. A method of systematic design. In JONES, J. C.; THORNLEY, D. G. (ed.) **Conference on design methods**. Oxford: Pergamon Press, 1963. p.53-73. [1962]

KALAY, Y, E. “Performance-based design”, **Automation in Construction**, 8: p. 395-409, 1999.

KALAY, Y. E. **Architecture’s New Media**: Principles, Theories, and Methods of Computer-Aided Design. London: MIT Press, 2004. 536p.

KOLAREVIC, B.; MALKAWI, A. M. **Performative Architecture: beyond instrumentality**. New York: Spon Press, 2005. p. 86-95.

KOWALTOWSKI, D. C.C.K.; LABAKI, L. C.; RUSCHEL, R. C.; BERTOLI, S. R.; PINA, S. A. Mikami. G. **Melhoria do Conforto Ambiental em Edificações Escolares de Campinas-SP**. Relatório Científico. Projeto de Pesquisa FAPESP, 2001.



KOWALTOWSKI, D. et al. Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 07-19, abr./jun. 2006.

LAMBERTS, R.; TRIANA, M.A. Levantamento do estado da arte: energias. *In*: Habitação mais sustentável: Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável - **Projeto Finep 2386/04**. São Paulo, 2007.

LAWSON, B. **How designers think**: the design process demystified. 4 ed. Oxford: Elsevier/Architectural, 2005.

LBNL (2002). **Desktop Radiance**: User Manual. Lawrence Berkeley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Division, Building Technologies Department. Disponível em: < <http://radsite.lbl.gov/deskrad/intro.html> >. Acesso em: maio, 2012.

MARSH, A. J. **Performance Analysis and conceptual design**. Western Australia, 1997. Thesis (doctor). University of Western Australia - School of Architecture and Fine Arts.

MALKAWI, A. M., AUGENBROE, G. **Advanced Building Simulation**. New York: Spon Press, 2004.

MANUAL DE CONSERVAÇÃO E REUSO DA ÁGUA EM EDIFICAÇÕES. São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/municipioverdeazul/DiretivaHabitacaoSustentavel/ManualConservacaoReusoAguaEdificacoes.pdf>. Acesso em: abril, 2012.

MATHEWS, E. H. and Richards, P. G. "An efficient tool for future building design", **Building and Environment**, 28 (4): 409-417, 1993.

MATOS, M. P. et al. Ruído Riscos e Prevenção. São Paulo: Ed. Hucitec, 1994. p. 35-38.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; NETO, J.A.B.C. Uso de instrumentos computacionais para análise de desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 47-68, out./dez. 2005.



MENDES, N.; WESTPHAL, F.; LAMBERTS, F.; CUNHA NETO, J. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do **Ambiente Construído** (ANTAC), v. 5, n. 4, p. 47-68, out./dez. 2005.

MELHADO, S. B. **Gestão, cooperação e integração para um novo modelo voltado à qualidade do processo de projeto na construção de edifícios**. São Paulo, 2001. Tese (livre-docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MOREIRA, D.C. **Os princípios da síntese da forma e a análise de projetos arquitetônicos**. 350p. Tese (doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007.

NAYLOR, Thomas H., BALINTFY, Joseph L., BURDICK, Donald S., CHU, Kong. **Computer Simulation Techniques**. John Wiley & Sons, New York, 1966. 352p.

ODEON. Disponível em: < <http://www.odeon.dk/>>. Acesso em: maio, 2012.

OLIVEIRA, Lucia H.; ILHA, Marina S. O.; GONÇALVES, Orestes M.; YASHIMA, Laís; REIS, Ricardo P. A. Levantamento do estado da arte: Água. Projeto Tecnologias para a construção mais sustentável, **Projeto FINEP 2386/04**. São Paulo, 2007.

OXMAN, R. Performance-based Model in Digital Design: PER-FORMATIVE-design Beyond Aesthetic. **Architectural Engineering and Design Management**, [S.I.], v. 3, 2007, p. 169-180.

OXMAN, R. Performance based Design: Current Practices and Research Issues. **IJAC International Journal of Architectural Computing**, v.6 Issue 1, 2008, pp. 1-17. (Expanded and modified version of prior paper - emphasizing current practices).

PAPAMICHAEL, K. M. **Design Process and Knowledge Possibilities and Limitations of Computer-Aided Design**, Tese (PhD), University of California, Berkeley, 1991.

PEREIRA, R.; PEREIRA, F. O. R.; CLARO, A.; SOUZA, L. P. F. Metodologia para avaliação de ferramentas de simulação da iluminação natural através de mapeamento digital de iluminâncias. **ENCAC – IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Ouro Preto, 2007.



PETERSEN, S., SVENDSEN, S. “Method and simulation program informed decisions in the early stages of building design”, **Energy and Buildings**, v.42, n., p.1113-1119, 2010.

PIMENTEL, S. F. Efeitos do ruído estressante. Anais da 49a. Reunião Anual da **SBPC**, vol.1, 1997. Disponível em: <http://www.icb.ufmg.br/lpf/2-22.html>. Acesso em 28/02/2012.

Prefeitura do Município de São Paulo - Secretaria Municipal da pessoa com deficiência e mobilidade reduzida. **SMPED** – Programas e Serviços:
http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/pessoa_com_deficiencia/programas_e_servicos/index.php?p=12359 (04/04/2012).

RAUEN, Fábio José. **Elementos de iniciação à pesquisa**. Rio do Sul, SC: Nova Era, 1999.

ROMANO, F. V. **Modelo de Referência para o gerenciamento do processo de projeto integrado de edificações**. 381f . Tese (doutorado) – Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

ROSSO, T. **Racionalização da construção**. São Paulo: FAUUSP, 1980.

RUSCHEL, R. C.; *et al.* Laboratório de acesso remoto no contexto de desempenho e avaliação pós-ocupação das edificações. ENTAC, 2006.

RUSCHEL, R. C. **Conjunto da Produção Científica**. Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2009.

RUSCHEL, R. C. ; ANDERY, Paulo Roberto Pereira ; MOTTA, Silvio Romero Fonseca ; VEIGA, Ana Cecília Nascimento . Building Information Modelling para projetistas.. In: FABRICIO, Marcio Minto; ORNSTEIN, Sheila Wlabe. (Org.). **QUALIDADE NO PROJETO DE EDIFÍCIOS**.. 1a ed. São Carlos: RIMA-ANTAC, 2010, v. , p. 137-162.

SANTOS, Daniel C.; LOBATO, Marllon B.; VOLPI, Neide M. P.; BORGES Luciana Z. , Hierarquização de medidas de conservação de água em edificações residenciais com auxílio da análise multicritério. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 31-47, jan./mar, 2006.



SANTOS, Ubiratan P. S. Exposição a Ruído: Avaliação de Riscos, Danos à Saúde e **Prevenção**. In.: SOUZA, Ubiraci E. L.; DEANA, Davidson F. Levantamento do estado da arte: consumo de materiais. *In: Habitação mais sustentável: Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável - Projeto Finep 2386/04*. São Paulo, 2007.

SOEBARTO, V.I., WILLIAMSON, T. J. “Multi-criteria assessment of building performance theory and implementation”, **Building and Environment**, v.36, p.681-690, 2001.

SONArchitect. Disponível em: <<http://www.soundofnumbers.net/index.php>>. Acesso em: abril,2012

SOLIBRI MODEL CHECKER: Disponível em: <<http://www.solibri.com/solibri-model-checker.html>> Acesso em: abril,2012

SMITH, Dana K.; TARDIF, Michael. **Building Information Modeling: A Strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Asset Managers**. Hoboken (NJ): John Wiley & Sons, 2009.

STRUCK, C., HENSEN, J. “On supporting design decisions in conceptual design addressing specification uncertainties using performance simulation”, Proceedings: **Building Simulation**, 2007.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas , 1987.

WESTPHAL, F. S. **Análise de incertezas e de sensibilidade aplicadas à simulação de desempenho energético de edificações comerciais**. 131p. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

WILLIAMS, B.K.; SAWYER. S.C. **Using Information Technology: a practical introduction to computers and communications**. 7a. Ed. McGraw-Hill – Irwin, 2007. 554 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Guidelines for Community Noise**. Geneva, 2000.



WOOD, H.; GIDADO, K. Project complexity in construction. In: **Proceedings of The construction and building research conference of the Royal Institution of Chartered Surveyors – COBRA-2008**, Dublin, 2008.

YEZIORO, A. et al. An applied artificial intelligence approach towards assessing building performance simulation tools. *In: **Energy and Buildings***, 40:p.612-620, 2008.

YIN, Robert K. **Case study research: design and methods**. Newbury Park: Sage, 1990.



APÊNDICES



Apêndice A – Questionário



Este questionário faz parte da pesquisa de mestrado que será submetida à Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP.

Agradeço sua participação!

* Required

Formação *

- Arquitetura
- Engenharia
- Other:

Dos softwares de modelagem CAD/3D, qual/quais você utiliza? *

- Viz
- Rhino
- FormZ
- Maya
- ArchiCad
- Bentley Architecture
- Revit Suite
- Sketchup
- Digital Project
- AutoCAD
- Outros

Das ferramentas de análise/simulação, qual/quais você utiliza? *

- Ecotect
- ESP-r
- Design Builder
- gBXML
- eQUEST
- Energy-10
- Energy+
- Radiance
- Odeon
- Bastian
- Invest II



- Solibri
- Other:

Ferramentas de análise/simulação de desempenho são capazes de, durante a fase cognitiva do processo de projeto, promover a inovação de soluções e a melhoria da qualidade do projeto? *

- Sim
- Não

Se sim, o uso de ferramentas de simulação/análise do desempenho no projeto são capazes de promover:

um ou mais

- teste/avaliação de soluções
- auxílio da tomada de decisão
- maior assertividade das soluções
- antecipação de conflitos
- diminuição dos erros
- Other:

Quais tipologias você frequentemente simula? *

um ou mais

- Residencial
- Institucional
- Comercial
- Serviços
- Other:

Na maior parte das vezes, você simula: *

- ambientes internos
- ambientes externos
- ambos

Na maior parte das vezes, você simula: *

um ou mais

- Iluminação Natural/Artificial
- Uso de água (estimativa e custo)
- Ciclo de Vida
- Desempenho Acústico
- Desempenho Térmico
- Eficiência Energética



- Desempenho Funcional
- Sistemas HVAC
- Other:

Quais critérios de usabilidade/gerenciamento das informações são importantes em uma ferramenta de simulação de desempenho? *

um ou mais

- Interface amigosa aos usuários
- Facilidade de utilização/curto período de curva de aprendizado
- Fácil navegação e organização das informações
- Modelabilidade
- Representação gráfica dos resultados
- Facilidade de introduzir dados de entrada
- Other:

Quanto à capacitação e utilização, quais itens são importantes? *

um ou mais

- Treinamentos especializados
- Custo das ferramentas
- Disponibilidade/facilidade de aquisição por estudantes
- Tempo de aprendizado necessário
- Other:

Você considera importante: *

um ou mais

- Criação de relatórios comparativos entre alternativas
- Controle de qualidade dos dados de entrada
- Pressupostos e valores padrões dos dados de entrada
- Armazenamento de dados flexíveis e passíveis de customização
- Simplicidade na entrada dos dados, revisão e modificação dos parâmetros
- Other:

Que outras características deveriam ser consideradas quanto à usabilidade e gerenciamento das informações?



São fundamentais para a simulação do desempenho da edificação? *

um ou mais

- Parâmetros de conformidades normativas
- Parâmetros de conformidade de sistemas de certificação (LEED, Aqua)
- Dados climáticos
- Bibliografia extensiva de componentes e sistemas da construção
- Suporte e treinamento on-line das ferramentas
- Other:

São fundamentais para a ferramenta de simulação: *

um ou mais

- Fornecer análises rápidas de suporte à tomada de decisão
- Permitir analisar a incerteza de parâmetros essenciais
- Analisar as características climáticas e fornecer estratégias de projeto
- Compreender mais de um estágio das fases do projeto
- Other:

Quais características deveriam ser consideradas quanto à integração da base de dados?

Qual critério de assertividade é fundamental à uma ferramenta de simulação? *

- Resultados precisos e reais
- Validade das simulações
- Controle das incertezas
- Alta resolução gráfica do modelo

Quanto à habilidade de simular componentes complexos é fundamental: *

- Permitir complexas estratégias de projeto
- Simular energia renovável
- Avaliar emissões associadas à energia de consumo
- Permitir avaliar custos do consumo de energia e do ciclo de vida
- Permitir simulações de diferentes tipologias de edificação

Que outras características deveriam ser consideradas quanto à assertividade e possibilidade de simulações complexas? *



Quais recursos são importantes para a utilização de ferramentas de simulação? *

um ou mais

- Importação/Exportação entre programas CAD
- Importação/Exportação entre programas BIM
- Importação/Exportação entre programas de simulação
- Capacidade de simulação de diferentes desempenho frente ao mesmo modelo

Quais são os tipos de formatos mais utilizados no intercâmbio de informações entre ferramentas de modelagem e simulação? *

um ou mais

- MOD
- 3DS
- OBJ
- XML
- DXF
- DWG
- IFC
- Arquivos proprietários (.rvt, .eco)
- Outros

Quais outras características ou recursos deveriam ser consideradas quanto à interoperabilidade de ferramentas de modelagem e simulação?

Qual característica você considera mais importante na escolha de uma ferramenta de simulação? *

- Usabilidade/ Gerenciamento das informações
- Integração com base de dados e das ferramentas ao processo de projeto
- Assertividade e habilidade de simular componentes complexos
- Interoperabilidade



A2. Tabulação dos Resultados

Formação

Arquitetura	76%
Engenharia	16%
Other	8%

Dos softwares de modelagem CAD/3D, qual/quais você utiliza?

Viz	0%
Rhino	3%
FormZ	0%
Maya	0%
ArchiCad	11%
Bentley Architecture	0%
Revit Suite	21%
Sketchup	71%
Digital Project	0%
AutoCAD	89%
Outros	11%

Das ferramentas de análise/simulação, qual/quais você utiliza?

Ecotect	37%
ESP-r	0%
Design Builder	37%
gBXML	0%
eQUEST	3%
Energy-10	0%
Energy+	29%
Radiance	26%
Odeon	0%
Bastian	0%
Envest II	0%
Solibri	0%
Other	66%



Ferramentas de análise/simulação de desempenho são capazes de, durante a fase cognitiva do processo de projeto, promover a inovação de soluções e a melhoria da qualidade do projeto?

Sim	97%
Não	3%

Se sim, o uso de ferramentas de simulação/análise do desempenho no projeto são capazes de promover:

teste/avaliação de soluções	73%
auxílio da tomada de decisão	73%
maior assertividade das soluções	49%
antecipação de conflitos	65%
diminuição dos erros	51%
Other	11%

Quais tipologias você frequentemente simula?

Residencial	74%
Institucional	50%
Comercial	53%
Serviços	29%
Other	0%

Na maior parte das vezes, você simula:

ambientes internos	76%
ambientes externos	11%
ambos	18%

Na maior parte das vezes, você simula:

Iluminação Natural/Artificial	79%
Uso de água (estimativa e custo)	0%
Ciclo de Vida	0%
Desempenho Acústico	18%
Desempenho Térmico	66%
Eficiência Energética	53%
Desempenho Funcional	0%
Sistemas HVAC	11%
Other	3%



Quais critérios de usabilidade/gerenciamento das informações são importantes em uma ferramenta de simulação de desempenho?

Interface amigosa aos usuários	62%
Facilidade de utilização/curto período de curva de aprendizado	51%
Fácil navegação e organização das informações	43%
Modelabilidade	54%
Representação gráfica dos resultados	57%
Facilidade de introduzir dados de entrada	73%
Other	16%

Quanto à capacitação e utilização, quais itens são importantes?

Treinamentos especializados	54%
Custo das ferramentas	49%
Disponibilidade/facilidade de aquisição por estudantes	49%
Tempo de aprendizado necessário	65%
Other	5%

Você considera importante:

Criação de relatórios comparativos entre alternativas	62%
Controle de qualidade dos dados de entrada	46%
Pressupostos e valores padrões dos dados de entrada	24%
Armazenamento de dados flexíveis e passíveis de customização	49%
Simplicidade na entrada dos dados, revisão e modificação dos parâmetros	78%
Other	0%

São fundamentais para a simulação do desempenho da edificação?

Parâmetros de conformidades normativas	62%
Parâmetros de conformidade de sistemas de certificação (LEED, Aqua)	32%
Dados climáticos	92%
Bibliografia extensiva de componentes e sistemas da construção	49%
Suporte e treinamento on-line das ferramentas	35%
Other	11%



São fundamentais para a ferramenta de simulação:	
Fornecer análises rápidas de suporte à tomada de decisão	78%
Permitir analisar a incerteza de parâmetros essenciais	34%
Analisar as características climáticas e fornecer estratégias de projeto	62%
Compreender mais de um estágio das fases do projeto	41%
Other	5%

Qual critério de assertividade é fundamental à uma ferramenta de simulação?	
Resultados precisos e reais	48%
Validade das simulações	65%
Controle das incertezas	30%
Alta resolução gráfica do modelo	14%

Quanto à habilidade de simular componentes complexos é fundamental:	
Permitir complexas estratégias de projeto	62%
Simular energia renovável	19%
Avaliar emissões associadas à energia de consumo	11%
Permitir avaliar custos do consumo de energia e do ciclo de vida	35%
Permitir simulações de diferentes tipologias de edificação	70%

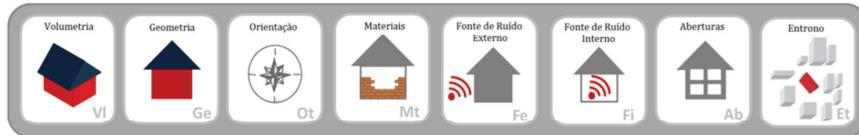
Quais recursos são importantes para a utilização de ferramentas de simulação?	
Importação/Exportação entre programas CAD	84%
Importação/Exportação entre programas BIM	51%
Importação/Exportação entre programas de simulação	54%
Capacidade de simulação de diferentes desempenhos frente ao mesmo modelo	54%

Quais são os tipos de formatos mais utilizados no intercâmbio de informações entre ferramentas de modelagem e simulação?	
MOD	0%
3DS	34%
OBJ	13%
XML	16%
DXF	63%
DWG	55%
IFC	8%
Arquivos proprietários (.rvt, .eco)	16%
Outros	11%



Apêndice B – Jogo





Acústico

Ação

Com base no **resultado das simulações**, você deve definir a implantação que melhor atenda ao desempenho acústico.

Devem ser implantados:

- 01 - Quadra
- 10 - Edifícios Residenciais
- 01 - Reservatório

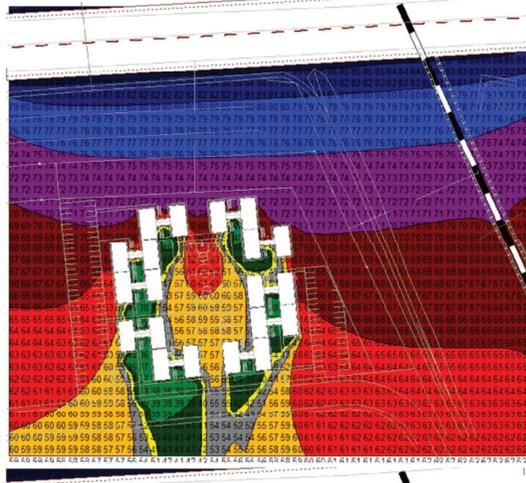


Campinas F | Escala 1:1250

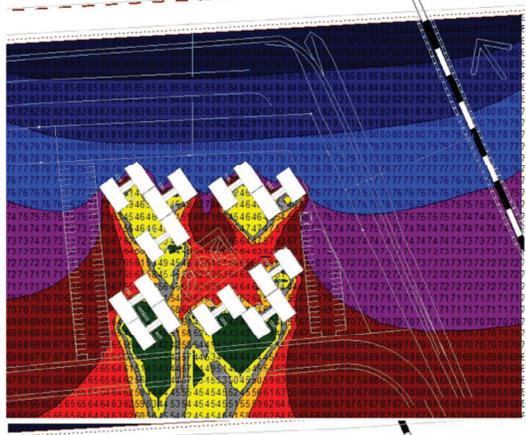


1B

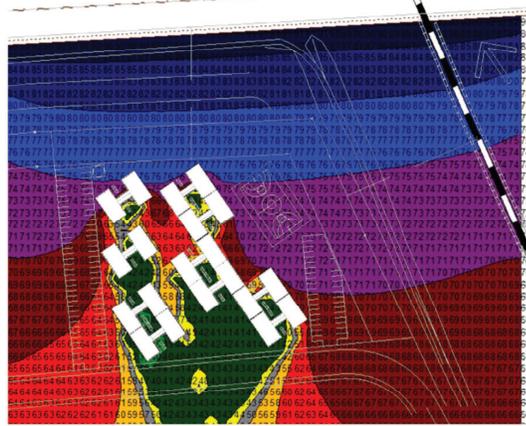
Simulação III



Simulação II



Simulação I



«A **acessibilidade** propõe a democratização do uso do espaço tendo enfoque não apenas em um tipo de usuário, mas inclusivo a diferentes perfis. Considerando que todos têm o direito de ter acesso a tudo.»

Acessibilidade

Ação

Com base no **conhecimento existente**, você deve definir a implantação que melhor atenda à acessibilidade.

Devem ser implantados:

- 01 - Quadra
- 10 - Edifícios Residenciais
- 01 - Reservatório



Campinas F | Escala 1:1250



Geometria



Ge

Volumetria



VI

Topografia



Tp

Materiais



Mt

Acessos



Ac

Aberturas



Ab

Acessibilidade

Ação

Com base no **resultado das simulações**, você deve definir a implantação que melhor atenda à acessibilidade.

Devem ser implantados:

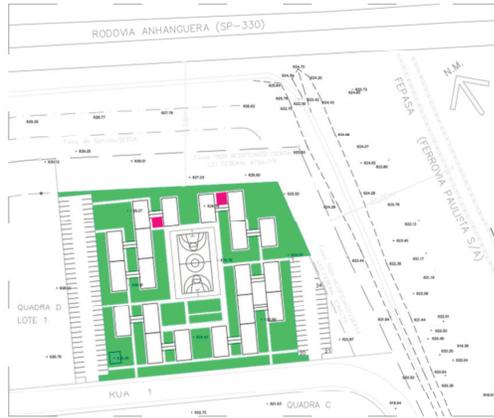
- 01 - Quadra
- 10 - Edifícios Residenciais
- 01 - Reservatório



Campinas F | Escala 1:1250



Cenário III



Cenário II



Cenário I



«A gestão do **consumo de água** objetiva a proposição de utilização da água de forma mais sustentável na definição dos sistemas de instalações hidro sanitárias em edificações multifamiliares.»

Consumo de Água

Ação

Com base no **conhecimento existente**, você deve definir a implantação que melhor atenda à redução do consumo de água.

Devem ser implantados:

- 01 - Quadra
- 10 - Edifícios Residenciais
- 01 - Reservatório



Campinas F | Escala 1:1250





Consumo de Água

Ação

Com base no resultado das simulações, você deve definir a implantação que melhor atenda à redução do consumo de água.

Devem ser implantados:

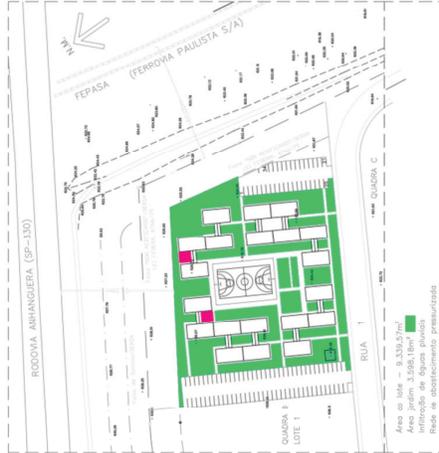
- 01 - Quadra
- 10 - Edifícios Residenciais
- 01 - Reservatório



Campinas F | Escala 1:1250



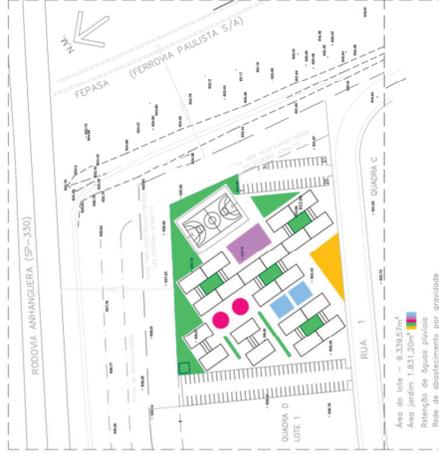
Cenário III



Cenário II



Cenário I



«Embora não haja **consumo de materiais** na etapa de projeto propriamente dito, pode-se neste momento influenciar diretamente o futuro consumo por metro quadrado construído.»

Consumo de Material

Ação

Com base no **conhecimento existente**, você deve definir a implantação que melhor atenda à redução do consumo de materiais.

Devem ser implantados:

- 01 - Quadra
- 10 - Edifícios Residenciais
- 01 - Reservatório



Campinas F | Escala 1:1250



Geometria



Ge

Volumetria



VI

Materiais



Mt

Consumo de Material

Ação

Com base no resultado das simulações, você deve definir a implantação que melhor atenda à redução do consumo de materiais.

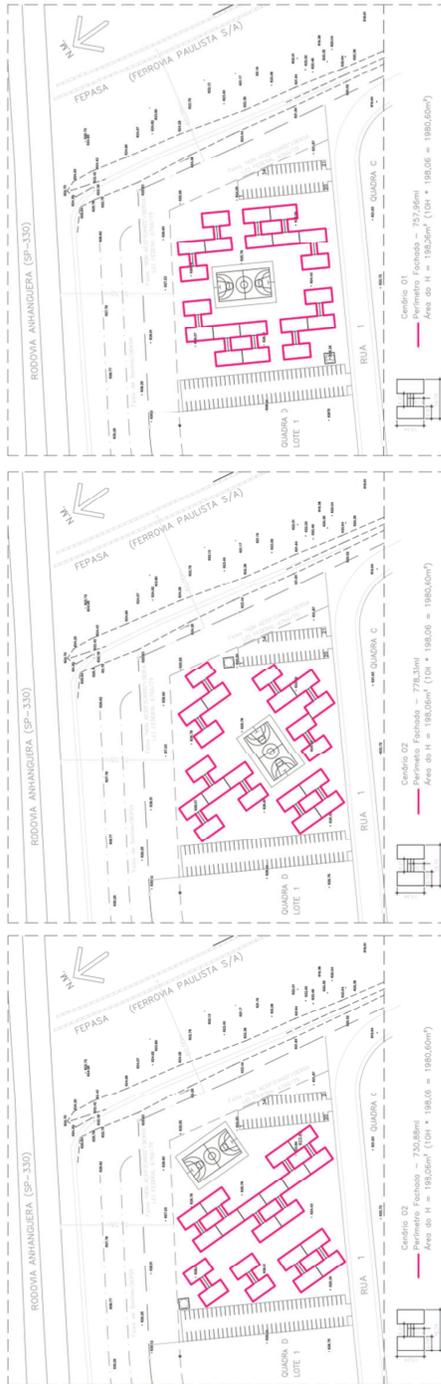
Devem ser implantados:

- 01 - Quadra
- 10 - Edifícios Residenciais
- 01 - Reservatório



Campinas F | Escala 1:1250





«O **desempenho luminoso**, além de garantir níveis de iluminância (lux) adequados à realização das atividades relacionadas a cada ambiente, é um fator importante em busca da eficiência energética da edificação e de extrema relevância para a saúde e bem estar dos usuários.»

Luminoso

Ação

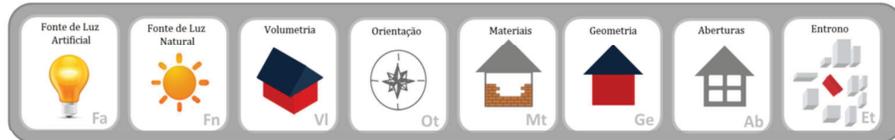
Com base no **conhecimento existente**, você deve definir a implantação que melhor atenda ao desempenho luminoso.

Devem ser implantados:
01 - Quadra
10 - Edifícios Residenciais
01 - Reservatório



Campinas F | Escala 1:1250





Luminoso

Ação

Com base no **resultado das simulações**, você deve definir a implantação que melhor atenda ao desempenho luminoso.

Devem ser implantados:
 01 - Quadra
 10 - Edifícios Residenciais
 01 - Reservatório

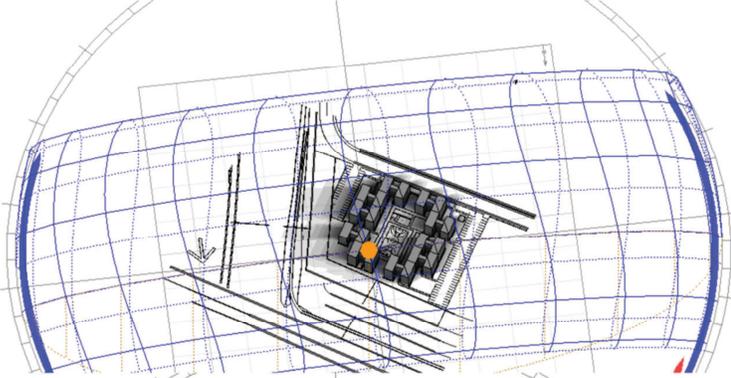


Campinas F | Escala 1:1250

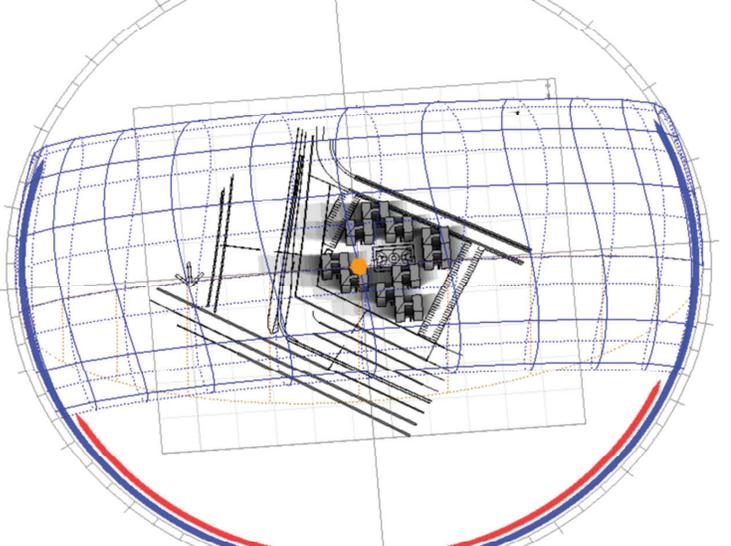


1B

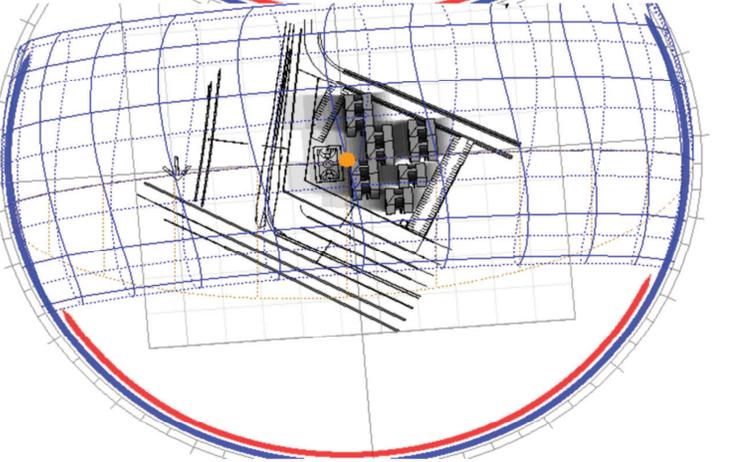
Simulação III



Simulação II



Simulação I



«O **desempenho térmico** de uma edificação resulta da interação entre condicionantes climáticas, uso do ambiente e resposta térmica da envoltória. A satisfação do usuário é refletida através da conjunção destas variáveis no atendimento às exigências térmicas com ou sem condicionamento artificial do ambiente, evitando-se o desconforto gerado pelo calor ou frio.»

Térmico

Ação

Com base no **conhecimento existente**, você deve definir a implantação que melhor atenda ao desempenho térmico.

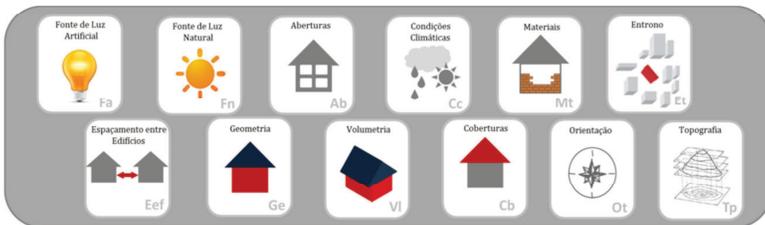
Devem ser implantados:

- 01 - Quadra
- 10 - Edifícios Residenciais
- 01 - Reservatório



Campinas F | Escala 1:1250





Térmico

Ação

Com base no resultado das simulações, você deve definir a implantação que melhor atenda ao desempenho térmico.

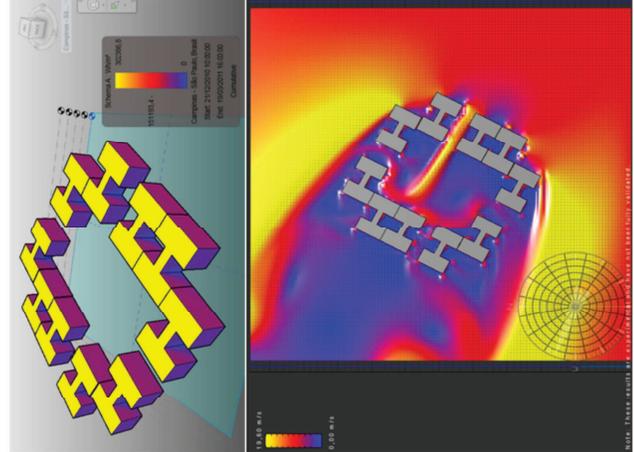
- Devem ser implantados:**
 01 - Quadra
 10 - Edifícios Residenciais
 01 - Reservatório



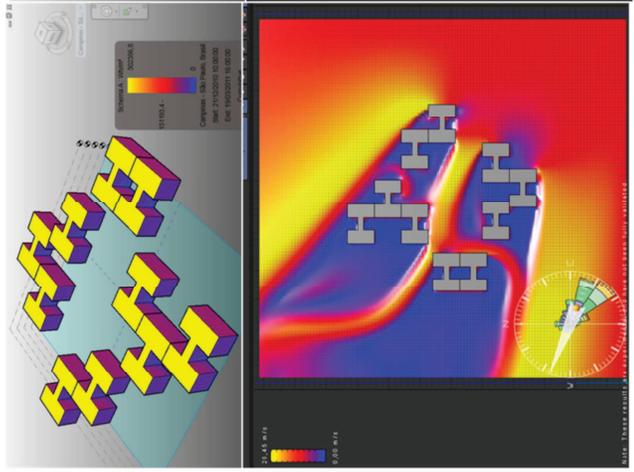
Campinas F | Escala 1:1250



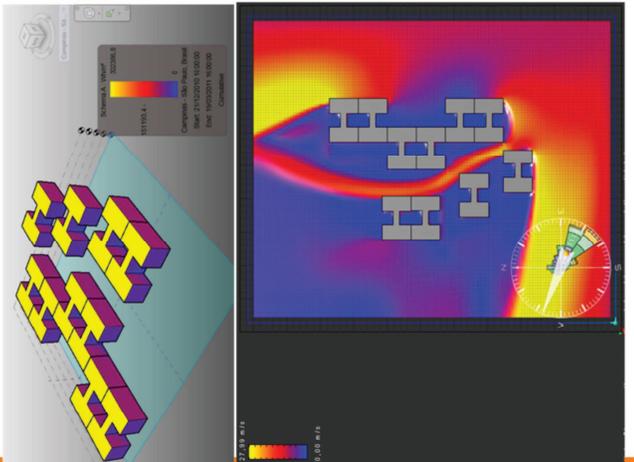
Simulação III



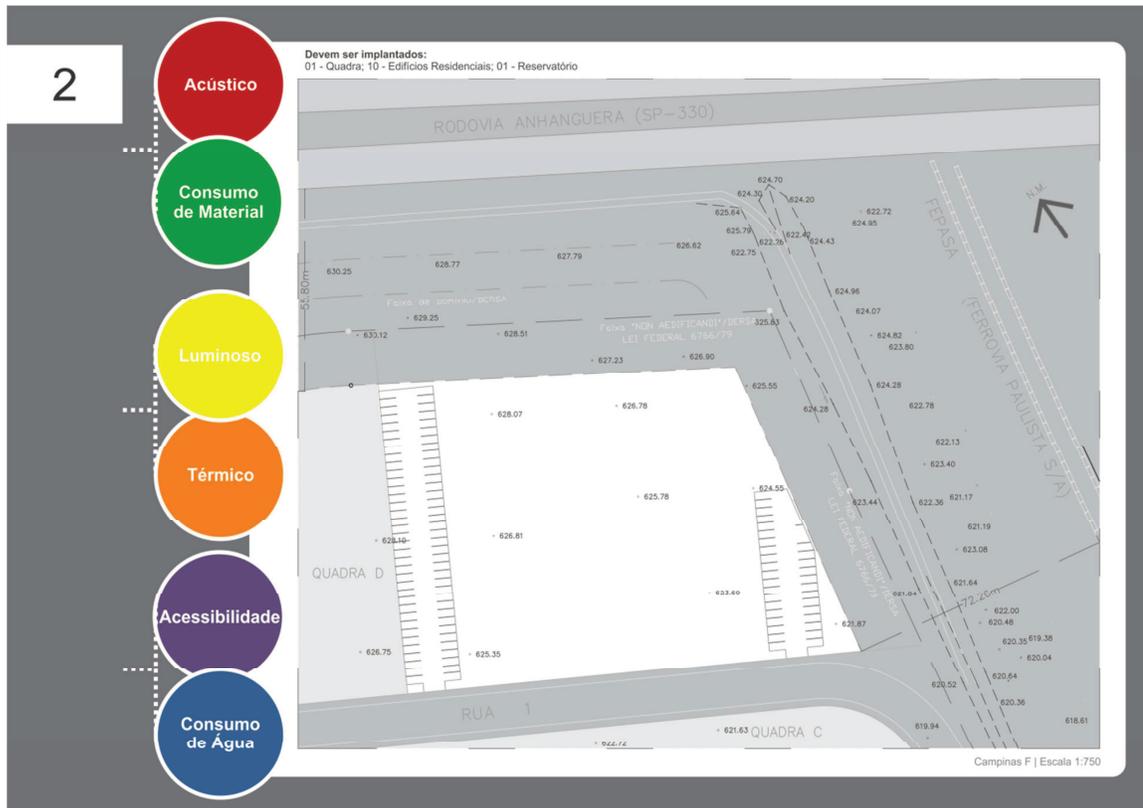
Simulação II



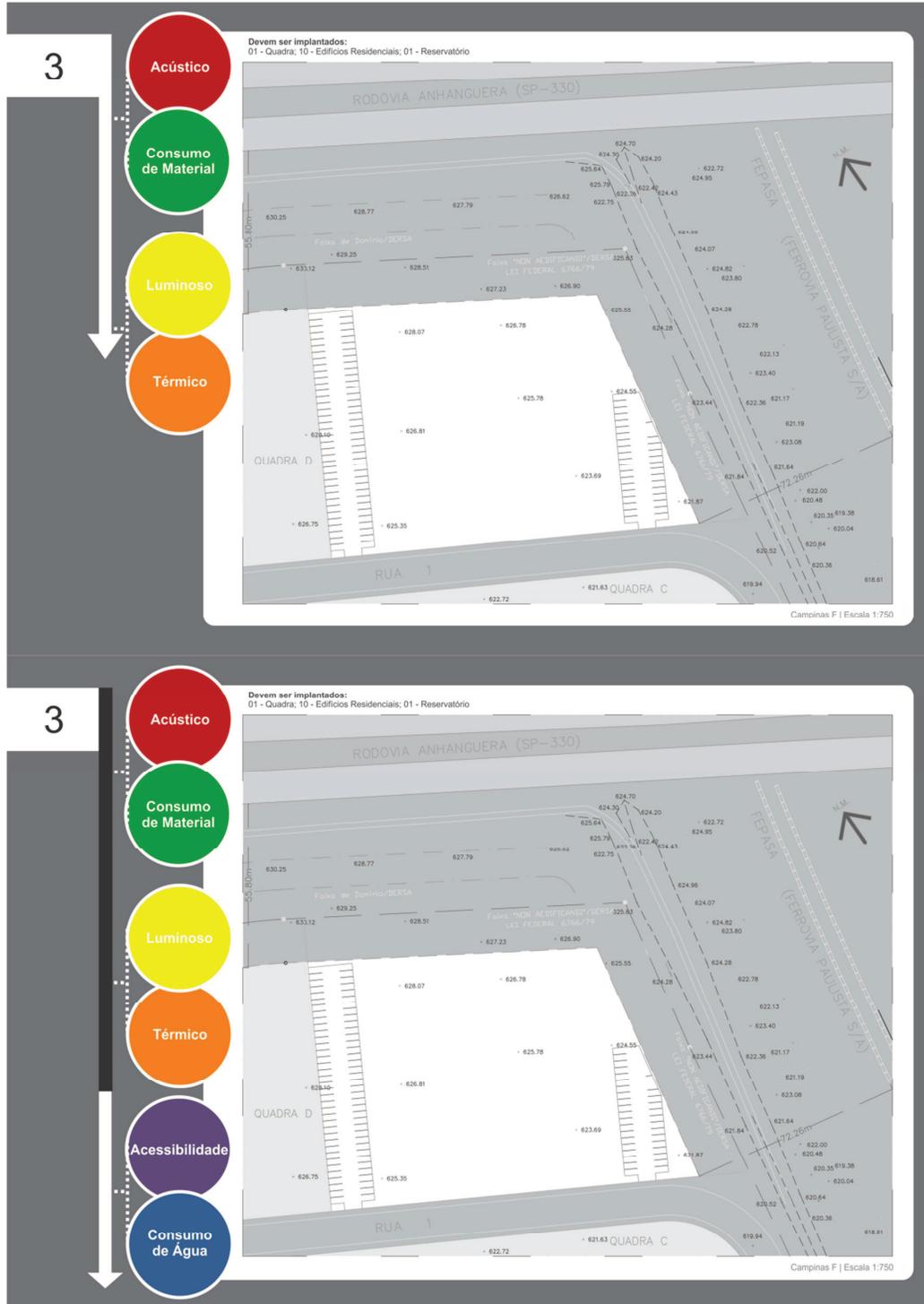
Simulação I



Ficha – Experimento 2 (formato original A3)

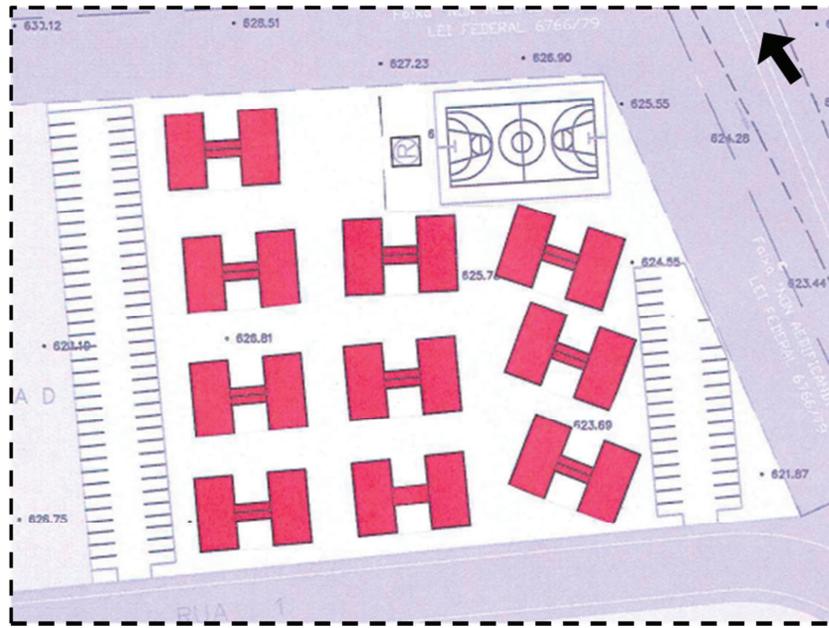


Fichas – Experimento 3 (formato original A3)

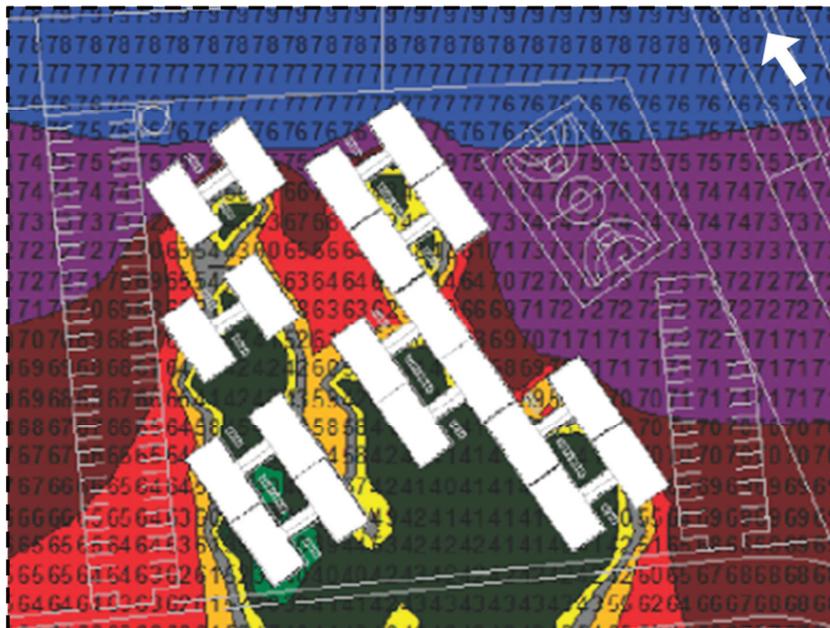


B2. Resultados

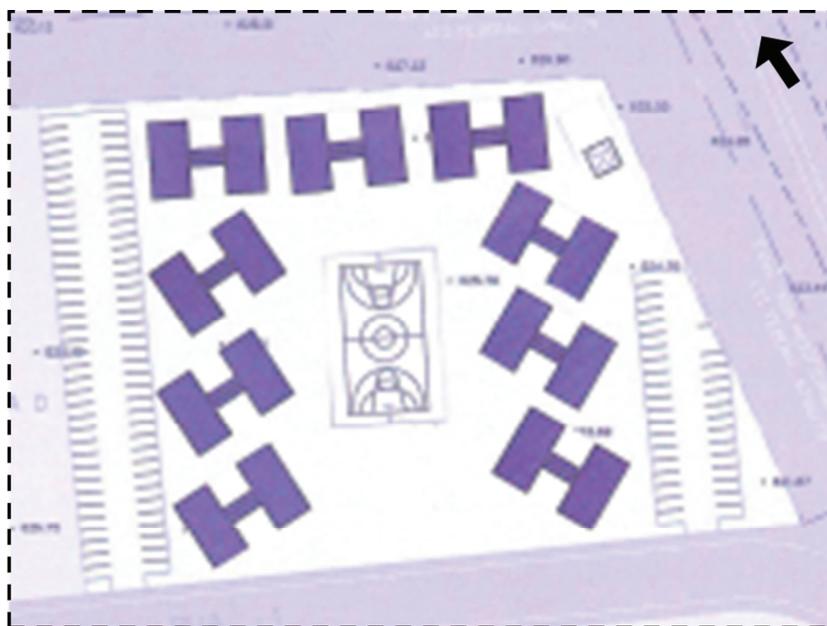
Experimento 1A – Acústico



Experimento 1B – Acústico



Experimento 1A – Acessibilidade

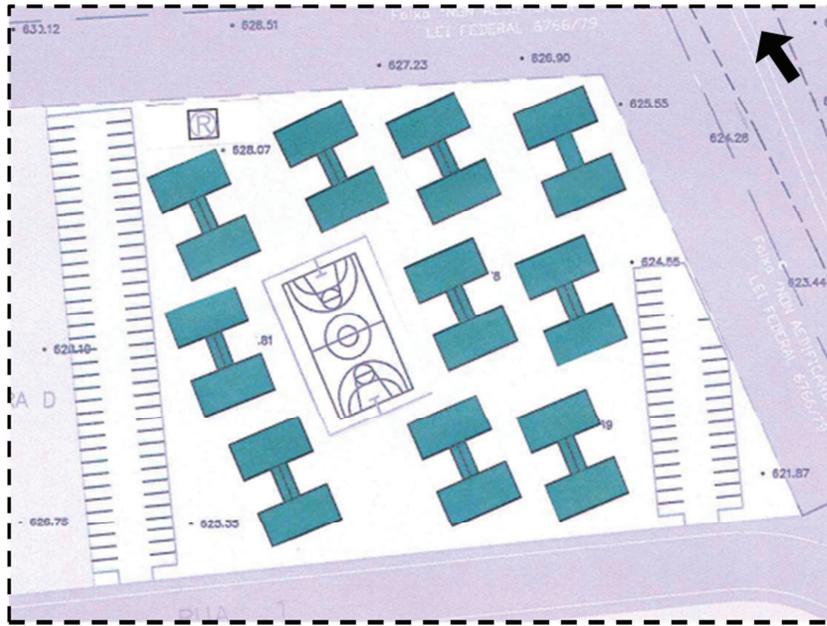


Experimento 1B – Acessibilidade

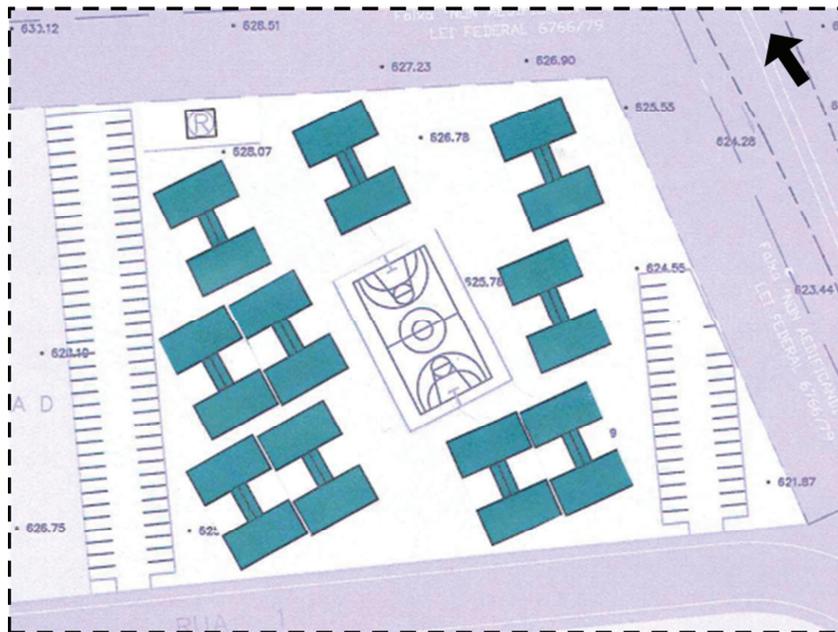


Experimento 1A – Consumo de Água

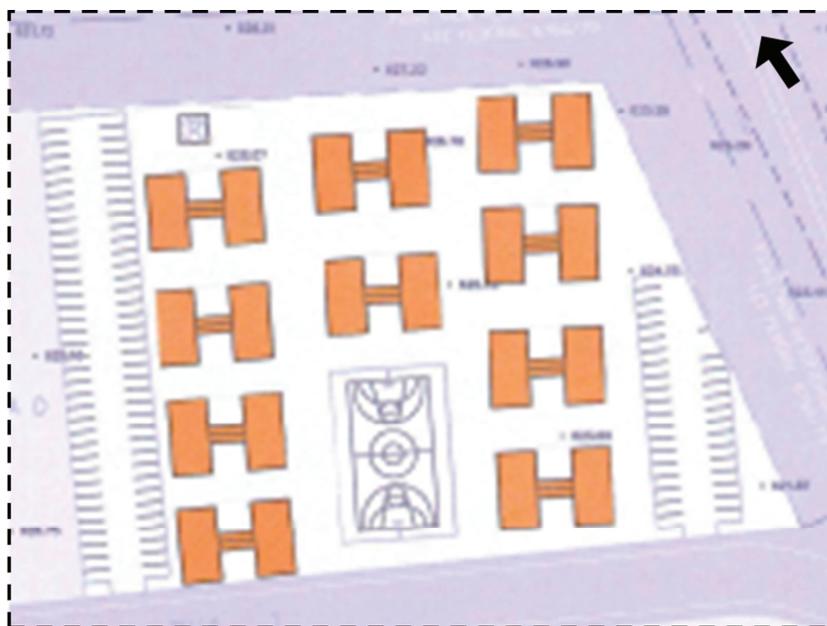




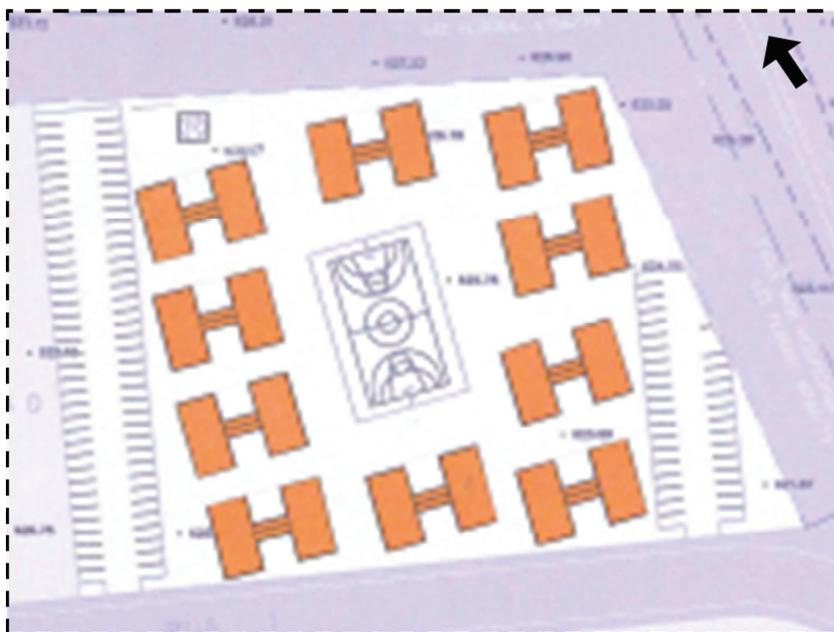
Experimento 1B – Consumo de Material



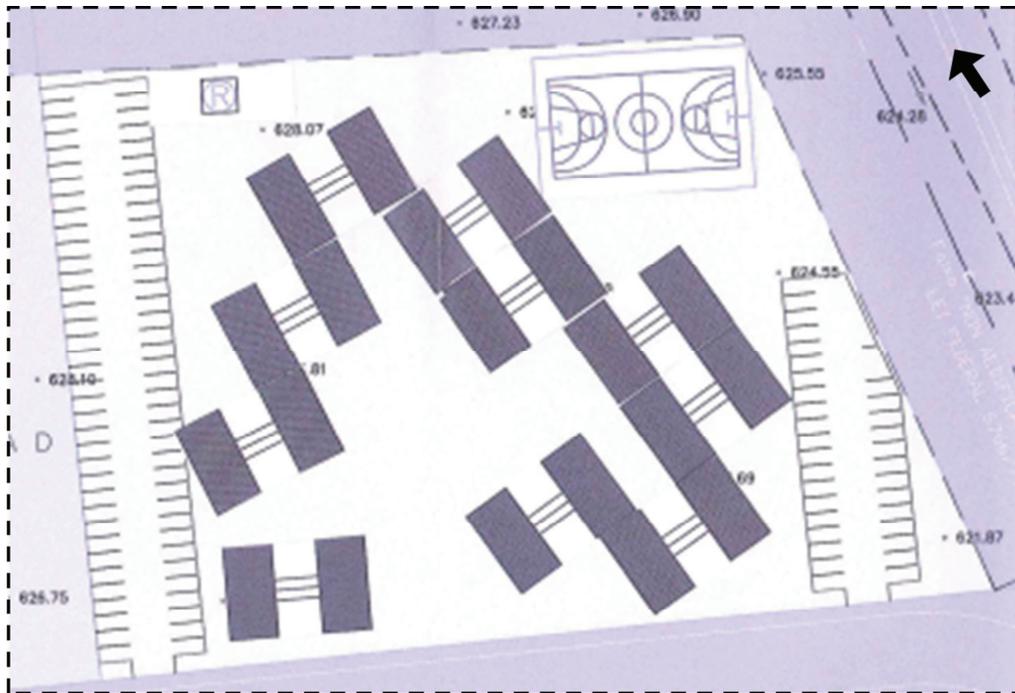
Experimento 1A – Térmico



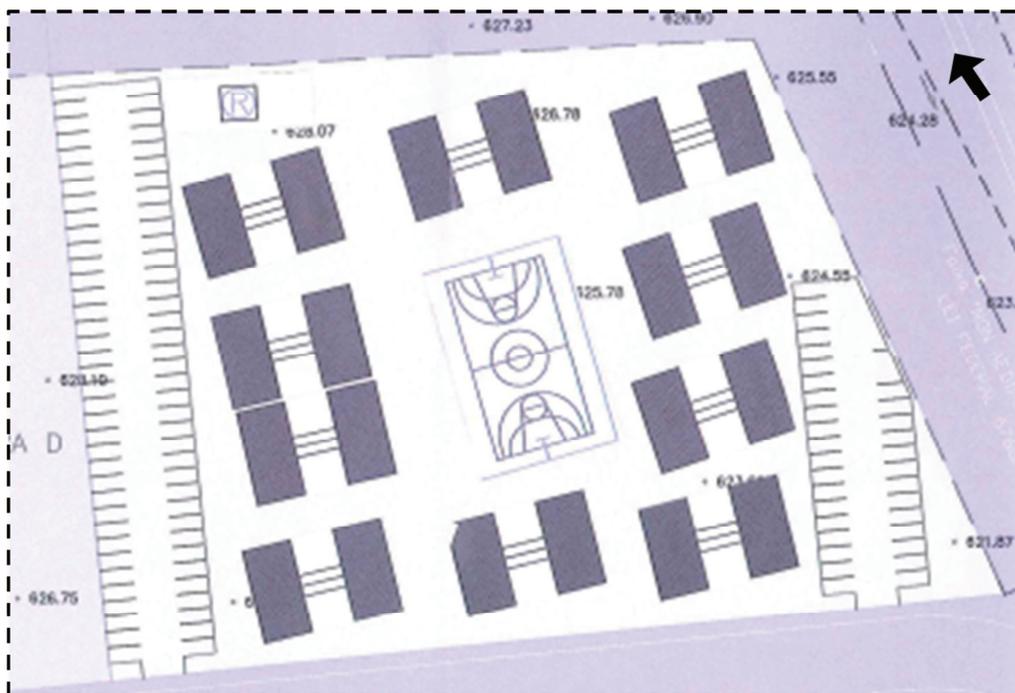
Experimento 1B – Térmico



Experimento 2– Acústico e Consumo de Materiais

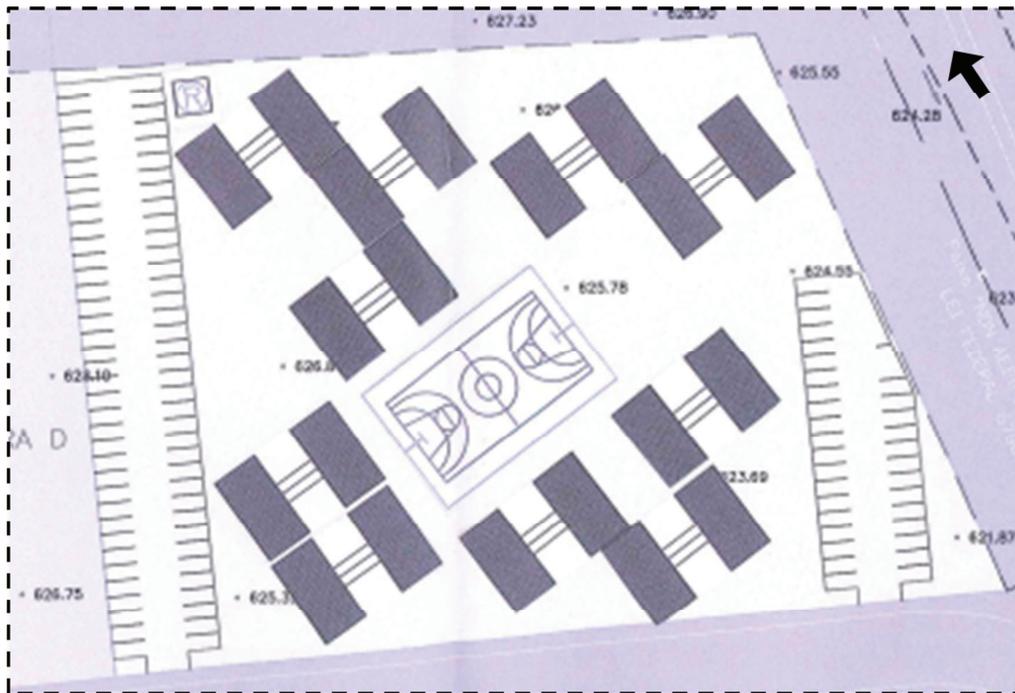


Experimento 2– Térmico e Luminoso

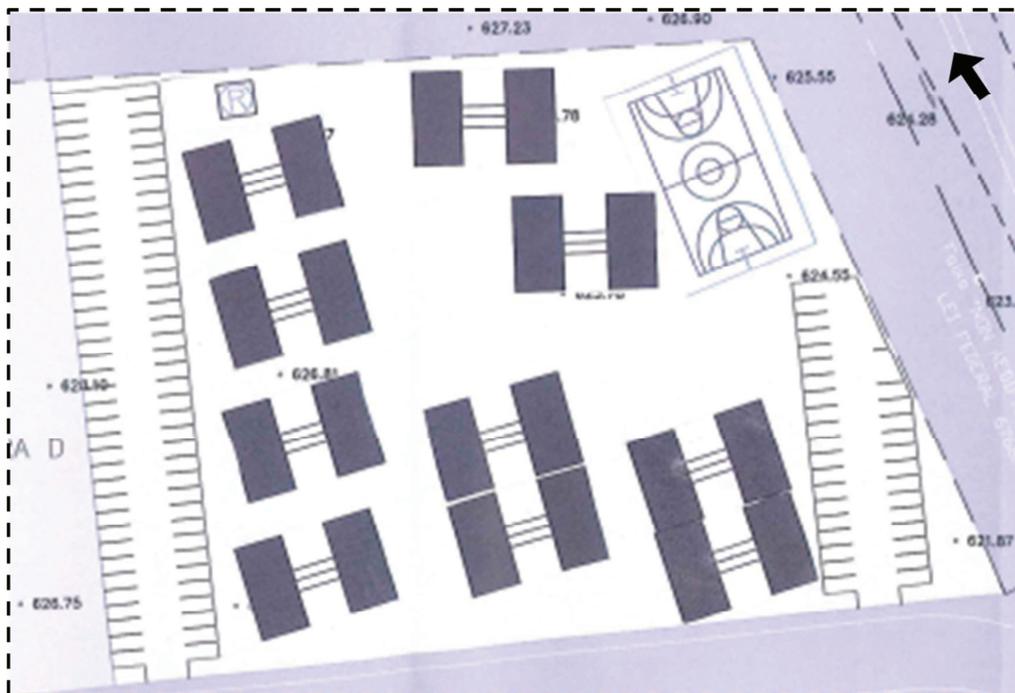


Experimento 2– Acessibilidade e Consumo de Água



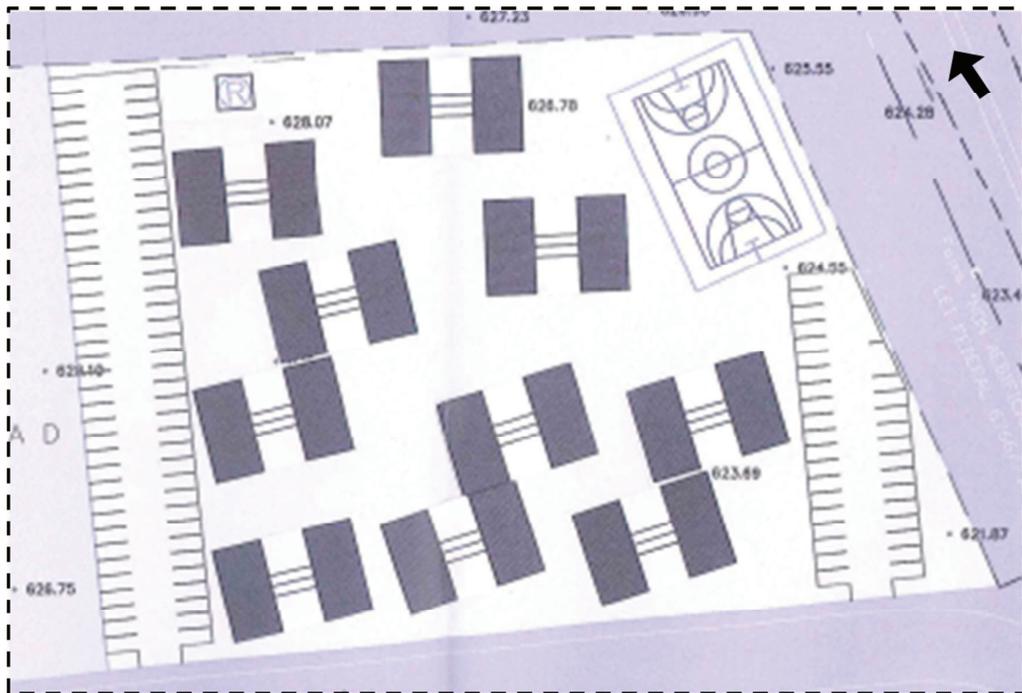


Experimento 3– Acústico e Consumo de Materiais + Térmico e Luminoso = S3



Experimento 3– S3 + Acessibilidade e Consumo de Água = S4





Apêndice C – Descrição das Ferramentas



Dentro do grande número de softwares disponíveis no mercado e da constante inovação do setor, são aqui apresentadas as ferramentas citadas pelos entrevistados e algumas buscadas na internet para complementar a pesquisa. Propõe-se a descrição geral de cada ferramenta, seguida pela caracterização dos *inputs* e *outputs*, breve levantamento das informações que devem ser inseridas como entrada para a análise, capacidade de manuseio de geometrias, interoperabilidade e resultados da simulação.

DESEMPENHO ACÚSTICO

BASTIAN

Fabricado e comercializado pela DataKustik²¹, BASTIAN é um software capaz de calcular tanto a transmissão de ruído aéreo e de impacto entre ambientes de um edifício, como a transmissão de ruídos aéreos provenientes de fontes externas à edificação. Capaz de prever o desempenho acústico em diversas tipologias.

Os cálculos são realizados de acordo com a norma europeia EN 12354²² e a ISO -717, comuns para o prognóstico de isolamento acústico de edifícios. O software considera todos os elementos e sistemas que são relevantes para situações de transmissão entre os ambientes adjacentes. Além dos parâmetros principais, podem ser inseridos como parte do edifício aberturas (portas e janelas) e outros sistemas (dutos de ar) responsáveis pela transmissão do ruído aéreo. Possui banco de dados de elementos de construção com as características acústicas conhecidas, podendo ainda ser ampliado pelo usuário.

A ferramenta conta com um opcional para auralização, tornando os resultados dos cálculos para a transmissão de ruídos, audível ao usuário. O termo "auralização" tem origens da palavra latina "auris" (orelha) e caracteriza o processo de renderização audíveis em simulações acústicas através de reprodução realística, identificação da fonte, relatividade das soluções e informações

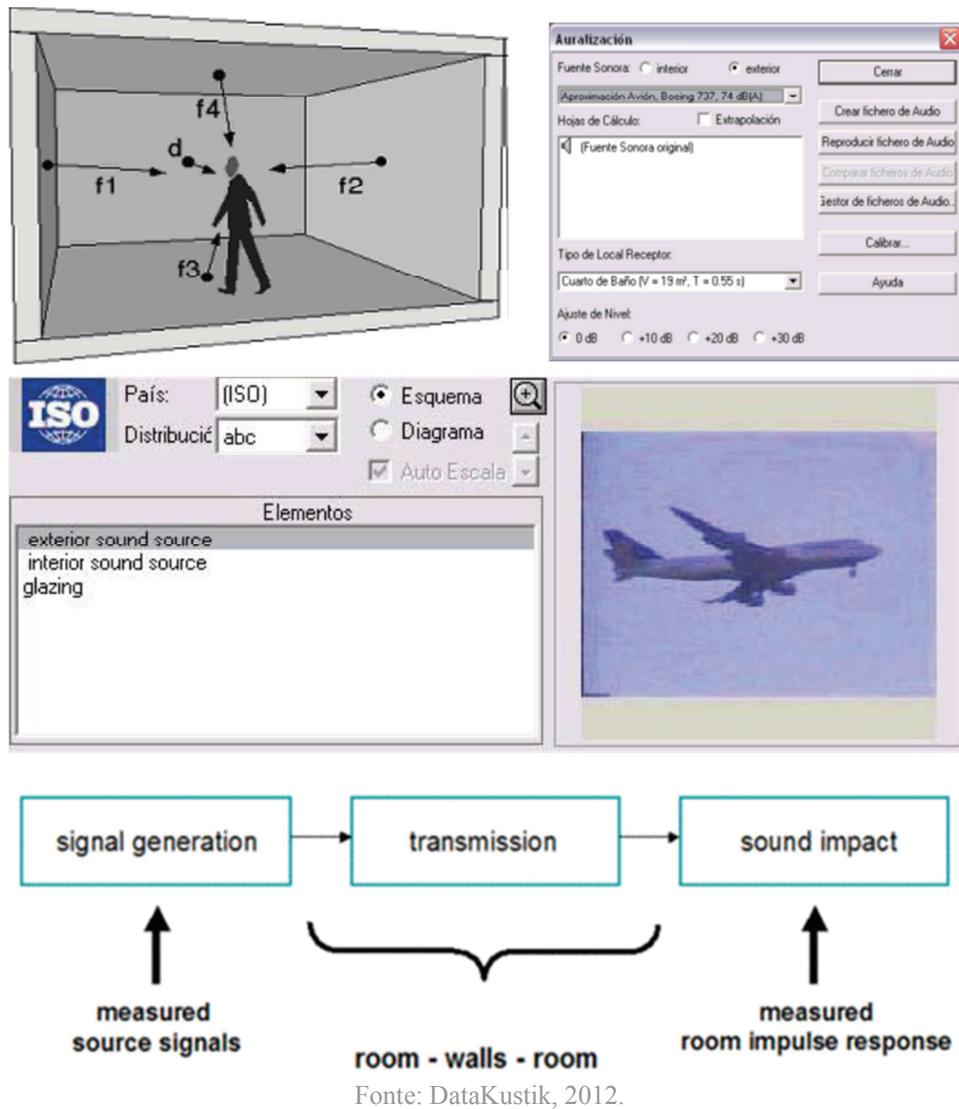
²¹ Fundada em 1991, é uma das principais fabricantes de software especializados em desempenho acústico. Desde 2004, localizada em Greifenberg, 40 km a oeste de Munique, Alemanha. (<<http://www.datakustik.com>>)

²² *Calculation of airborne sound insulation between rooms* according to DIN EN 12354-1, December 2000 edition; *Calculation of sound insulation between rooms* according to DIN EN 12354-2, September 2000 Edition; *Calculation of airborne sound insulation against external noise* in accordance with DIN EN 12354-3, September 2000 Edition.



complementares para os espectros de isolamento, e avaliações. Neste processo, conforme a Figura abaixo, a reverberação é gerada a partir de respostas dos impulsos medidos em salas reais.

BASTIAN - Processo Auralização



Com uma interface amigável, a visualização é controlada através de uma série de abas, cada uma com uma função específica para criar, visualizar e analisar o modelo. A Tabela abaixo apresenta os inputs e outputs da ferramenta.



BASTIAN - Inputs e Outputs

BASTIAN

Inputs

- Link de importação com arquivos de CadnaA .
- Parâmetros de desempenho de acordo com a ISO 717-1 (Isolamento ao ruído aéreo) e ISO 717-2 (Isolamento do som de impacto).
- Parâmetros ASTM disponíveis (STC, OITC, IIC).
- Facilita manipular diferentes soluções, por duplicação e inversão de situações, através da alteração das preferencias configuradas.
- Cálculo do tempo de reverberação estrutural in-situ de acordo com a EN 12354-1.
- Correção do fator de radiação para os elementos de acompanhamento.
- Várias bases de dados²³ disponíveis com dados acústicos em elementos de construção. Permite também a adaptação da base às necessidades do usuário.
- Importação de esboço-arquivos (BMP / JPG)

Outputs

- Exportação de gráficos.
- Exportação de todos os dados calculados em MS-Excel-formato.
- Print-preview/print-outs configuráveis.
- Print-preview/print-outs em 15 línguas europeias.
- Auralização.

Fonte: DataKustik, 2012.

Como principais insumos têm-se a definição da geometria, as características dos materiais que compõem o ambiente e inserção e caracterização das fontes de ruído. Em outputs a exportação dos resultados gráficos, audíveis e dados abertos para manipulação.

²³ Banco de dados de fornecedores: Saint-Gobain Isover, Rigips GmbH, - Saint-Gobain Glass; Banco de dados da literatura: Suplemento 1 DIN 4109 (edição 1989), UBA-texto 11,1985, Geluidwering na DE Woningbouw, Fasold / Sonntag / Winkler, ON V 32, SIA D 0189, PTB relatório, Dados dos EUA e Canadá e CTE (Espanha); Bancos de dados localizados: Banco de dados Nordic por Simmons & Akustik Utveckling e Akustik DB.

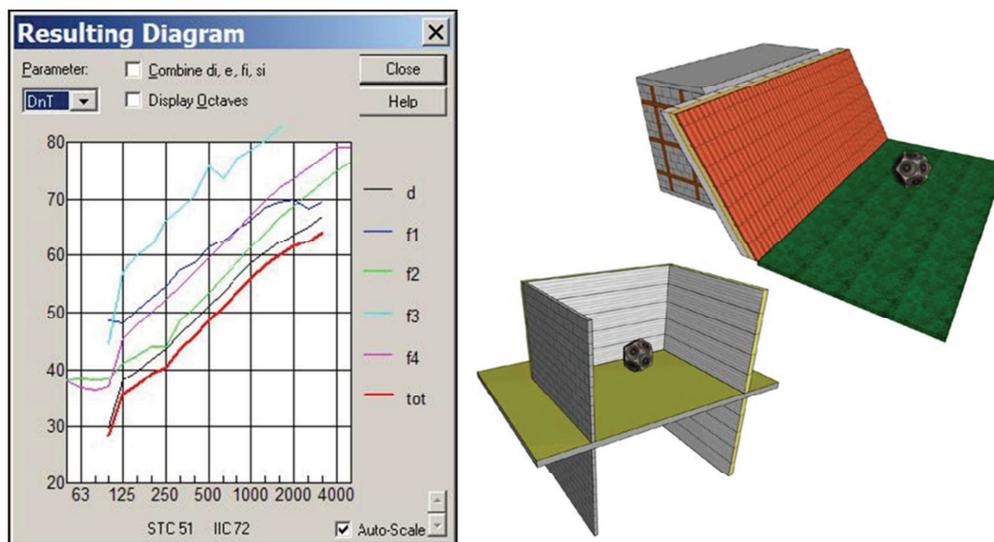


BASTIAN - Parâmetros da Simulação



Fonte: DataKustik, 2012.

BASTIAN - Resultados da Simulação



Fonte: DataKustik, 2012.



CadnaA

Fabricado e comercializado pela DataKustik²⁴, CadnaA é um software capaz de mapear o estado da arte para proteção e controle das emissões do ruído ambiental e de poluentes no ar. Os cálculos são realizados de acordo com normas nacionais, internacionais e diretrizes específicas para cada tipo de avaliação, conforme Tabela abaixo.

CadnaA - Normas e Diretrizes

Normas e Diretrizes para cada tipo de Fonte de Ruído

Ruído Industrial

- ISO 9613 incl. VBUI and meteorology according to CONCAWE (International, EC-Interim)
- VDI 2714, VDI 2720 (Germany)
- DIN 18005 (Germany)
- ÖAL Richtlinie Nr. 28 (Austria)
- BS 5228 (United Kingdom)
- General Prediction Method (Scandinavia)
- Ljud från vindkraftverk (Sweden)
- Harmonoise, P2P calculation model, preliminary version (International)

Ruído Estradas

- NMPB-Routes-96 (France, EC-Interim)
- RLS-90, VBUS (Germany)
- DIN 18005 (Germany)
- RVS 04.02.11 (Austria)
- STL 86 (Switzerland)
- SonRoad (Switzerland)
- CRTN (United Kingdom)
- TemaNord 1996:525 (Scandinavia)
- Czech Method (Czech Republic)

Ruído Ferrovias

- RMR, SRM II (Netherlands, EC-Interim)
- Schall03, Schall Transrapid, VBUSch (Germany)
- Schall03 new, draft (Germany)
- DIN 18005 (Germany)
- ONR 305011 (Austria)
- Semibel (Switzerland)
- NMPB-Fer (France)
- CRN (United Kingdom)
- TemaNord 1996:524 (Scandinavia)
- FTA/FRA (USA)

Ruído Aeronaves

- ECAC Doc. 29, 2nd edition 1997 (International, EC-Interim)
- DIN 45684 (Germany)
- AzB (Germany)
- AzB-MIL (Germany)
- LAI-Landeplatzleitlinie (Germany)
- AzB 2007, draft (Germany)

Fonte: DataKustik, 2012.

²⁴ Fundada em 1991, é uma das principais fabricantes de software especializados em desempenho acústico. Desde 2004, localizada em Greifenberg, 40 km a oeste de Munique, Alemanha. (<<http://www.datakustik.com>>)



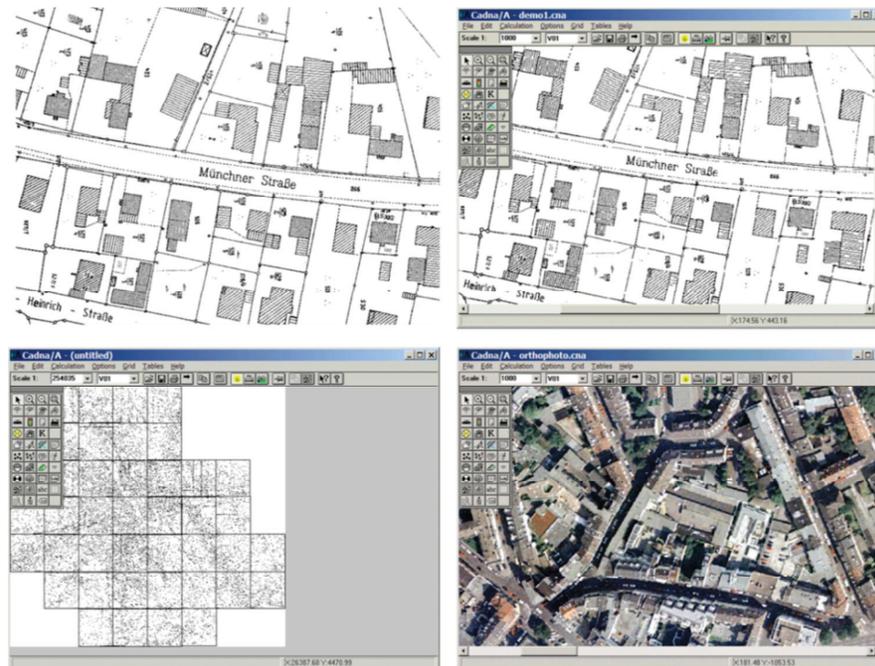
Projetado para calcular e prever o ruído ambiental, em escala urbana, inclui além das normas e diretrizes exemplificadas, algoritmos de cálculo, ferramentas extensivas para manipulação de objetos, visualização 3D e interface amigável. Desenvolvido em C / C + + se comunica perfeitamente com outros aplicativos do Windows, como processadores de texto, planilhas, softwares CAD e bancos de dados GIS.

Algumas funcionalidades de input e output da ferramenta:

a. **BMP**

Importa, gira, dimensiona e combina mapas e imagens digitalizados que servem como pano de fundo. Diversos formatos de arquivo são suportados, inclusive fotografias digitais ou digitalizadas em formato TIFF ou JPEG. O tamanho é restrito apenas em função da memória disponível. O posicionamento pode ser automático ou geo-referenciado. A aplicação mais comum é a importação de mapas digitalizados usados como um modelo para a inserção de fontes de som, pontos receptores e outros objetos.

Cadna-A: Digitalização, importação e georeferenciamento (bitmaps e ortofoto)



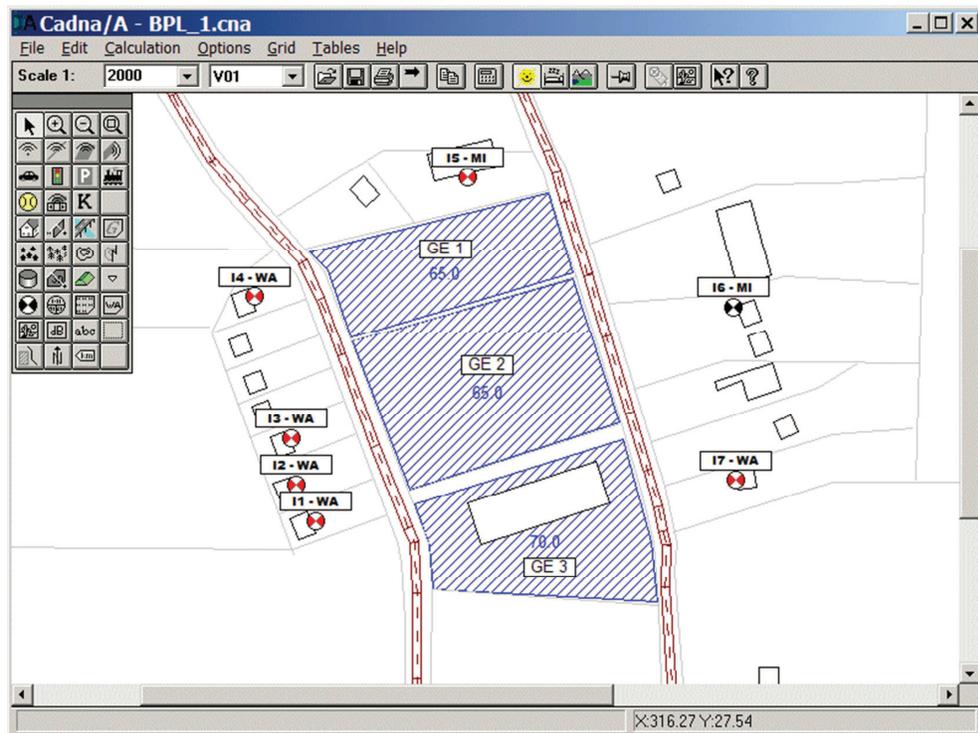
Fonte: DataKustik, 2012.



b. Backtracing da potência sonora

Otimização automática ou manual de emissão de ruído. Calibração de fontes da área na qual o nível de pressão nos pontos de receptor distintos é conhecido ou que tenha sido medido, enquanto o nível de potência de som ou por unidade de área é desconhecida. Fixação automática de quotas de ruído, mínimas e máximas.

CadnaA - Planejamento com três fontes da área otimizáveis



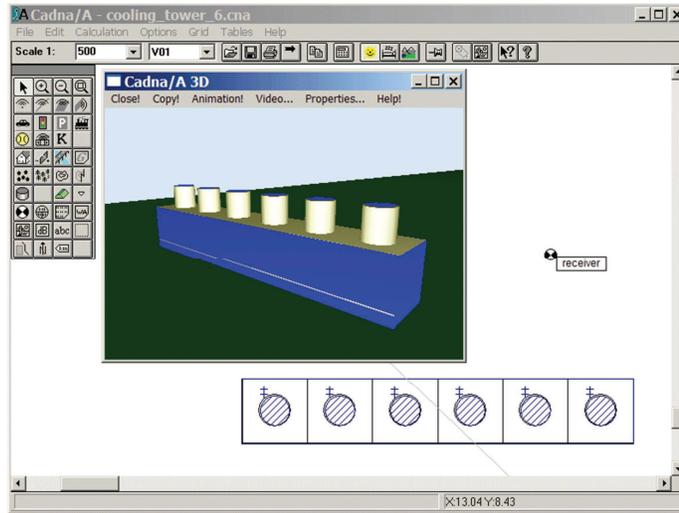
Fonte: DataKustik, 2012.

c. Emissão e Transmissão de som

Geração de espectros de potência de som com base em parâmetros do sistema técnico. Modelagem de instalações complexas e dispositivos com múltiplas fontes sonoras e superfícies radiantes, reproduzindo o seu fluxo de som interno como, por exemplo, motores à combustão e elétricos, bombas, ventiladores, torres de resfriamento, entre outros que podem ser incluídos pelo usuário, acelerando o trabalho de projeto ao reduzir o tempo necessário para recuperar dados de emissão de ruídos.



CadnaA - Modelo de uma linha de torres de resfriamento

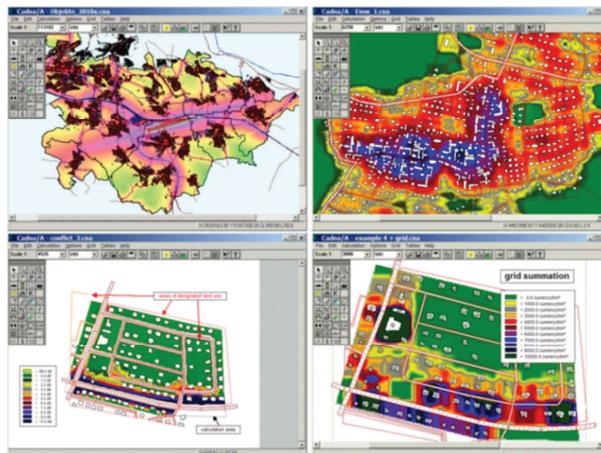


Fonte: DataKustik, 2012.

d. Mapas estratégicos de ruído

Cálculo com número ilimitado de objetos de rastreamento de mapas de ruído de grandes áreas, como cidades, e projetos de mapeamento de ruído de acordo com a Diretiva Ruído Ambiental (END). Características adicionais como objeto de digitalização, densidade populacional, mapas de conflitos e avaliação monetária.

CadnaA - Mapas Estratégicos de Ruído



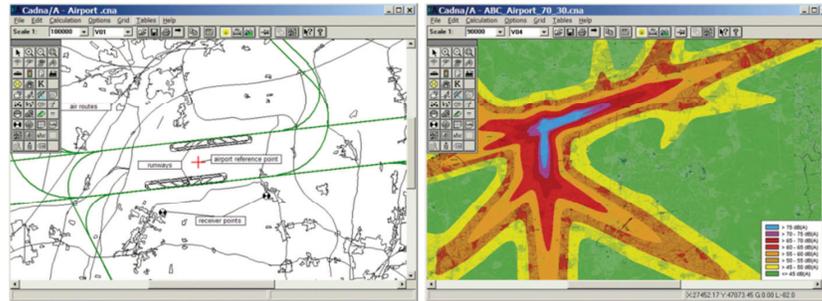
Fonte: DataKustik, 2012.

e. FLG: Ruído de Aeronaves



Cálculo dos contornos de ruído em torno de aeroportos de acordo com todas as normas pertinentes (AZB, CEAC, DIN). O resultado do ruído das aeronaves pode ser combinado com todos os tipos de ruído diferentes (estrada, indústria, ferrovia).

CadnaA - Descrição geométrica de um aeroporto e contorno de ruídos

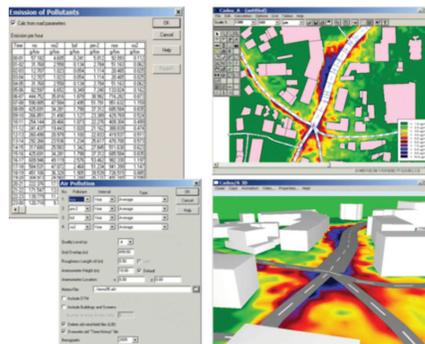


Fonte: DataKustik, 2012

f. Poluição do Ar

Permite o cálculo, avaliação e apresentação da distribuição de ar poluente de acordo com as diretrizes europeias pertinentes para PM10 (partículas finas), NO₂, NOX, SO₂ e benzeno. Importa estatísticas anuais ou plurianuais de parâmetros meteorológicos e fatores de emissão para o tráfego rodoviário. Os resultados obtidos podem servir como base para o planejamento de ações com relação aos planos de mitigação da poluição do ar.

CadnaA - Distribuição das partículas poluentes



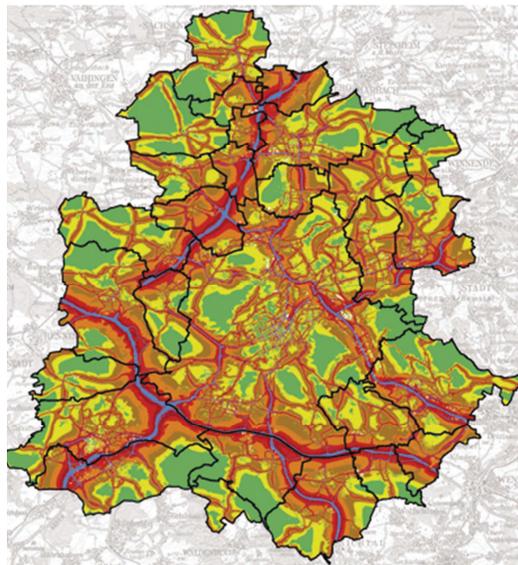
Fonte: DataKustik, 2012



g. **Versão de 64 bits**

Possibilita cálculo de projetos de grande escala, bem como de projetos muito detalhados, possibilitando mapear o ruído de países inteiros.

CadnaA - Mapa de ruído de Stuttgart

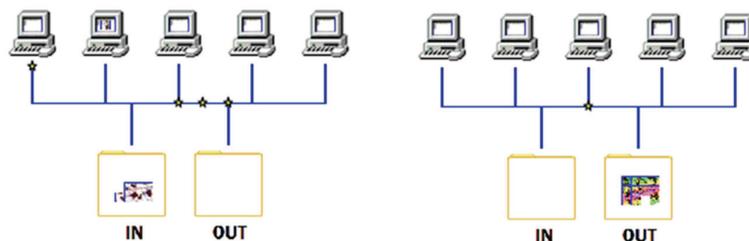


Fonte: DataKustik, 2012.

h. **Cálculo Distribuído em rede**

Permite calcular projetos complexos com vários computadores em uma rede simultânea.

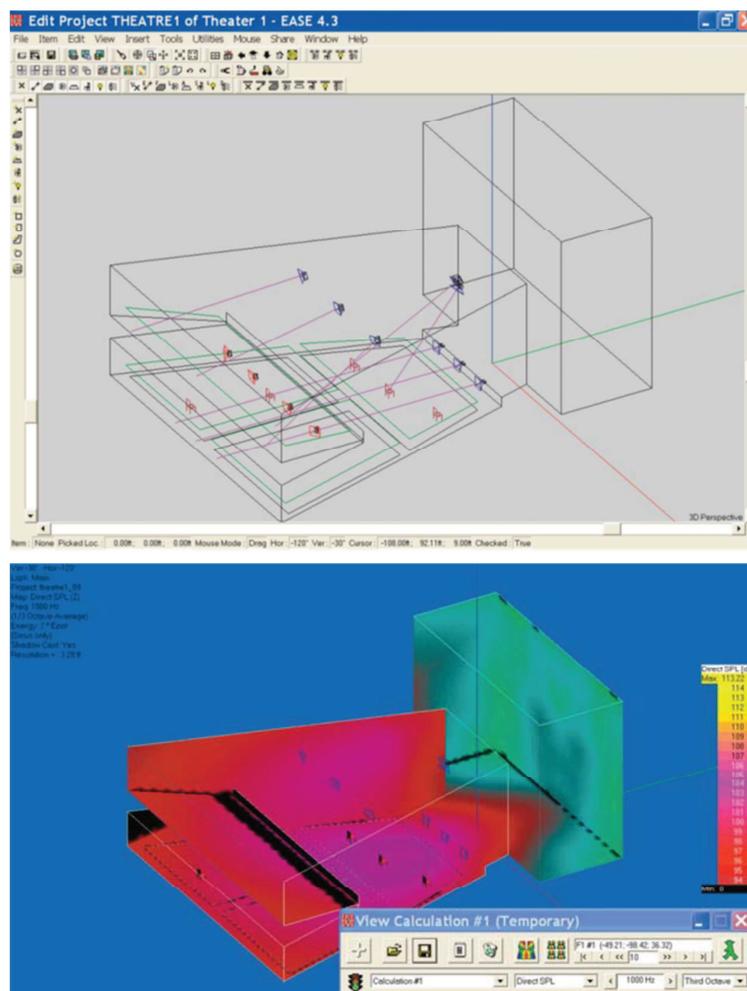
CadnaA - Distribuição das partículas poluentes



Fonte: DataKusti, 2012.

Distribuído pela Renkus-Heinz Inc., desenvolvido em parceria entre ADA Acoustic Design Ahnert e SDA Software Design Ahnert GmbH, EASE compõem uma suíte de softwares (EASE, EASEJR, EARS e AURA) capaz de calcular a transmissão de ruído aéreo e de impacto entre ambientes de um edifício, assim como a transmissão de ruídos aéreos provenientes de fontes externas à edificação, aliando cálculos matemáticos e acústicos às interfaces gráficas.

EASE 4.3 - Interface



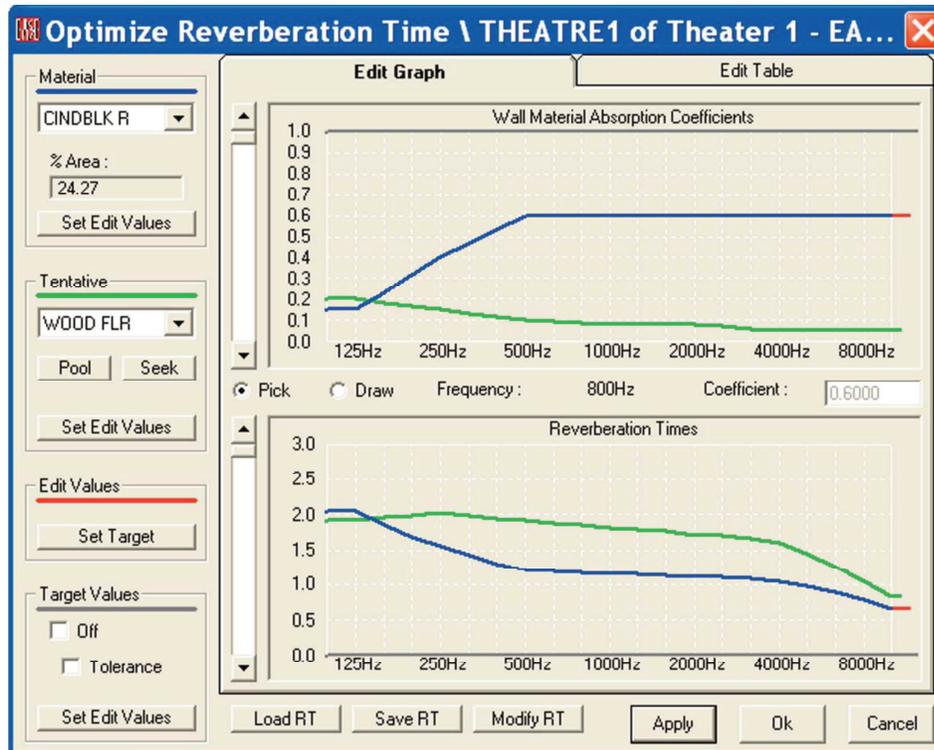
Fonte: User's Guide & Tutorial, Renkus-Heinz, p.29 e 37.

Os cálculos são realizados através da inserção de fontes sonoras em ambientes internos e externos à edificação, e levam em consideração as propriedades acústicas dos elementos, modelados na própria ferramenta, após a atribuição de materiais cujos coeficientes de absorção sejam definidos.



Estes dados podem gerar uma simulação da inteligibilidade da fala, do tempo de reverberação e outros parâmetros acústicos por meios gráficos ou através do recurso de auralização, permitindo “ouvir” e avaliar um ambiente que ainda não foi construído.

EASE 4.3 - Tempo de Reverberação

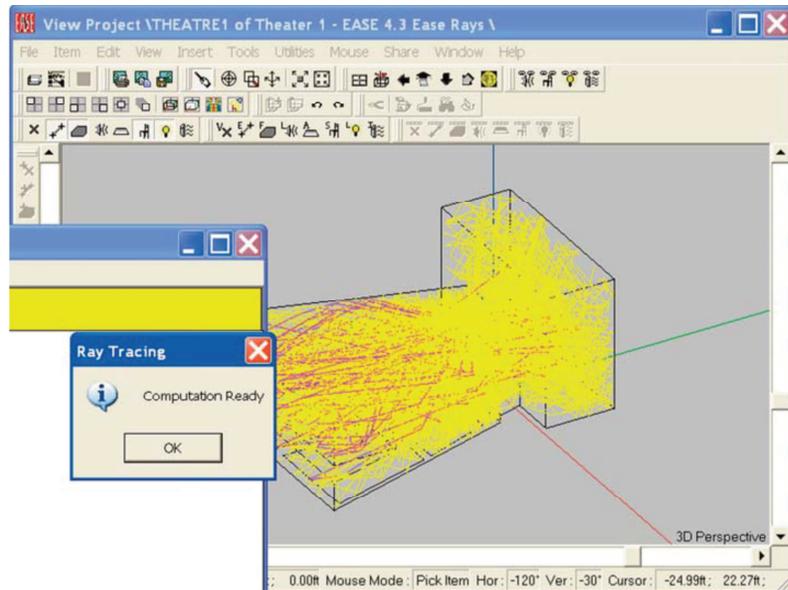


Fonte: User's Guide & Tutorial, Renkus-Heinz, p.157.

A ferramenta permite criar estudos de impacto através do cálculo e mapeamento do rastreamento dos raios, em cada frequência, que impactam em um local específico do modelo. Isso inclui o tempo de chegada, nível de energia sonora e direção (ângulo). Além de proporcionar apresentações visuais e audíveis de conceitos acústicos como mostra a Tabela abaixo.



EASE 4.3 - Rastreamento Raios



Fonte: User's Guide & Tutorial, Renkus-Heinz, p.202.

EASE 4.3 - Inputs e Outputs

EASE 4.3

Inputs

- Banco de dados de materiais e fontes acústicas.
- Ferramentas de modelagem 3D.
- Importa arquivos EASE, CADP2, AutoCAD DXF, SketchUp e ASCII.

Outputs

- Recursos de renderização 3D, Open GL.
- Exportação de gráficos.
- Auralização.
- Exporta arquivos EASE, AutoCAD DXF, SketchUp e ASCII.
- Mapeamentos eletroacústicos, em ambientes internos e externos.
- Visualizador Open GL.
- Filmes.
- Ray Tracing, tempo de decaimento (Eyring ou Sabine)

Fonte: Renkus-Heinz Inc, 2012.

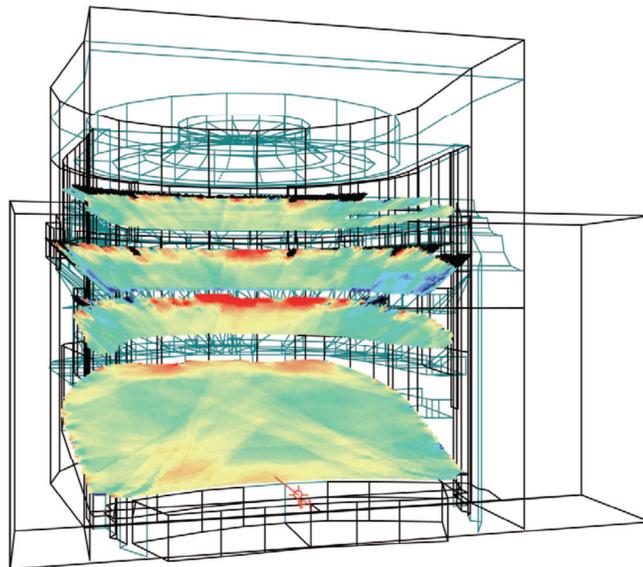


ODEON

Concebido em 1984, através da parceria entre a o departamento de acústica da Universidade Técnica da Dinamarca e um grupo de empresas de consultoria acústica, com o intuito de fornecer uma ferramenta confiável na predição acústica de ambientes internos. Em 1998 introduziu a linguagem de modelagem paramétrica e incorporou ao longo dos anos uma vasta gama de aplicações.

Atualmente, a ferramenta está disponível em três versões. A primeira voltada à acústica em ambientes industriais onde o nível de pressão sonora, nível de pressão sonora equivalente, T_{30} e inteligibilidade da fala são os resultados importantes. A segunda proporciona o estudo de auditórios, através de um grande conjunto de parâmetros com base na curva de reverberação, nesta versão há uma grande variedade de ferramentas gráficas e o recurso de auralização. A terceira combina todos os recursos das anteriores, os principais recursos de entrada e saída são descritos na Tabela abaixo.

Odeon - Distribuição C80 a 1kHz, em uma casa de ópera



Fonte: ODEON Room Acoustics Software, 2012.

Odeon - Inputs e Outputs

ODEON

Inputs

- Banco de dados de materiais e fontes acústicas.
- Ferramentas de modelagem 3D.
- Importa arquivos SU2Odeon, DXF e 3DS.
- Arquivos de som anecóica ou semi-anecóica em formato wav. Mono estéreo, bem como gravações multicanal.

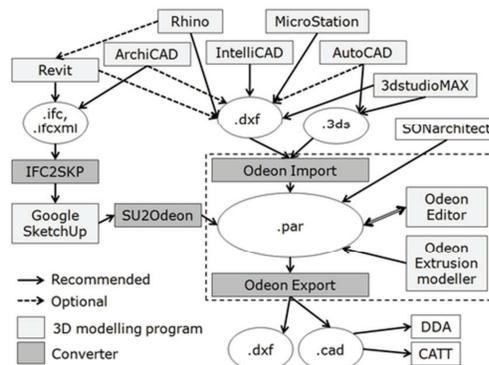
Outputs

- Recursos de renderização 3D.
- Exportação de gráficos, tabelas, animações (Wmf, Fem., Bmp., Gif., Jpg., Pcx. Png),
- Auralização: Binaural (2-channel) wav otimizado para fone de ouvido reprodução. 1^o e arquivos BFormat de 2^a ordem (Ambisonics) de saída é uma opção para o usuário avançado. N-canal de som surround para sistemas standard. SuperStereo especial feito para a configuração padrão estéreo alto-falante, conforme especificado na configuração pelo usuário.
- Exporta arquivos DXF e CAD (DDA e CATT).
- Ray Tracing, tempo de decaimento (Eryng, Sabine ou Arau-Purchades)
- Mapeamentos eletroacústicos, em ambientes internos.

Fonte: ODEON Room Acoustics Software, 2012.

Dada a geometria do ambiente e as propriedades das superfícies que o compõem, a ferramenta é capaz de apresentar resultados através de dados analíticos, gráficos e sonoros. A modelagem pode ser realizada no próprio software através da definição de superfícies, extrusão, modelagem paramétrica ou da importação de ferramentas específicas.

Odeon - Manipulação de modelos 3D



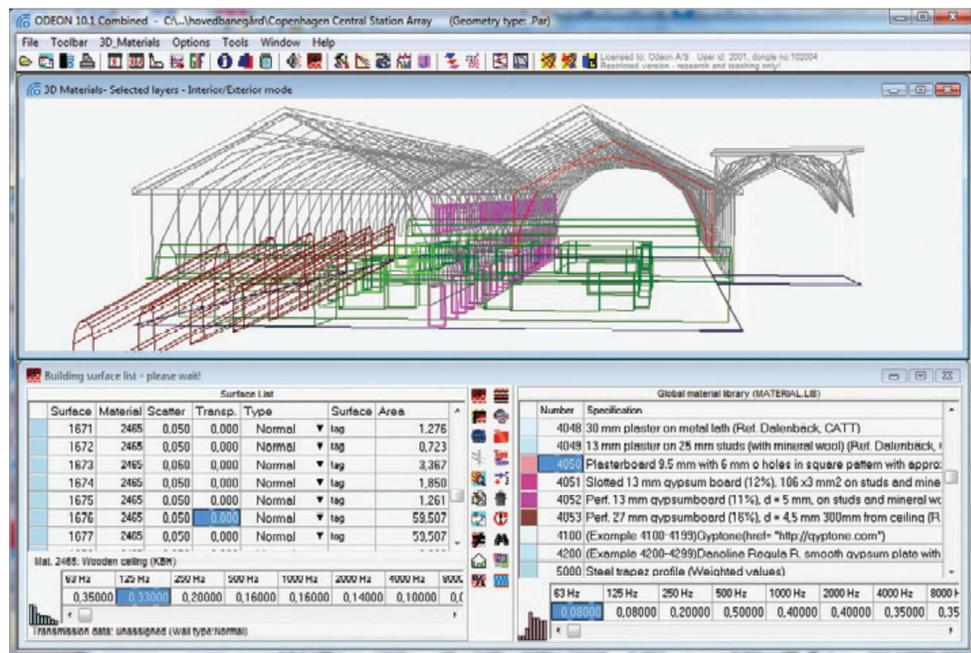
Fonte: ODEON Room Acoustics Software, 2012.



A possibilidade de usar modelos digitais criados a partir de outras ferramentas implica em alguns ajustes como ao sistema de coordenadas e a verificação de algum problema com a geometria. Nesse sentido há ferramentas que auxiliam a identificação de superfícies sobrepostas ou aberturas indevidas nos ambientes.

Após a definição da geometria é necessário realizar a aplicação dos materiais disponíveis na biblioteca do software que incorporam os dados necessários aos cálculos, como o coeficiente de absorção. A utilização de *layers* facilita não só a aplicação dos materiais e alterações durante o processo de projeto, como a identificação cromática para cada tipo de material, auxiliando na visualização do modelo.

Odeon - Aplicação de Materiais por Layers



Fonte: ODEON Room Acoustics Software, 2012



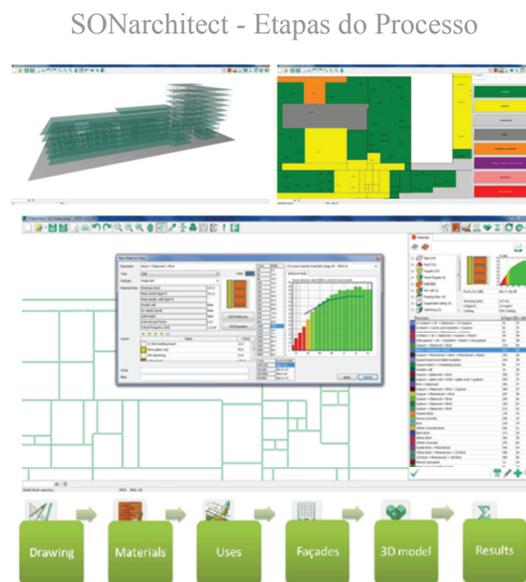
SONarchitect ISO

Desenvolvido pela Sound of Numbers e comercializado no Brasil pela inAcoustics, SONarchitect é uma ferramenta capaz de realizar cálculos de isolamento acústico e compará-los com os limites definidos pelo usuário. Entre os cálculos realizados estão: isolamento proveniente do ruído aéreo e de impacto no ambiente e fachadas, emissões de ruído e tempo de reverberação.

Os cálculos seguem as seis partes da norma europeia EN ISO 12354:

- Isolamento ruído aéreo valores de acordo com EN ISO 12354-1.
- Impacto dos níveis de ruído de acordo com a norma EN ISO 12354-2.
- Fachada isolamento acústico valores de acordo com EN ISO 12354-3.
- Ruído níveis de emissão de recintos barulhentos de acordo com a ISO 12354-4 PT.
- Tempos de reverberação em salas de acordo com a norma EN ISO 12354-6.

A partir de um arquivo DXF ou da modelagem no próprio software, da aplicação dos materiais e da definição da ocupação, é possível realizar os cálculos e compará-los aos parâmetros pré-definidos.

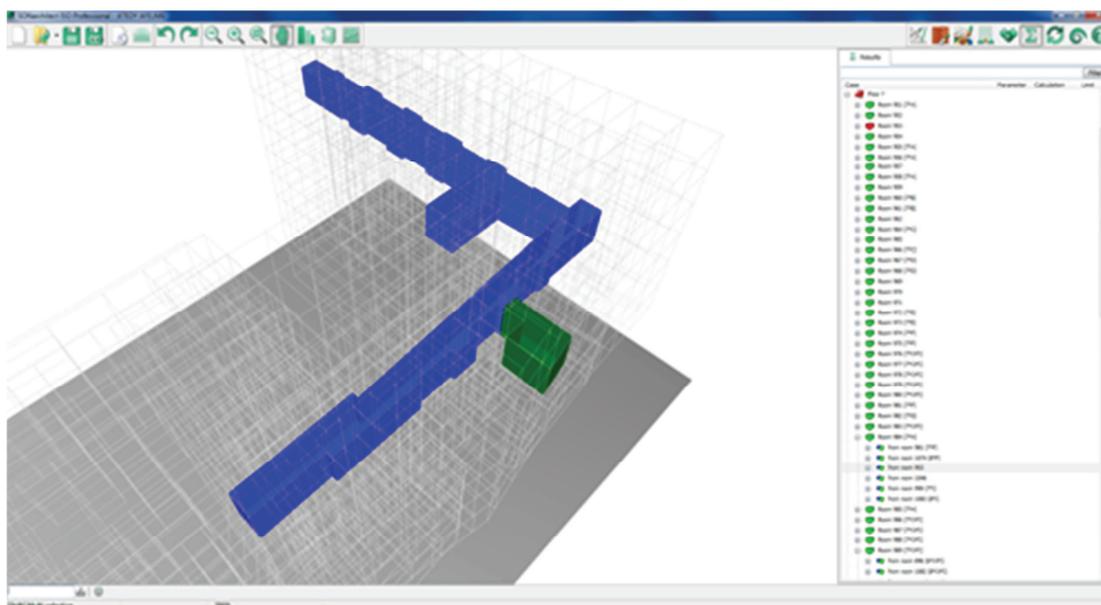


Fonte: Sound of Numbers, 2012



Os resultados são facilmente identificados através da cor verde para os ambientes que cumprem com os requisitos estipulados, e em vermelho os que não o fazem, sendo exibidos em estrutura de árvore, o que facilita a navegação pelo tipo de ruído e pelo modelo 3D de referência, onde é possível verificar todos os valores de isolamento do ambiente e espaços adjacentes.

SONarchitect - Resultados da Análise de Conformidade



Fonte: Sound of Numbers, 2012

A ferramenta possui um banco de dados personalizável pelo usuário, além de proporcionar a qualquer momento do processo a possibilidade de alteração dos parâmetros de geometria ou especificação de materiais, e refazer os cálculos para avaliar as soluções. A Tabela abaixo apresenta os inputs e outputs.



SONarchitect ISO – Inputs e Outputs

SONarchitect ISO

Inputs

- Banco de dados de materiais.
- Ferramentas de modelagem 3D.
- Importa arquivo DXF.

Outputs

- Geração de relatórios analíticos e gráficos personalizados pelo usuário.
- Validação com a norma europeia EN ISO 12354
- Auralização.
- Histogramas de qualidade acústica.
- Exporta arquivo DXF.

Fonte: Sound of Numbers, 2012

Possui o recurso de auralização e, futuramente com um aplicativo ainda em desenvolvimento, será capaz de converter qualquer arquivo IFC em um projeto SONarchitect. Outra inovação virá com o lançamento da versão em português, com os requisitos normativos definidos pela ABNT NBR 15575.



DESEMPENHO TÉRMICO

As ferramentas computacionais voltadas ao desempenho térmico nas etapas iniciais do projeto evoluíram pouco em relação às fases mais avançadas do projeto. Há um grande número de softwares disponíveis no mercado em constante inovação, que contam com avaliações de códigos de dinâmica de fluidos computacional (CFD) e permitem complexas avaliações do ambiente projetado, como o ENERGYPLUS, o FLUENT, o DOE-2 e o BLAST.

Atualmente existem centenas de programas disponíveis em uma página da internet mantida pelo Departamento de Energia dos EUA, que reúne informações sobre as principais ferramentas disponíveis, dentre as quais apenas uma desenvolvida no Brasil, o UMIDUS.

Por tratarem de fenômenos físicos complexos, essas ferramentas computacionais ainda são empregadas apenas em centros de pesquisas de universidades e institutos, com pouca transferência de tecnologia para o setor de projetos, ou seja, os escritórios de engenharia e arquitetura (MENDES *et al.*, 2005).

Programas recentes já adotam níveis diferentes de interface que acompanham a etapa do projeto ao qual a simulação está sendo aplicada, onde devem ser assumidos os conceitos principais, sujeitos a alterações no decorrer do projeto, como o Autodesk Project Vasari.

Propõe-se uma breve descrição geral da ferramenta, seguida pela caracterização dos inputs e outputs, breve levantamento das informações que devem ser inseridas como entrada para a análise, capacidade de manuseio de geometrias, interoperabilidade e resultados da simulação.

1. Autodesk Project Vasari

O Autodesk Project Vasari é uma ferramenta, ainda em estudo, para criar e comparar estudos iniciais de projeto baseados em desempenho ambiental. Esta ferramenta agrega determinados recursos de três outras: Autodesk Ecotect, Autodesk Revit e Autodesk Project Nucleus. A proposta é tornar tais estudos, assim como a fase de avaliação, um processo mais fluido e interativo. Os modelos resultam de diferentes opções que maximizam certos critérios a fim de alcançar os objetivos. A ferramenta dispõe de recursos de modelagem paramétrica que



possibilitam a transformação de determinadas características dos objetos em parâmetros ou a criação e atribuição de novos parâmetros aos objetos.

O principal insumo para iniciar a modelagem são as informações relativas à localização do projeto. Então, faz-se necessário georreferenciar o modelo e, assim, captar os dados de estações meteorológicas próximas. Após configurar a localização do projeto, é possível, de forma complementar, inserir dados do lugar. Para isso, incorpora-se o terreno através de imagens (jpg, tif, png) e/ou levantamentos topográficos (dwg, dwf, sat). O passo seguinte consiste na modelagem das informações geométricas do projeto. Com o Vasari, é possível realizar avaliações no modelo com o mínimo de informações, e assim, ajustar a forma às metas pretendidas.

Após realizar simulações de desempenho energético, térmico e de ventilação, os resultados são exibidos de modo qualitativo, por meio de escalas de cores que permitem uma interpretação rápida do resultado; ou de modo quantitativo, por meio de relatórios comparativos, gráficos e planilhas.

Vasari – Resultados



A – Representação visual de resultado de simulação térmica.

Source	Date	Time	Model	Type	Study Date Range	Study Time Range	Longitude	Latitude	Unit
1	21/11/2011	18:30	Campus F.rj	Comulative	21/12/2010,20/02/2011	Sunrise.Sunset	-47,26442558	-22,86129438	BTU/(h.m²)
Analysis point index	Insolation value	point x	point y	point z	normal x	normal y	normal z		
1	8491,376787	-142,8820754	67,778289	1,708770779	0,809017	-0,587802	0		
2	7299,844158	-142,8820754	67,778289	3,120112336	0,809017	-0,587802	0		
3	8155,861566	-142,8820754	67,778289	8,543838891	0,809017	-0,587802	0		
4	10028,3722	-142,8820754	67,778289	11,96139545	0,809017	-0,587802	0		
5	9262,048252	-142,8820754	67,778289	18,37993793	0,809017	-0,587802	0		
6	13032,13832	-142,8820754	67,778289	18,79647367	0,809017	-0,587802	0		
7	14925,7421	-142,8820754	67,778289	22,21480202	0,809017	-0,587802	0		
8	17272,35919	-142,8820754	67,778289	25,61161668	0,809017	-0,587802	0		
9	21823,92589	-142,8820754	67,778289	28,04810324	0,809017	-0,587802	0		
10	22262,42725	-142,8820754	67,778289	28,46664479	0,809017	-0,587802	0		
11	20238,4586	-142,8820754	67,778289	28,88418159	0,809017	-0,587802	0		
12	27666,45959	-142,8820754	67,778289	30,30172791	0,809017	-0,587802	0		
13	6429,08848	-140,9338461	70,4325423	1,708770779	0,809017	-0,587802	0		
14	7317,055358	-140,9338461	70,4325423	3,120112336	0,809017	-0,587802	0		
15	8281,856559	-140,9338461	70,4325423	8,543838891	0,809017	-0,587802	0		
16	9966,700181	-140,9338461	70,4325423	11,96139545	0,809017	-0,587802	0		
17	10997,34527	-140,9338461	70,4325423	18,37993793	0,809017	-0,587802	0		
18	12991,05443	-140,9338461	70,4325423	18,79647367	0,809017	-0,587802	0		
19	14888,01645	-140,9338461	70,4325423	22,21480202	0,809017	-0,587802	0		
20	17041,03048	-140,9338461	70,4325423	25,61161668	0,809017	-0,587802	0		
21	19815,50902	-140,9338461	70,4325423	28,04810324	0,809017	-0,587802	0		
22	20299,76761	-140,9338461	70,4325423	28,46664479	0,809017	-0,587802	0		
23	20314,35895	-140,9338461	70,4325423	30,88418159	0,809017	-0,587802	0		
24	27670,88877	-140,9338461	70,4325423	30,30172791	0,809017	-0,587802	0		
25	6429,08848	-140,9338461	70,4325423	1,708770779	0,809017	-0,587802	0		
26	7317,055358	-140,9338461	70,4325423	3,120112336	0,809017	-0,587802	0		

B – Planilha de dados quantitativos com resultado de simulação térmica.

O programa consegue cumprir a função de trazer a etapa de avaliação para o início do projeto, quando suas informações ainda não são tão precisas, e permite a utilização de resultados de simulação para embasar a tomada de decisão. Entretanto, há baixa interoperabilidade com outras ferramentas.



2. Autodesk Ecotect Analysis 2011

Autodesk Ecotect Analysis 2011 é uma ferramenta computacional de simulação de desempenho ambiental, realiza cálculos da energia total gasta pela edificação, da emissão de carbono, do desempenho térmico, acústico e luminoso, do nível de radiação solar, uso da água, sombras e reflexões.

Os resultados obtidos servem como diretrizes para a tomada de decisão na concepção do projeto. Durante a aplicação das diferentes simulações os dados são constantemente analisados e retroalimentam diretamente o processo de projeto baseado em desempenho. Com desenvolvimento do projeto há também o aumento da complexidade do modelo. Em fases mais avançadas ele pode ser exportado para uma variedade de aplicações específicas cuja análise é mais detalhada. Formatos atualmente suportados incluem: Radiance Scene Files, POV-Ray Scene Files, VRML Scene Files, EnerhyPlus Input Data Files, DOE-2/eQuest Input Files, Green Building Studio gbXML e uma série de outros aplicativos. Entretanto, os formatos específicos acabam limitando a possibilidade de trabalhar livremente com o modelo nas diversas ferramentas existentes, a falta de padronização das informações e da troca de dados faz com que muitas das informações necessárias aos cálculos sejam perdidas.

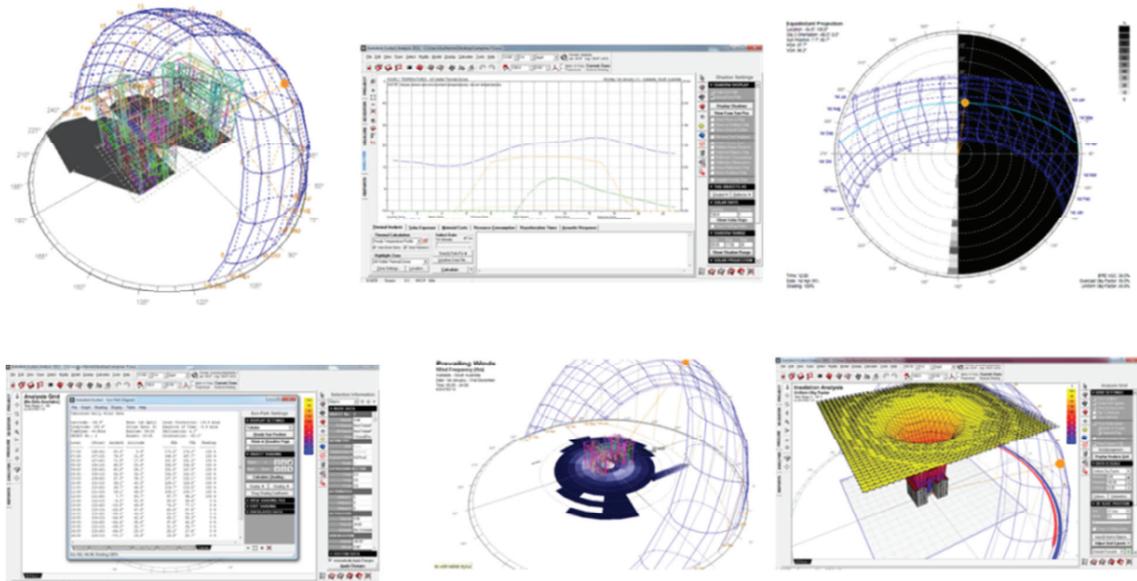
Com uma interface amigável a visualização é controlada através de uma série de abas, cada uma com uma função específica para criar, visualizar e analisar o modelo.

Como principais insumos têm-se a definição das condições de exposição através da inserção de condições climáticas da localidade do projeto: radiação solar, temperatura externa diária, vento, umidade, entre outras. Neste sentido, a ferramenta dispõe de um banco de dados, com alguns arquivos referenciais, mas permite também o acesso on-line para busca, podendo ser importado como Epw, ou configuração e elaboração manual do arquivo climático.

A maneira pela qual exibe resultados é uma das principais características do *software*. Além dos dados tabulados que podem ser exportados no formato de planilha para pós-processamento, há gráficos de dados para as várias análises, os quais mapeiam as informações de forma expressiva. Algumas das visualizações disponibilizadas como produto dos resultados estão ilustradas na Figura abaixo.



Ecotect - Exemplos de resultados das simulações solar e de ventilação



A comunicação através de exportações, para a maioria dos *softwares* de análise específicas, garante uma avaliação mais detalhada do projeto. Outra característica adicional é a capacidade de salvar rapidamente os resultados das análises em formatos raster (Jpg, Bmp) e vetoriais (Wmf) para edição em *softwares* gráficos.

A abordagem interativa para análise de desempenho proporciona muito rapidamente comparar as alterações resultantes para níveis de iluminação interna, tempos de reverberação, cargas mensais de calor e de hora em hora as temperaturas internas em diferentes épocas do ano, o que reflete diretamente nas decisões.

Sua facilidade de entrada, capacidade de importar vários tipos de geometria, gerar gráficos claros, de exportar os resultados para avaliação e informações do modelo para uso em ferramentas mais avançadas, demonstra ser um ponto de partida adequado para a integração da simulação no processo de projeto baseado em desempenho.



DESEMPENHO LUMINOSO

Diversos cálculos são necessários para a avaliação do desempenho luminoso. Nesse sentido, as ferramentas computacionais tornam o processo mais rápido, auxiliando na tomada de decisão frente às diferentes estratégias do projeto. Entretanto, a validação dos programas tem sido alvo de diversas discussões e muitos esforços na tentativa de formalizar o processo. Porque tanto o modelo teórico como os experimentais não representam precisamente a realidade do fenômeno da iluminação natural, carecendo de validação sistemática de desempenho (PEREIRA; *et al*, 2007).

Certas ferramentas de simulação poderão ser mais precisas em alguns aspectos da propagação da iluminação, mas ruins em outros aspectos, ou podem não levar certas leis físicas em conta (Maamari, F. *et al*, 2003 *apud* PEREIRA; *et al*, 2007). Ressaltando a dificuldade da escolha das formas computacionais para desenvolver análises de desempenho luminoso, principalmente em simulações mais complexas, onde o nível de detalhamento é proporcional. No que tange a avaliação da iluminação natural, o principal fator é a caracterização da fonte de luz. Vale ressaltar a importância do conhecimento do projetista em avaliar os resultados.

Como este trabalho se restringe às etapas iniciais de projeto, as ferramentas auxiliam principalmente na correta implantação, forma e distribuição espacial da edificação, as distorções são reduzidas por simplificação do modelo e cálculos necessários. São aqui apresentadas apenas algumas ferramentas, com resultados estáticos e dinâmicos, de um amplo universo²⁵.

Uma simulação estática expressa resultados na forma de imagens fotorrealísticas e/ou valores absolutos de iluminância, ou ainda em relação à iluminância produzida por um céu de referência como o *Daylight Factor*. Já as simulações dinâmicas produzem séries anuais de iluminâncias e são usadas como indicadores dinâmicos do desempenho da luz natural. As principais medidas dinâmicas são: *Daylight Autonomy*; *Useful Daylight Illuminances*; e o Percentual de Aproveitamento da Luz Natural (DIDONÉ; PEREIRA, 2010).

²⁵ Diversas outras ferramentas são apresentadas e citadas em periódicos como o Journal of Solar Energy Engineering e o Solar Energy Journal.

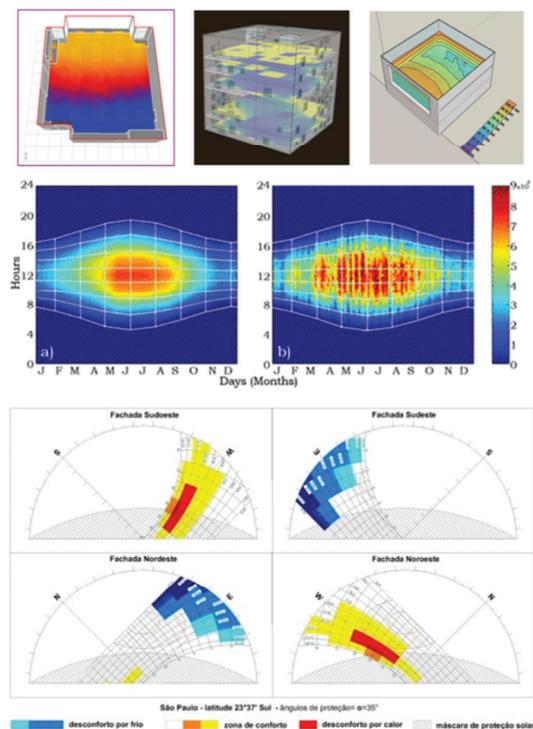


1. DAYSIM

Desenvolvido pela *National Research Council Canada*, é um software para a simulação da iluminação natural. Cujos cálculos são realizados através do mesmo algoritmo utilizado no RADIANCE, programa baseado no compartimentação física da luz, na distribuição de luminâncias e iluminâncias em edificações, determinadas as condições de qualquer tipo de céu.

A simulação é realizada através de arquivos climáticos e de um modelo, responsável por fornecer as propriedades ópticas das superfícies. Os modelos podem ser importados do Rhinoceros, Autodesk-Ecotect ou Google Sketch Up. Os resultados são apresentados através de gráficos e dados numéricos que podem ser exportados para outros programas voltados ao desempenho termo-energético da edificação, como o EnergyPlus, TRANSYS, eQuest e Esp-r.

Daysim - Resultados Gráficos



A ferramenta integra também um algoritmo chamado *Lightswitch*, que busca prever as ações dos sistemas de controle de iluminação ou de usuários no controle do sistema de iluminação em relação ao nível de iluminação. Esse modelo permite a simulação horária do uso da iluminação a partir do comportamento dinâmico de iluminação, e possibilita a exportação de um relatório de



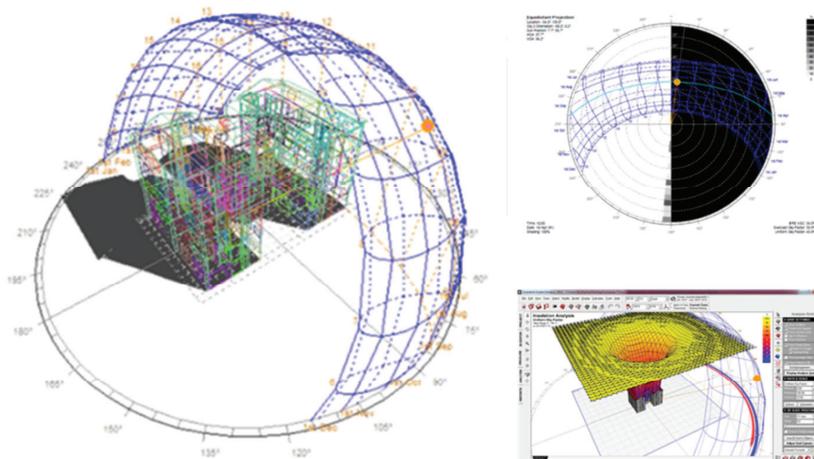
utilização dos sistemas de iluminação em todas as horas do ano (BOURGEOIS; REINHART; MACDONALD, 2006, *apud* DIDONÉ; PEREIRA, 2010).

2. Autodesk Ecotect Analysis 2011

Como a ferramenta foi abordada no item: desempenho térmico, destacamos apenas os pontos relacionados à avaliação da iluminação natural. Para esta simulação a ferramenta apresenta os resultados de modo estático e dinâmico, dentre eles estão:

- Visualização interativa de sombras, com intervalos diurnos ou anuais, penetração da luz solar e reflexões;
- Análises de exposição e radiação solar;
- Sombras em diagramas de trajetória solar, ortográficos ou estereográficos;
- Considerações para iluminação natural e artificial.

Ecotect - Resultados Gráficos

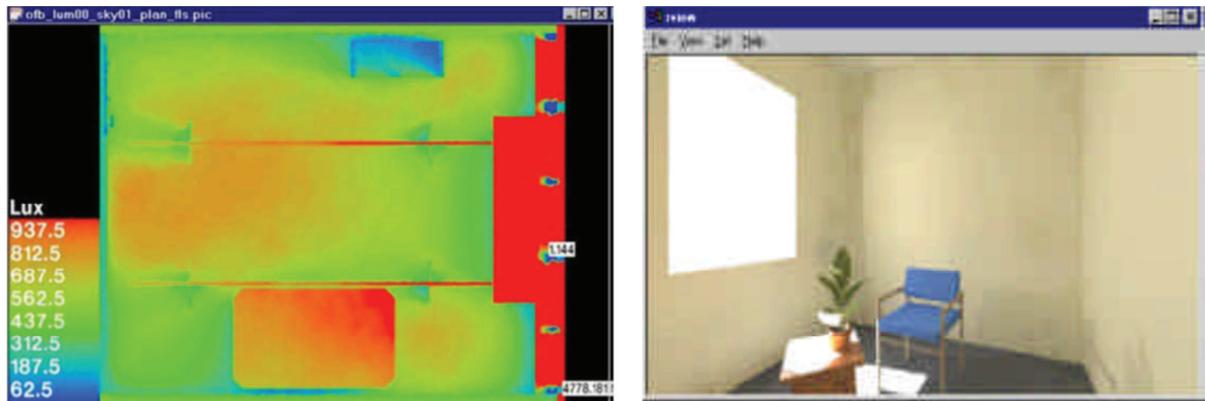


3. Desktop Radiance

Desenvolvido no Lawrence Berkeley National Laboratory e distribuído gratuitamente, o Desktop Radiance, versão 2.0 beta, é uma interface gráfica do Radiance, desenvolvido para plataforma UNIX, e sistema operacional Windows. A ferramenta, como plug-in, utiliza o programa AutoCAD através da criação de um menu específico para incluir luminárias, lâmpadas, materiais nas superfícies e diversos objetos no ambiente modelado.

O programa disponibiliza ao usuário quatro modelos de céu (claro, parcialmente encoberto, encoberto e uniforme) e destina-se a computar iluminância horizontal através de uma malha de pontos arbitrariamente orientada, ou gerar uma imagem renderizada de um espaço que possa ser examinado quanto à iluminância ou luminância de qualquer superfície na perspectiva renderizada do espaço em questão (LBNL, 2002).

Desktop Radiance 2.0 – Resultados Gráficos



Fonte: LBNL, 2002.



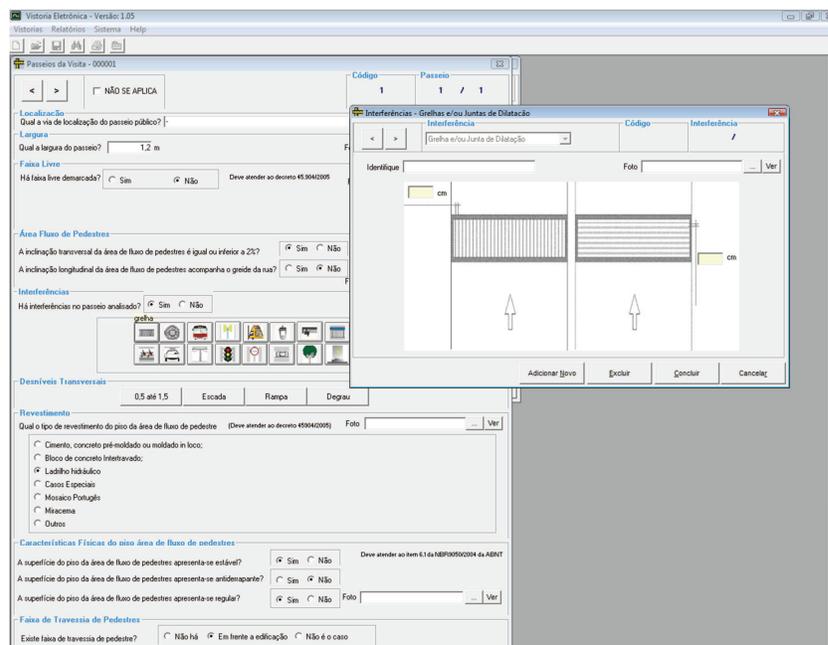
ACESSIBILIDADE

A validação dos parâmetros de acessibilidade tem se vinculado à análise manual das incompatibilidades no projeto, muitas vezes realizada por *check lists*. Este processo, além de ser demorado, pode apresentar falhas durante a verificação. Nesse sentido, apresentamos a seguir algumas ferramentas identificadas para o auxílio do projetista no diagnóstico das inadequações da edificação ainda nas etapas iniciais do projeto. Entretanto, com características distintas, a primeira é como um *check list* informatizado e, a segunda, capaz de auxiliar durante o processo cognitivo de maneira interativa.

1. Software de Vistoria Eletrônica

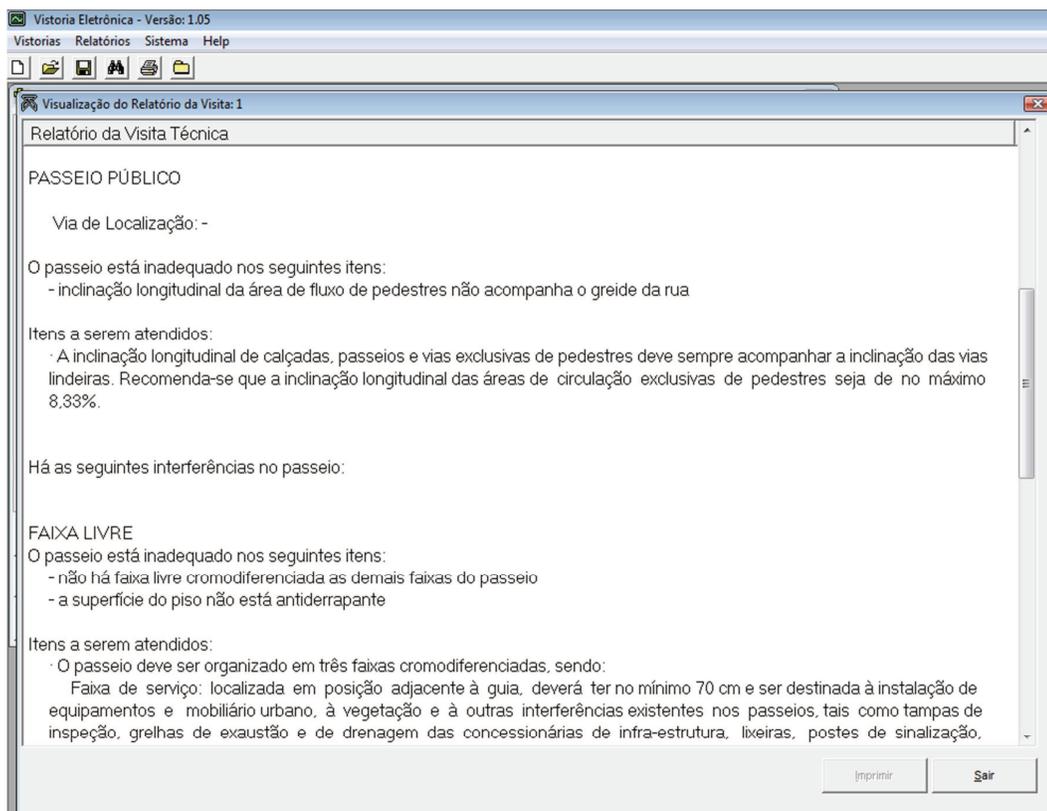
Desenvolvido pela Secretaria Municipal da Pessoa com Deficiência e Mobilidade Reduzida da Prefeitura do Município de São Paulo, como parte dos programas de Educação Continuada e Certificação em Acessibilidade e de Rotas Estratégicas de Acessibilidade e Segurança, o Software de Vistoria Eletrônica é estruturado sobre o preenchimento de campos específicos para cada tipologia.

Interface do Software de Vistoria Eletrônica



Tendo apenas como base a ABNT NBR9050/04, não inclui outras demandas de legislações locais, nem permite a personalização para estes casos. Como *output*, em qualquer momento do preenchimento o usuário pode visualizar o relatório parcial, o final só será gerado com o preenchimento completo. Neste relatório é possível identificar tanto os itens atendidos como as inadequações frente à norma.

Relatório Parcial



Após o laudo ser gerado é possível exportar um arquivo “txt” para simular ou oficializar o Processo de Acreditação, que tem como objetivo promover o reconhecimento público de ações afirmativas de acessibilidade em locais de uso coletivo (Prefeitura do Município de São Paulo).



2. Solibri Model Checker

Criada para melhorar a qualidade através da verificação e análises dos modelos de informação de construção (BIM) através da identificação de componentes conflitantes e conformidade com códigos de construção, a ferramenta desenvolvida pela Solibri, não é especificamente voltada à acessibilidade. Entretanto, proporciona a verificação dos parâmetros necessários através de regras pré-estipuladas. Desta maneira, o processo de gestão de informação torna-se muito mais rápido e confiável, garantindo a qualidade final do projeto. Com uma interface relativamente fácil de usar, permite a criação de novas regras, proporciona análise espacial, medição automatizada e gera relatórios e gráficos personalizáveis de controle do modelo. Entretanto, apresenta uma interoperabilidade limitada, conforme abaixo.

SOLIBRI Model Checker - Inputs e Outputs

SOLIBRI MODEL CHECKER

Inputs

- Importar vários arquivos da IFC em um único modelo, IAI Certified for IFC 2.0, 2X IFC, 2X2 IFC, a IFC 2X3.
- Importações modelos diretos de ArchiCAD 8,1, 9,0, 10,0, 11,0.

Outputs

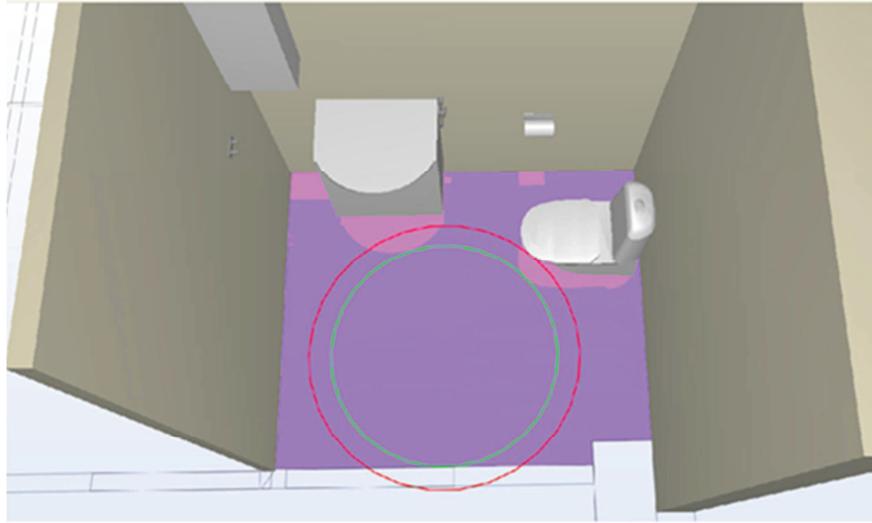
- Visualizador 3D com walk-in funcionalidade
- Relatório de qualidade avançada modelo em formatos RTF, PDF e XML
- Apresentações gerada automaticamente a partir dos resultados de verificação
- Solibri Edição Locator para acesso direto na ferramenta CAD (Autodesk e Graphisoft)

Fonte: Solibri, 2012.

A ferramenta foi parametrizada com regras para verificar as questões de acessibilidade, incluindo vários movimentos com cadeira de rodas, dimensões de rampas, escadas e portas. Os conjuntos de regras disponíveis são: Internacional ISO / CD 21542 *Building construction -- Accessibility and usability of the built environment* e Código Internacional Conselho ICC / ANSI A117.1 *Accessibility and Usable Buildings and Facilities*. Entretanto, os parâmetros e definições de classificação são ajustáveis e podem ser modificados para trabalhar com outros códigos de construção.

SOLIBRI Model Checker - Análise de Acessibilidade





Fonte: Solibri, 2012.

AVALIAÇÕES DE SUSTENTABILIDADE: CONSUMO DE RECURSOS

Água

Durante a pesquisa foram levantadas diversas ferramentas analíticas e softwares em plataforma CAD capazes de auxiliar o projetista durante a representação do projeto de edificações, entretanto notou-se grande deficiência de ferramentas voltadas a analisar os projetos quanto ao desempenho dos sistemas provisionados, na busca de soluções mais eficientes. Algumas ferramentas que permitem BIM surgem como evolução nesta área, entretanto, a falta de bibliotecas e a introdução nos sistemas das normas nacionais atrasam sua difusão e utilização.

Por outro lado, na escala do lote as ferramentas SWMM e HYDRUS permitem criar um modelo de simulação dinâmica de precipitação-vazão, para o evento único ou a longo prazo da quantidade de escoamento superficial e da qualidade das áreas principalmente urbanas.

Materiais

Durante a pesquisa notou-se uma grande lacuna de ferramentas e dados voltados a analisar os projetos quanto ao consumo e especificação dos materiais durante as etapas iniciais do projeto na busca de soluções mais eficientes, no Brasil. Alguns estudos utilizam bases de dados internacionais como, por exemplo, a ferramenta ENVEST II. Entretanto, há desconhecimento dos critérios utilizados, motivando o interesse de montar uma base de dados regionalizada. Este

processo pode ser, além de demorado, muito oneroso e depender de dados externos, devido à globalização da produção de materiais. Mas, mesmo assim, extremamente necessário.

ENVEST II

Primeiro software britânico a estimar os impactos ambientais do ciclo de vida de edifícios na fase inicial do projeto. A versão disponibilizada na Web²⁶ compreende dados das tipologias de escritórios, e considera os impactos ambientais de ambos os materiais utilizados durante a construção e energia dos recursos consumidos durante a vida do edifício. Apesar de utilizar métodos simplificados, é capaz de auxiliar os projetistas a equilibrar os impactos ao longo da vida do edifício.

Com uma base de dados de diferentes edifícios e especificações, todos os impactos são medidos através de uma escala de pontos, ecopontos, permitindo comparações diretas entre diferentes modelos e especificações. Possui uma interface amigável, onde a visualização é controlada através de uma série de abas, cada uma com uma função específica para criar, visualizar e analisar o modelo.

ENVEST II – Relatório

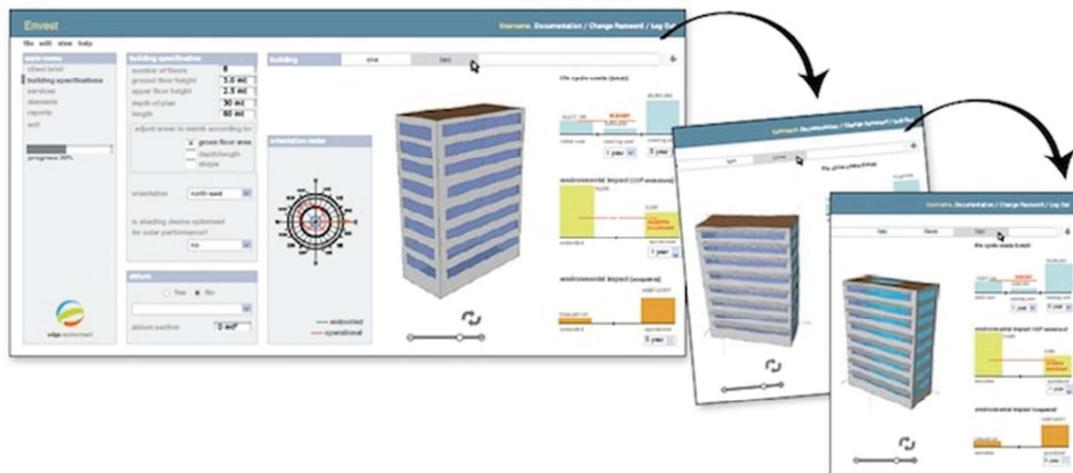


Através de telas de entrada, utiliza dados mínimos, como o número de pavimentos, altura entre pisos, área de janelas, espessura de paredes e revestimentos. Permitindo que os projetistas possam identificar os aspectos do edifício que têm a maior influência sobre o seu impacto global.

²⁶ Ferramenta disponível no endereço: <<http://envestv2.bre.co.uk/>>.



ENVEST II - Interface



A Tabela abaixo apresenta os inputs e outputs da ferramenta.

ENVEST II - Inputs e Outputs

ENVEST II

Inputs

- Inserção dos dados da geometria.
- Especificação dos serviços e vida operacional.
- Valores pré-selecionados definidos para especificação de escritórios, que podem ser editados pelo usuário.

Outputs

- Impacto do ciclo de vida do edifício: dados gráficos e numéricos.
- Comparação entre estudos.



Apêndice D – Currículo dos Especialistas



Lucila Chebel Labaki

Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 1D

Lucila Chebel Labaki é graduada em Física pela Universidade de Sofia, Bulgária. concluiu o doutorado em Ciências pelo Instituto de Física da Unicamp em 1990. Atualmente é Professora Titular da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp. Atua na área de adequação ambiental, conforto e eficiência energética no ambiente construído, clima urbano e microclimas em espaços abertos. Publicou 25 artigos em periódicos especializados e vários trabalhos em anais de eventos. Possui 9 capítulos de livros publicados. Orientou 26 dissertações de mestrado e co-orientou 2, orientou 11 teses de doutorado, além de 50 trabalhos de iniciação científica. Coordena ou coordenou vários projetos de pesquisa, financiados pela Fapesp, Cnpq e Finep. é presidente da ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, gestão 2010-2012

Fonte: <http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?metodo=apresentar&id=K4794402P0>

Marina Sangoi de Oliveira Ilha

Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 2

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (1985), com mestrado (1991), doutorado em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da USP (1996). Tem pós-doutorado no Stevens Institute of Technology, Hoboken, New Jersey, USA. É professora associada (livre-docente) da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (FEC-UNICAMP), onde atua desde 2004. Na graduação, ministra disciplinas nos dois cursos da FEC: Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo. Na pós-graduação, atua tanto no mestrado como no doutorado. Coordena o Laboratório de Ensino e Pesquisa em Sistemas Prediais da FEC. Recebeu o Prêmio de Reconhecimento Acadêmico Zeferino Vaz em 2006. É Diretora Associada da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo desde 2010 e membro titular da Congregação da FEC desde 2006. Foi Chefe do Departamento de Arquitetura e Construção de 2006 a 2010, Coordenadora Associada do curso de Engenharia Civil e representante da FEC na comissão de vestibulares da UNICAMP de 1998 a 2002, membro titular da comissão de pesquisa da UNICAMP entre 2004 e 2006, e representante da UNICAMP no Conselho Municipal de Desenvolvimento Urbano de Campinas entre 2002 a 2004, membro titular da comissão de de pós-graduação da FEC-UNICAMP de 2002 a 2004. Foi professora do departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP entre 1988 e 2004, onde também coordenou o Laboratório de Sistemas Prediais daquela instituição. É membro do conselho editorial e revisora de artigos da Revista Ambiente Construído. Foi coordenadora do GT de Sistemas Prediais da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC). É representante da ANTAC na Comissão Nacional do Sistema qualificação de Materiais, Componentes e Sistemas Construtivos do PBQP-H desde 2009. É sócia fundadora do Conselho Brasileiro da Construção Sustentável CBCS, onde atua mais especificamente no comitê técnico de Água. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Sistemas Prediais Hidráulicos e Sanitários, atuando, principalmente, nos seguintes temas: sistemas prediais de água fria e quente, esgoto sanitário, água pluvial, gás combustível e combate a incêndio, e conservação de água em edifícios.

Fonte: <http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?metodo=apresentar&id=K4783798P0>



Núbia Bernardi

Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (EESC-USP- 1995), mestrado (2001) e doutorado (2007) em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas (2001) na área de concentração em Arquitetura e Construção. No doutorado trabalhou a questão da acessibilidade e apresentou tese sobre "A aplicação do conceito do Desenho Universal no ensino de arquitetura: o uso de mapa tátil como leitura de projeto". Atualmente é docente Ms-3 e pesquisadora com dedicação integral, atuando na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP. Tem experiência na área de projeto arquitetônico, com ênfase em Acessibilidade no Ambiente Construído. Atua principalmente nos seguintes temas: metodologia de ensino de projeto, projeto de arquitetura, conforto ambiental, Desenho Universal, acessibilidade e simbologia de mapas táteis arquitetônicos.

Fonte: <http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?metodo=apresentar&id=K4755218U3>

Paulo Sergio Scarazzato

Arquiteto (1979), Mestre (1988) e Doutor em Arquitetura e Urbanismo (1995) pela Universidade de São Paulo. Professor Doutor junto à Universidade de São Paulo e à Universidade Estadual de Campinas, e Professor Titular junto à Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Na área acadêmica exerce funções docentes e de pesquisa em iluminação natural e artificial aplicadas ao projeto de edifícios e de espaços urbanos, e funções docentes em conforto térmico, acústica arquitetônica e desenho livre. Na área de atuação profissional não acadêmica, tem em seu portfólio projetos nas categorias residencial, industrial, comercial e religiosa, e projetos de iluminação nas áreas de patrimônio histórico (museu, centro cultural e igrejas), transporte urbano (terminal de ônibus), hospitalar e comercial. É filiado ao IAB (Instituto de Arquitetos do Brasil) à ANTAC (Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído), à IES (Illuminating Engineering Society of North America) e membro da CIE Brasil (representação da Comissão Internacional de Iluminação no Brasil)

Fonte: <http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?metodo=apresentar&id=K4767934Y5>

Stelamaris Rolla Bertoli

Stelamaris Rolla Bertoli é Professora Associada e Livre Docente, do Departamento de Arquitetura e Construção da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC) da UNICAMP. Obteve o Doutorado (1989) e o Mestrado (1984) em Física pela Universidade Estadual de Campinas. Na Graduação (1980) concluiu o Bacharelado e a Licenciatura em Física no Instituto Gleb Wataghin da Universidade Estadual de Campinas. Realizou Pós-Doutorado na Universidade Federal de Santa Catarina (1992). Recebeu o Prêmio de Reconhecimento Acadêmico "Zeferino Vaz" da Universidade Estadual de Campinas (2008). Foi Chefe do Departamento de Arquitetura e Construção da FEC/UNICAMP (2002-2006), Coordena o Laboratório de Física Aplicada e Conforto Ambiental (LACAF) da FEC/UNICAMP, Conselheira da Sociedade Brasileira de Acústica (SOBRAC). Publicou vários artigos em periódicos especializados e trabalhos em anais de eventos. Participou de eventos nacionais e internacionais da área de atuação. Foi membro de bancas examinadoras de Mestrado e Doutorado, internas e externas a Unicamp e de outras comissões julgadoras. Na graduação atua em dois cursos da UNICAMP, Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo. Na Pós-Graduação atua em dois Programas de Pós-Graduação da UNICAMP, Engenharia Civil (PPGEC) e Arquitetura, Tecnologia e Cidade (PPGATC), orientando mestrados e doutorados. Concluiu a supervisão de 2 Pós-doutorados e a orientação de 6 teses de doutorado e 20 dissertações de mestrado. Orientou também vários trabalhos de iniciação científica. Atualmente orienta 3 doutorandos, 4 mestrandos e 5 iniciações científicas. Possui experiência na área de acústica, atuando principalmente nos seguintes temas: acústica de salas, conforto acústico, ruído ambiental, avaliação e desempenho acústico de edificações.

Fonte: <http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?metodo=apresentar&id=K4793787U7>



Vanessa Gomes da Silva

Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 2

Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela UFES (1993), com mestrado (1998) e doutorado em Eng. Civil pela Escola Politécnica da USP (2003). Professora Associada livre-docente (2010) na UNICAMP, colabora em pesquisas com universidades no Brasil (UFES, EPUSP, UFSC, UFU, UFRN) e no exterior: Colima, Autônoma de Baja California, Guadalajara (México); Isthmus Panama; Univ. of Pittsburgh e Carnegie Mellon University (EUA); QUT (Australia); TU Delft (Holanda); KIT (Alemanha). Experiência nas áreas de Arquitetura e Eng. Civil, com ênfase em Projeto e Construção Sustentável e Avaliação Ambiental de Edifícios. Com mais de 145 artigos em periódicos e anais de congressos, já interagiu com mais de 240 colaboradores. Fulbright fellow pelo Programa Capes/Fulbright de Professor/Pesquisador Visitante nos EUA, biênio 2009/2010. Agraciada com a Jeffrey Cook Scholarship da Society of Building Science Educators (SBSE) em 2009/10, e bolsa CAPES de estágio pós-doutoral nos EUA em 2010/11 (primeiro-colocada no grupo das Engenharías). Parecerista de conferências e periódicos nacionais e internacionais, e membro de comitês organizadores e científicos de conferências como SB'05 Tokyo, SB South-East Asia (SEA) 2004 e 2007 (Malásia), clACS'04, SBCS08 e SBCS09, PLEA 2007 (Cingapura), SB07 Portugal, World SB 08 Melbourne e SB11 Helsinki. O grupo de pesquisa NEXES (Núcleo de Excelência em Escórias Siderúrgicas), certificado pelo CNPq, em que é co-líder, recebeu o Prêmio Ecologia 2005, pelo desenvolvimento de produtos de construção de baixo impacto ambiental, resultando em sete pedidos de patentes pendentes. Coordenadora regional (Américas) da Comissão de trabalho W116 Smart and sustainable built environments, do International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB), e assessora ad hoc do Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP), nos temas avaliação do ciclo de vida e políticas para eficiência energética no ambiente construído; e do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), no tema avaliação ambiental estratégica. Inserção em grupos e atividades de pesquisa nacionais e internacionais: - Membro do grupo proponente do projeto "Evaluating the overall CO2 emission due to buildings and the building construction industry", da IEA (International Energy Agency) Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS) Program; 2011 - Membro fundador da "International Network for Sustainable Building Products", 2011 - Membro do Continental Automated Buildings Association (CABA) Information Council, 2011 - Membro fundador e do Corpo de Diretores da iSBE International Initiative for a Sustainable Built Environment, 2001/07; 2010/11. Vice-presidente (2011-) - Líder da equipe brasileira participante do Green Building Challenge (GBC), jun 2000-. - Membro fundador e do Conselho Deliberativo do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), 2007-2011; - Membro do United States Green Building Council (USGBC), 2006 - . - Membro fundador e do Strategic Advisory Committee do CIB Task Group 55 (Smart and Sustainable Built Environments, Nov 2003), que originou a CIB Working Commission W116, de mesmo nome; - Membro da CIB Working Commission W100 (Environmental Assessment of Buildings) Participa (ou participou) das seguintes Cooperações Internacionais: - FEC/UNICAMP e Univ. of Pittsburgh, Swanson School of Engineering - Atividades didáticas, de pesquisa e de intercâmbio de graduação, ênfase em desenvolvimento de produtos sustentáveis. 2006-2010. - NEXES/Groupe des Ecoles des Mines da França (GEM) - intercâmbio de alunos de graduação, pós-graduação e pesquisadores no tema reciclagem de resíduos siderúrgicos. Fev06 -. - IGERT. FEC/UNICAMP e Univ. of Pittsburgh, Swanson School of Engineering - Construção sustentável e Uso sustentável de água. 2005 - . - Cooperação Internacional Brasil/Alemanha CNPq/KFA/DLR: Brasília Patrimônio da Humanidade Conservação de seus Monumentos de Concreto Armado. Set01 Dez04.

Fonte: <http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?metodo=apresentar&id=K4707604A5>

