

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS ARQUITETÔNICOS CONSIDERANDO  
PARÂMETROS DE CONFORTO AMBIENTAL : O CASO DAS ESCOLAS DA REDE  
ESTADUAL DE SÃO PAULO

**VALÉRIA AZZI COLLET DA GRAÇA**

**Campinas  
2002**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS ARQUITETÔNICOS CONSIDERANDO  
PARÂMETROS DE CONFORTO AMBIENTAL : O CASO DAS ESCOLAS DA REDE  
ESTADUAL DE SÃO PAULO

**Valéria Azzi Collet da Graça**

**Orientadora: Profa. Dra. Doris C.C.K. Kowaltowski**

Dissertação de Mestrado apresentada a  
comissão de pós-graduação da  
Faculdade de Engenharia Civil da  
Universidade de Campinas, como parte  
dos requisitos para a obtenção do título  
de Mestre em Engenharia Civil, na área  
de concentração de edificações

Campinas, SP  
2002

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

G753o	<p>Graça, Valéria Azzi Collet da Otimização de projetos arquitetônicos considerando parâmetros de conforto ambiental: o caso das escolas de rede Estadual de São Paulo / Valéria Azzi Collet da Graça.--Campinas, SP: [s.n.], 2002.</p> <p>Orientador: Doris C. C. K. Kowaltowski. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.</p> <p>1. Otimização matemática. 2. Processo decisório – Modelos matemáticos. 3. Projeto arquitetônico. 4. Instalações escolares – Planejamento. 5. Ambiente escolar. I. Kowaltowski, Doris C. C. K. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.</p>
-------	---

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS ARQUITETÔNICOS CONSIDERANDO  
PARÂMETROS DE CONFORTO AMBIENTAL : O CASO DAS ESCOLAS DA REDE  
ESTADUAL DE SÃO PAULO

**Valéria Azzi Collet da Graça**

**Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:**

**Profa. Dra. Doris C.C.K. Kowaltowski  
Presidente e Orientador Universidade Estadual de Campinas**

**Prof. Dr. João Roberto Diego Petreche  
Universidade de São Paulo**

**Profa. Dra. Silvia A Mikani G. Pina  
Universidade Estadual de Campinas**

Campinas, 11 de junho de 2002

## **Dedicatória**

Para Mariana, minha filha querida, que participou ativamente desta pesquisa, muitas vezes me lembrando de que a vida é um contínuo processo de aprendizado e que uma pequena pausa com um simples sorriso são suficientes para enfrentar todos os desafios.

Para Orlando, meu marido, que me incentivou em todos os momentos.

Para Antonio e Renata, meus pais, pela educação e amor incondicionais.

## **Agradecimento**

A Prof<sup>a</sup>. Doris, pela orientação, incentivo e eterna coragem para enfrentar desafios.

Ao Prof. Petreche, por possuir a grande qualidade humana de colaboração.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo pelo incentivo à pesquisa

A CAPES pelo apoio realizado através do Programa Institucional de Capacitação de Docente de Ensino Tecnológico

## Sumário

Lista de figuras: .....	VIII
Lista de tabelas:.....	XII
Resumo .....	XIV
1- Introdução.....	1
2- Objetivos.....	4
3- Revisão bibliográfica .....	5
3.1- Levantamento histórico e avaliação pós-ocupação .....	5
3.2- Metodologia de projeto .....	12
3.3- Modelos de avaliação de projeto .....	15
3. 4- Otimização de projeto: a seleção da “melhor” alternativa.....	20
4- Materiais e métodos .....	24
5- Qualificação da amostra .....	27
5.1- Tipologia de prédios de ensino da rede pública estadual.....	27
5.2- Implantação (dimensão do terreno) de prédios de ensino da rede pública estadual. .....	30
6- Parâmetros de conforto ambiental.....	37
6.1- Conforto térmico .....	39
6.2- Conforto acústico.....	49

6.3- Conforto Luminoso .....	57
6.4- Conforto Funcional .....	68
7-Otimização multicritério da amostra .....	75
8- Conclusões.....	86
Anexo 1: Exigências ambientais para as escolas da rede Estadual de São Paulo.....	89
Anexo 2: Escolas eliminadas pelo processo de avaliação.....	93
Anexo 3: Escolas analisadas pela metodologia de avaliação /otimização.....	96
Referências Bibliográficas .....	133
Abstract.....	138

## Lista de Figuras:

3. - Modelo geral de processo de projeto .....	15
3.2- Definição de ótimo em um problema de otimização multicritério.....	21
5.1- Tipologias de prédios escolares .....	28
5.2- Exemplo de projeto com tipologia mista .....	29
5.3- Dimensionamento do terreno para escolas que possuem até 6 salas. ....	31
5.4- Dimensionamento do terreno para escolas que possuem 7 a 9 salas .....	31
5.5- Dimensionamento do terreno para escolas que possuem 10 a 12 salas.....	32
5.6- Dimensionamento do terreno para escolas que possuem 13 a 15 salas.....	32
5.7- Dimensionamento do terreno para escolas que possuem 16 a 18 salas.....	33
5.8- Dimensionamento do terreno para escolas que possuem 19 a 21 salas.....	33
5.9- Razões mínimas entre largura e comprimento de terreno em relação ao número de salas de aula.....	34
6.1- Pertinência da escala semântica .....	38
6.2- Função de pertinência de cada elemento da escala semântica aplicada à parâmetros de conforto luminoso, acústico e térmico.....	39
6.1.1- Configurações das salas de aula e suas aberturas.....	42
6.1.2- Posições das orientações e ventos predominantes.....	43
6.1.3- Qualificação das variáveis de conforto térmico feita pelos especialistas.....	44

6.1.4 Representação do grau de pertinência das variáveis 1A e 1F.....	45
6.1.5 Exemplo de avaliação de conforto térmico do projeto .....	47
6.1.6 Bairro Senhorinhas: a escola melhor qualificada para o parâmetro de conforto térmico .....	47
6.1.7 Prof. Casemiro Poffo : a escola pior qualificada para o parâmetro de conforto térmico .....	48
6.2.1 Variáveis de projeto para conforto acústico.....	51
6.2.2 Qualificação das variáveis de conforto acústico feita pelos especialistas.....	52
6.2.3 Representação do grau de pertinência das variáveis com melhor e pior qualificação.....	53
6.2.4 Exemplo de avaliação de conforto acústico de projeto.....	54
6.2.5 Dr. Disnei F. Scornaienchi e Prof. Renato Fiuza Teles: escolas com a melhor qualificação para o parâmetro de conforto térmico.....	54
6.2.6 Prof. Casemiro Poffo e Soldado P.M. Eder Bernardes dos Santos: as piores escolas qualificadas para o parâmetro de conforto acústico. ....	55
6.3.1 Variáveis de projeto para conforto luminoso.....	60
6.3.2.A. qualificação das variáveis de conforto luminoso realizada pelos especialistas	61
6.3.2.B. Qualificação das variáveis de conforto luminoso realizada pelos especialistas	62
6.3.3 Representação do grau de pertinência das variáveis 9A, 16A e13A.....	65
6.3.4 Exemplo de avaliação de conforto luminoso de projeto.....	65
6.3.5 Bairro Senhorinhas: escola com a melhor qualificação para o parâmetro de conforto luminoso .....	66
6.3.6 Prof. Casemiro Poffo: pior escola qualificada para o parâmetro de conforto luminoso. ....	66
6.4.1 Distâncias verificadas entre salas de aula, banheiro e pátio .....	70
6.4.2 Representação da função de pertinência dos parâmetros de conforto funcional. ....	72
6.4.3 Exemplo de avaliação de conforto funcional.....	72
6.4.4 Prof. João Sant'anna e Vitor Meireles: escolas com as melhores qualificações para o conforto funcional. ....	73

6.4.5 Bairro Senhorinhas: a pior escola qualificada para o parâmetro de conforto funcional. ....	73
7.1 Bairro Senhorinhas: variáveis de projeto utilizadas nos confortos acústico e luminoso. ....	79
7.2 Bairro Senhorinhas: variáveis de projeto utilizadas nos confortos acústico e funcional. ....	80
7.3 Soldado PM E.B. Santos: variáveis de projeto utilizadas.....	81
7.4.A Soluções de compromisso .....	82
7.4.B. Conjunto de soluções de compromisso.....	83

## Lista de Tabelas:

5.1- Incidência das tipologias de prédios escolares na amostra.....	29
5.2- Relação entre número de salas e dimensões mínimas de terreno.....	34
5.3- Relação corrigida entre número de salas e dimensões mínimas de terreno .....	35
5.4- Escolas consideradas para a aplicação da metodologia de avaliação .....	36
6.1.1- Zoneamento bioclimático para o estado de São Paulo .....	40
6.1.2- Estratégias do zoneamento bioclimático para o Estado de São Paulo .....	41
6.1.3- Grau de pertinência das variáveis de projeto para conforto térmico.....	45
6.1.4- Desvio padrão das respostas dos especialistas para conforto térmico .....	46
6.1.5- Avaliação da amostra quanto ao conforto térmico.....	49
6.2.1- Quantificação das variáveis acústicas de projeto .....	52
6.2.2- Desvio padrão das variáveis de conforto acústico.....	53
6.2.3- Avaliação da amostra quanto ao conforto acústico .....	56
6.3.1- Grau de pertinência das variáveis de projeto para conforto luminoso. ....	63
6.3.2- Desvio padrão da quantificação das respostas dos especialistas para conforto luminoso .....	64
6.3.3- Avaliação da amostra quanto ao conforto luminoso .....	67
6.4.1- Conversão de medidas funcionais em grau de pertinência .....	71

6.4.2- Avaliação de projetos em relação ao conforto funcional.....	74
7.1- Avaliação de projetos em relação as variáveis consideradas de conforto ambiental .....	76
7.2- Soluções inferiores de projeto .....	78
7.3- Conjunto de soluções não-inferiores .....	79

## Resumo

Graça, Valéria Azzi Collet da. Otimização de Projetos Arquitetônicos Considerando Parâmetros de Conforto Ambiental : O Caso das Escolas da Rede Estadual de São Paulo. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2002, p.139, Dissertação

Avaliações pós-ocupação realizadas nos prédios de escolas do Estado de São Paulo mostraram que os edifícios possuem uma série de problemas relacionados ao conforto ambiental o que permite considerar que os parâmetros atuais de projeto necessitam de uma revisão criteriosa.

Esta pesquisa apresenta um método de avaliação e otimização de projetos arquitetônicos de escolas para a rede pública estadual de São Paulo, considerando a formulação de parâmetros de conforto ambiental que são utilizados na fase de anteprojeto.

A elaboração dos parâmetros foi feita através da análise dos projetos existentes e do estudo das metodologias de projeto. Foi considerada a fase de anteprojeto, relacionando as decisões de projeto aos parâmetros pertinentes de conforto ambiental.

Os parâmetros foram qualificados por especialistas de cada área utilizando-se questionários com uma escala semântica de valores. Esta escala foi quantificada e as variáveis de projeto puderam ser associadas a valores.

O objetivo da avaliação/otimização de projeto foi maximizar diversos aspectos de conforto ambiental e qualificar as diversas soluções de projeto existentes. Para tal aplicação o conforto térmico foi considerado como uma função da localização das aberturas considerando-se a orientação e a ventilação dos ambientes, o conforto acústico como uma função da proximidade de ambientes ruidosos internos da edificação em relação a sala de aula, o conforto luminoso como uma função do formato e localização das aberturas considerando-se a orientação dos ambientes e o conforto funcional como uma função de proximidade dos ambientes.

O método de otimização foi aplicado em 35 projetos de escolas. Os resultados mostraram a existência de conflito entre os diferentes parâmetros de conforto ambiental e a importância do uso da otimização para a avaliação de projetos. Observou-se que não é possível maximizar os quatro confortos ao mesmo tempo, mas sim encontrar um conjunto de soluções de compromisso. A aplicação mostrou, também, a relevância do método de otimização como um importante instrumento de avaliação e ferramenta de projeto.

**Palavras Chave:** otimização de projeto, projeto de escolas

## 1- Introdução

O projeto arquitetônico de escolas para ensino da rede estadual é padronizado atualmente pela Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE). O programa arquitetônico é estipulado pela modulação em função de salas de aula. Os ambientes são padronizados considerando-se as dimensões mínimas, exigências ambientais, instalações, equipamentos e componentes básicos (janelas, luminárias, portas, etc). A partir desta padronização o projetista organiza o espaço dentro de um determinado terreno considerando a legislação local vigente (FDE, 1997).

A padronização gerou um modelo de projeto ou uma metodologia que considera um bom projeto como aquele que atende as restrições e diretrizes constantes em catálogos de especificação de ambientes (FDE,1997) e na norma técnica de elaboração de projetos de escolas de 1° e 2° graus<sup>1</sup> no âmbito do Estado de São Paulo (SS-493, 1994). Nota-se que o projetista usa pouco material de referência enquanto cria a forma, limitando-se a códigos e algumas listas de checagem. As avaliações como simulação e otimizações são raramente aplicadas ao projeto (KOWALTOWSKI e LABAKI ,1993; CHVATAL ET AL, 1997, 1998).

No processo de projeto as condições de conforto ambiental são raramente consideradas como um princípio de projeto, são apenas ocasionalmente usadas como uma "receita", do que como alternativas possíveis de solução de problemas. Por exemplo, no catálogo de ambientes para edificações escolares de primeiro grau,

---

<sup>1</sup> A denominação atual de 1° e 2° graus respectivamente é ensino fundamental e ensino médio

apresentado no anexo 1, as exigências ambientais para salas de aula se referem a área de ventilação e iluminação mínima relacionada a área de piso, nível de iluminamento de 300lux, iluminação natural a esquerda da lousa (vista de frente) ou iluminação zenital, ventilação cruzada obrigatória e laje obrigatória (FDE,1997).

Através de avaliações pós ocupação de edifícios escolares da rede estadual de São Paulo, verificam-se problemas referentes a condições de conforto ambiental tais como temperaturas altas no verão e baixas no inverno, iluminação natural insatisfatória, ofuscamento e incidência direta de radiação solar no plano de trabalho, perturbações acústicas causadas por ruídos externos e internos, problemas de altas densidades ocupacionais e inadequação do mobiliário a faixa etária do usuário (ORNSTEIN e BORELLI, 1996; KOWALTOWSKI ET AL,2001).

Estes problemas podem ser resultado de decisões realizadas no início do processo projetivo quando são definidas a forma geral do edifício e sua implantação. Em alguns casos o terreno acaba por limitar demasiadamente as opções do projetista, não permitindo opções de diferentes configurações sendo necessário a adoção de medidas advindas das técnicas construtivas, já em outros casos o terreno permitiria outras configurações o que pode amenizar ou evitar estes tipos de problemas.

Este fato fez surgir a possibilidade de se pensar em ambientes educacionais considerando-se critérios de avaliação que incluam parâmetros de conforto ambiental mais rigorosos que abranjam o conforto térmico, acústico, funcional e luminoso para a implantação e forma geral do edifício

Neste sentido esta pesquisa contribui com a avaliação/otimização de projeto escolar através do exame das construções escolares e identificação de alternativa para o modelamento matemático dos parâmetros de conforto ambiental que são decididos durante a fase de anteprojetos.

A estrutura do texto foi organizada em capítulos que se dividem em quatro partes. A primeira (capítulos 2 e 3) relacionada à importância da pesquisa e à

elaboração de estratégia para o seu desenvolvimento, a segunda (capítulo 4) relacionada a revisão bibliográfica inserindo esta pesquisa no seu contexto científico, a terceira (capítulos 5 a 6 ) se relaciona a definição da amostra e elaboração, qualificação e quantificação das variáveis de projeto considerando parâmetros que influenciam o conforto ambiental e a quarta (capítulos 7 e 8) se relaciona ao desenvolvimento e aplicação de metodologia de avaliação/otimização de projeto

O capítulo 3 trata da elaboração da metodologia para a avaliação/otimização de projetos descrevendo as várias etapas consideradas e os questionamentos que se pretende analisar.

O capítulo 4 trata da revisão bibliográfica englobando temas relacionados ao histórico de desenvolvimento de projetos arquitetônicos para a rede Estadual de educação em São Paulo, às metodologias de projeto, aos modelos de avaliação de projeto e à compreensão de otimização de projeto

No capítulo 5 foram analisados os projetos, considerados nesta pesquisa, em relação à forma geral da edificação e ao terreno. Através dessa análise foi possível formular tipologias de prédios de ensino e limitar o tamanho do terreno para a aplicação da otimização.

No capítulo 6 foram elaboradas, qualificadas e quantificadas as variáveis de projeto para os confortos térmico, luminoso, funcional e acústico para a fase de anteprojeto, sendo fornecido exemplos de avaliação de projeto.

O capítulo 7 trata da elaboração e aplicação da metodologia de otimização considerando-se a definição de projeto ótimo e função objetivo. Foi possível a formação de conjunto de projetos não-inferiores e a análise indicando-se os benefícios da utilização da metodologia de otimização na fase de anteprojeto

No capítulo 8 conclui-se o trabalho reforçando-se a contribuição deste estudo e indicando-se a possibilidade de sua complementação.

## **2- Objetivos**

O objetivo geral trata da conscientização por parte de projetistas e usuários do espaço escolar da importância dos parâmetros de conforto ambiental, permitindo a tomada de decisões otimizadas. O objetivo específico é a demonstração da possibilidade de avaliar anteprojetos com o conceito da otimização de parâmetros de conforto ambiental, sendo desenvolvida uma metodologia de avaliação para esta fase do projeto.

A pesquisa em conforto ambiental objetiva a formulação de critérios de avaliação de projeto considerando a disposição espacial dos ambientes e a implantação do edifício.

A aplicação destes critérios nos projetos existentes visa a análise da metodologia de avaliação e o estabelecimento da relação entre os parâmetros de conforto ambiental.

### **3- Revisão Bibliográfica**

A revisão bibliográfica procurou reunir informações para contextualizar a pesquisa em quatro aspectos: primeiro foi realizada a compreensão dos problemas existentes nos prédios de ensino fundamental e médio através do levantamento histórico e das avaliações pós-ocupação. Em segundo lugar, foi verificada a dificuldade em enquadrar o processo projetual em metodologias de projeto, e foi indicado um modelo geral considerando as principais fases realizadas pela prática profissional, notando-se a otimização implícita na fase de avaliação. Em terceiro foram verificados os modelos de avaliação de projeto, constatando-se o pouco uso da otimização de projeto e finalmente em quarto, descreve-se o conceito de otimização de projeto que se pretende implementar com esta pesquisa

#### **3.1- Levantamento histórico e avaliação pós-ocupação**

A intenção deste breve levantamento histórico e da avaliação pós-ocupação foi compreender como ocorreu a evolução dos prédios de ensino estadual, qual foi a sua finalidade e como o espaço para esta atividade foi construído. Através desta compreensão, foi possível verificar quais são os parâmetros considerados de projeto no modelo vigente, por que estes projetos geralmente são considerados insatisfatórios e como a otimização de projeto pode contribuir para a melhoria dos espaços escolares.

O histórico da arquitetura escolar paulista é dividido em seis períodos (FDE,1998; ORNSTEIN E BORELLI 1996): As escolas executadas na primeira república, na administração de Armando Sales, pelo Convênio Escolar, pelo Fundo

Estadual de Construções Escolares (FECE), sob coordenação da Companhia de Construções Escolares de São Paulo (CONESP) e pela Fundação para o Desenvolvimento Educacional (FDE).

As escolas produzidas durante a primeira república foram projetadas e executadas principalmente entre os anos de 1894 e 1910. Essas construções obedeciam a um programa arquitetônico composto basicamente de salas de aula e de um reduzido número de ambientes administrativos. Caracterizavam-se em especial pela simetria da planta, na qual se identificava a rígida separação entre as seções masculina e feminina. O código sanitário determinava que nos fundos ou na lateral fossem construídos galpões para ginástica. Os edifícios da época eram considerados de ótima qualidade do ponto de vista construtivo.

Nas escolas executadas entre os anos de 1934-1937, administração de Armando Sales, foram implementadas as definições de critérios de projetos, tais como o dimensionamento das salas de aula, os materiais de acabamentos, as cores, o dimensionamento e posicionamento de janelas e a insolação. Com o advento do estado novo houve a interrupção deste trabalho que foi retomado pelo convênio escolar

Os projetos de escolas produzidos pelo convênio escolar de 1949-1954, passam a possuir uma conceituação moderna, mais funcional. Em relação a orientação das salas de aula era recomendado o posicionamento de norte a nordeste. Neste período foram criadas 68 escolas, porém a necessidade de se edificar rápido e a pressão dos custos, fez com que estas obras tivessem uma qualidade ruim.

As escolas executadas pelo FECE (Fundo Estadual de Construções escolares - 1960 governo Carvalho Pinto) segundo Sami Bussab (FDE,1998), possibilitou a concepção de obras escolares notáveis. Fazia-se a arquitetura pela arquitetura. Vãos generosos, pátios amplos. Mas tudo sem uma sistematização ou sem uma interpretação do que era o processo pedagógico no que diz respeito a arquitetura. O partido que o arquiteto adotava não respondia às necessidades pedagógicas podendo-se inferir que a qualidade do prédio como um ambiente educacional era insatisfatória.

O projeto escolar sob a coordenação do CONESP (Companhia de Construções Escolares de São Paulo -1976), diante da demanda crescente, passou por um processo de normatização de materiais e componentes. A proposta básica era sintetizar e itemizar as principais informações necessárias aos projetistas. A apresentação do projeto seguiria normas estabelecidas para cada etapa, baseados nos catálogos de componentes, serviços, conjuntos funcionais e seus ambientes. A padronização teve em vista o sentido dimensional, fixando-se a área em módulos e a padronizando-se os componentes. Sobre este tema tem-se que:

“Os projetos passaram a se converter numa espécie de jogo de armar (...) o ideal não estaria na rigidez das normas nem na liberdade total. Os dois extremos acabam produzindo, no caso específico da arquitetura escolar, resultados insatisfatórios” (FDE,1998).

Atualmente a Fundação para o Desenvolvimento Escolar, criada em 1987 assume as atribuições da CONESP, mantendo a mesma filosofia de projetos e obras.

Neste breve histórico percebe-se que os projetos de prédios escolares seguiram uma racionalização que em certos momentos segue o princípio de construir um ambiente educacional proporcionando o conforto do usuário.

A dicotomia existente entre a demanda e a criação deste ambiente educacional, fez com que se priorizasse a construção de mais salas de aula no ritmo crescente imposto pela demanda, o que permite considerar a necessidade de avaliação e melhoria dos projetos escolares.

Parâmetros de projeto foram implementados porém através de pesquisa pós-ocupação, percebe-se a existência de problemas que podem ser evitados com a utilização de parâmetros mais rigorosos e com a utilização da otimização de projeto na fase de anteprojeto.

Na pesquisa realizada em 15 escolas na cidade de Campinas, foram feitas avaliações técnicas (medições e observações) e aplicados questionários aos usuários, com o objetivo de investigar as condições de conforto ambiental (funcional, térmico, acústico e visual) dos prédios e de elaborar intervenções simples para a melhoria destas condições (KOWALTOWSKI ET AL,2001).

Em relação ao conforto funcional pesquisou-se sobre área e dimensões dos ambientes, número e tipo de ocupantes, a quantidade e dimensões dos mobiliários e sua adequação às estaturas dos usuários, equipamentos e arranjo físico das salas de aula. Foram observados:

- pouca variedade de mobiliário disponível nas escolas.
- incompatibilidade da dimensão do mobiliário com a faixa etária de seus usuários.
- falta de salas de aula, biblioteca, banheiros, depósitos, equipamento audiovisual e carteiras;
- ambientes adaptados que na maioria das vezes não são plenamente satisfatórios para as atividades atuais.
- programa de necessidades dos projetos arquitetônicos na sua maioria não corresponde as necessidades reais do ensino atual, apontando para reestruturações físicas complexas em muitos casos.
- 40% das salas estudadas apresentaram área por aluno abaixo do recomendado (1.00m<sup>2</sup>/aluno conforme legislação vigente, SS-493, 1994).
- pouca variedade na organização do mobiliário em sala de aula, na maioria dos casos a superlotação impede a flexibilidade dos arranjo da sala de aula.

Em relação ao conforto térmico foram feitas observações de cada sala, sobre os elementos de proteção solar, reflexão da radiação por superfícies vizinhas, aberturas de ventilação, abertura de janelas e portas, presença de ventilador. Também foram feitas medições das temperaturas com instrumentos, os resultados foram:

- a maioria dos ambientes das escola tem orientação leste ou oeste.

- os problemas na maioria das escolas são o desconforto no período da manhã no inverno e no período da tarde no verão.
- os pátios em sua maioria foram considerados desconfortáveis devido a grande exposição ao vento e falta de proteção contra insolação.
- Insolação direta sobre os usuários

No conforto visual foram feitas medições dos níveis de iluminação e avaliação dos usuários. Foram verificados:

- na maioria das salas pesquisadas há distribuição não uniforme da iluminação.
- nível de iluminação fora das recomendações. (o mínimo exigido é de 500 lux segundo resolução SS-493,1994)
- a maioria das avaliações feitas através de questionários mostra incoerência quando comparadas com os índices de iluminação recomendados.
- manutenção precária das lâmpadas.
- utilização padronizada de número de lâmpadas independente do tamanho da sala
- ofuscamento no plano de trabalho e na lousa

O conforto acústico foi verificado através de questionários aos usuários e medições técnicas de nível de pressão sonora. Foram observados que:

- quase a totalidade das escolas apresentaram nível de pressão sonora (NPS) superior ao recomendado por norma e tempo de reverberação prolongados.
- salas de aula com janelas voltadas para ruas ruidosas apresentaram NPS elevado
- salas de aula próximo ao pátio ou com corredores largos e extensos apresentaram NPS mais elevado.
- fontes de ruído interno e as fontes de ruído externo são semelhantes em todas as escolas.
- os usuários alunos nem sempre notam o problema

Na avaliação realizada em 27 escolas da Grande São Paulo (ORNSTEIN e BORELLI 1996) foram avaliados, entre outros, itens básicos relativos ao conforto

ambiental considerando quatro setores do edifício: pedagógico constituído de ambientes destinados a aulas práticas e comuns; administrativo constituído por salas do diretor, assistente, secretaria, almoxarifado, dos professores e do coordenador/orientador; vivência constituído pelo galpão, local de merenda, cozinha, despensa, centro cívico, assistência escolar, cantina, depósito, local de educação física e vestiário de alunos; serviços gerais constituído de sanitários da administração, dos alunos e vestiários de funcionários, depósito de material de limpeza e zeladoria . As avaliações não incluíram medições técnicas e a base dos dados foram questionários e observações.

Quanto aos aspectos referentes ao conforto térmico (foram considerados os setores pedagógico, de vivência e administrativo) foi verificado que:

- a temperatura no verão foi considerada elevada em mais de 50% dos casos no setor pedagógico.
- a temperatura no inverno foi considerada baixa em mais de 60% dos casos em todos os setores.
- a ventilação foi considerada nos três setores satisfatória e ótima em mais de 80% dos casos nos três setores

No conforto luminoso (foram considerados os setores pedagógico, de vivência e administrativo) foi verificado que:

- a iluminação natural foi considerada insatisfatória em mais de 30% dos casos no setor pedagógico, em mais de 40% dos casos no setor administrativo e em mais de 20% no setor de vivência.
- o ofuscamento no plano de trabalho foi verificado em mais de 30% de casos nos setores pedagógico e administrativo.
- a incidência direta da radiação foi verificada em mais de 60% dos caso nos setores pedagógico e de serviços.

No conforto acústico (foram considerados os setores pedagógico, de vivência e administrativo) foi verificado que:

- os ruídos externo em mais de 30% dos casos, foi considerado ruim ou insatisfatório nos três setores (a maioria das escolas situaram-se na periferia da Região Metropolitana e/ou em vias de pouco tráfego de veículos automotores).
- os ruídos internos em mais de 60% dos casos, nos setores pedagógico e administrativo foi considerado insatisfatório e ruim (na maioria dos casos não há tratamento acústico de vedos e forros)

No conforto funcional foi verificado que:

- a flexibilidade do arranjo espacial e mobiliário foi considerado insatisfatório em mais de 40% dos casos nos setores administrativo e de serviços gerais e em mais de 20% dos casos nos setores pedagógicos e de vivência.
- a circulação foi considerada na maioria dos casos ótima e satisfatória.
- a quantidade de pessoas no mesmo espaço de trabalho/estudo foi considerada insatisfatória em mais de 30% dos casos no setor de vivência e mais de 20% nos demais setores.
- a dimensão dos ambientes por setor foi considerada insatisfatória em mais de 20% dos casos em todos os setores e ruim em mais de 10% no setor administrativo e em mais de 5% no setor de serviços gerais.
- a disponibilidade de espaço no setor de serviços gerais foi considerada insatisfatória e ruim em mais de 60% dos casos.
- a disponibilidade de espaço para leitura e acervo (biblioteca) foi considerada insatisfatória e ruim em mais de 80% dos casos.

Observa-se nestas duas avaliações pós-ocupação que muitos problemas poderiam ser evitados se parâmetros mais rigorosos, cujas decisões são realizadas na fase de anteprojeto como é o caso da implantação do edifício, fossem considerados. Como exemplo tem-se: os problemas de orientação das salas de aula que em sua maioria se localizam à leste ou oeste, o que pode causar além do desconforto térmico o

ofuscamento no plano de trabalho e na lousa, problemas de localização do pátio o que pode causar a insatisfação do usuário e a medição por instrumentos fora dos padrões normatizados.

Além destes, que são de interesse específico nesta pesquisa, pode-se ainda apontar a reestruturação do espaço físico e o uso de ambientes adaptados como uma forma de solucionar problemas advindos da falta de espaços específicos para certas atividades, ou da mudança da própria função à que o espaço se destinava .

### **3.2 Metodologia de projeto**

Os problemas detectados nas avaliações pós-ocupação indicam a necessidade de verificar as metodologias de projeto. É importante verificar a origem das falhas e estabelecer procedimentos que incluam em seu processo a tomada de decisões em alguns casos otimizadas.

As metodologias utilizadas atualmente para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos, geralmente, consistem em análise e síntese, em tentativas e erros. Nem sempre proporcionam uma visão geral clara de seus objetivos e muitas vezes não permitem, ou não se preocupam com o armazenamento das informações referentes às decisões efetuadas. Assim sendo, muitas vezes o projeto é considerado e tratado de forma empírica, não sendo constatado o desenvolvimento de uma metodologia genérica que possibilite o compartilhamento do processo, das informações e das avaliações (SUH, 1998).

As metodologias de projeto podem ser vistas como abstrações e reduções utilizadas para compreender o fenômeno projetivo. Existe um consenso entre os teóricos de que a intuição é uma parte importante do processo e de que o modelo de projeto não é uma seqüência linear de atividades exatas, uma vez que o projetista não possui amplo conhecimento da natureza do objeto de projeto e seu processo de pensamento não pode ser considerado totalmente racional (LANG,1987).

Relatada por vários autores a complexidade do campo projetivo arquitetônico (DÜLGEROGLU,1999; JUTLA,1996; FERNANDES,1998; BARROSO-KRAUSE, 1998) :

- situa-se num campo intermediário entre Ciência e Arte tendo que responder à questões não perfeitamente definidas permitindo múltiplas abordagens.
- possui subáreas (representação da forma, história e teoria, tecnologia de construções, estudo das estruturas, entre outras) que se desenvolvem de maneira independente, cada uma com um tipo de dialeto, sendo necessário integrá-los na concepção do projeto.
- possui o conhecimento universal para fazer normas e padronização e o conhecimento específico para cada caso. Assim sendo todo problema é único e portanto cada solução está baseada em um conjunto diferente de critérios.

Devido a esta complexidade as dificuldades em enquadrar as características do processo projetivo em metodologias são grandes, uma vez que o processo de criar formas em arquitetura, é na sua maioria informal, individual ou pertencente à escolas com regras estéticas (KOWALTOWSKI e LABAKI,1993).

Os projetistas procuram regras na criação da forma. Estudos do processo criativo indicam pelo menos cinco tipos de heurísticas<sup>2</sup> aplicadas na solução de projetos: analogias antropométricas (se baseiam no corpo humano e nos limites dimensionais); analogias literais (uso de elementos da natureza como inspiração da forma); relações ambientais (aplicação com maior rigor de princípios científicos ou empíricos da relação homem-ambiente tais como clima da região, tecnologia e recursos disponíveis); tipologias (permite a aplicação de conhecimento de soluções anteriores à problemas relacionados, podendo-se separar modelos de acordo com tipos de construção, tipos organizacionais, tipos de elementos ou protótipos) e linguagens formais (estilos adotados por grupos ou escolas de projetistas) (ROWE, 1992 APUD KOWALTOWSKI ET AL, 2000).

---

<sup>2</sup> A heurística é definida como qualquer princípio, procedimento ou artifício que contribui para a redução da pesquisa para uma solução satisfatória. (Newell, Shaw and Simon,1967 e Simon 1969 citados em Rowe, 1992); é um termo aplicado a uma estrutura específica de um problema

O processo de projeto pode ser descrito de várias maneiras e em vários níveis de generalização. Existem muitos estudos que relatam metodologias e teorias de projeto (BROADBENT,1973; ROWE,1992; EVBUOMWAN ET AL,1996). A *teoria* de projeto considera uma coleção de princípios úteis para explicar o processo de projeto e proporcionar o fundamento básico para propor metodologias. Ela explica o que é o projeto e o que se tem feito no ato projetivo. A *metodologia de projeto*, por outro lado, é a coleção de procedimentos, ferramentas e técnicas utilizadas pelo projetista. A metodologia de projeto é prescritiva, indicando como projetar e a teoria de projeto é descritiva, indicando o que é o projeto (EVBUOMWAN ET AL,1996).

Pode-se considerar o processo de projeto como um número de atividades intelectuais básicas organizadas em fases de características e resultados distintos. Estas atividades são análise, síntese, previsão, avaliação e decisão. Na prática algumas podem ser realizadas através da intuição, algumas de forma consciente e algumas através de um padrão (LANG,1987).

O projeto arquitetônico faz parte da família de processos de decisão, podendo-se considerar as principais fases do modelo geral que traduzidas pela prática profissional dos projetistas se dividem em: programa, projeto, avaliação e decisão, construção e avaliação pós-ocupação. Sendo que em cada fase podem ser realizadas uma série de atividades. (LANG,1987; PAPALAMBROS e WILDE,1988).

Na rotina dos escritórios de arquitetura verifica-se ainda a divisão da fase de projeto em croquis, anteprojeto e projeto de execução. Sendo que no croquis a liberdade de escolha é maior e as restrições pequenas quando comparadas às fases seguintes (BARROSO-KRAUSE,1998).

Assim pode-se admitir um modelo geral de processo de projeto considerando as principais fases realizadas pela prática profissional:

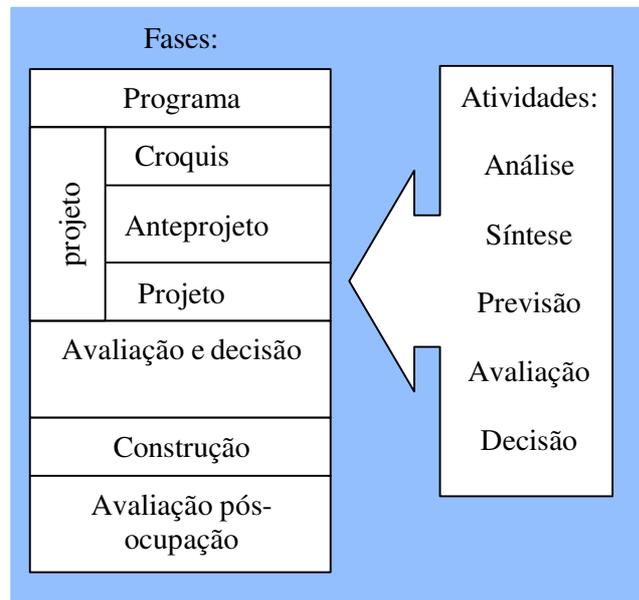


Fig.3.1 - Modelo geral de processo de projeto baseado em LANG (1987) e BARROSO-KRAUSE(1998).

### 3.3 – Modelos de avaliação de projeto

A avaliação de projeto tem sido feita de um modo geral, considerando-se métodos que englobam *checklists*, a seleção de critério, classificação e atribuição de pesos, especificações escritas e índices de confiabilidade (JONES,1980).

Os *checklists* permitem o uso de conhecimento dos requisitos que foram considerados relevantes em situações similares. As dificuldades de emprego deste método se referem ao tempo necessário para ler e raciocinar quando as listas são longas e pelo fato de se basearem em suposições que podem distanciar o projetista de uma nova solução (JONES,1980).

A seleção de critério permite reconhecer um projeto aceitável. Possui como dificuldade a rigidez numérica para representar zonas de incerteza. Pode ser um processo demorado e com custos elevados (JONES,1980).

A classificação e a atribuição de pesos à um conjunto de objetivos é utilizada para comparar um conjunto de projetos alternativos utilizando-se uma escala de medidas. Não é considerado um método confiável pois o que se faz é classificar ou atribuir pesos à objetivos que nem sempre podem ser comparados podendo-se ocultar informação de cada objetivo (JONES,1980).

As especificações escritas são utilizadas para descrever uma saída aceitável para o projeto. É um procedimento pelo qual o cliente ou equipes de legislação de segurança definem soluções mínimas aceitáveis. Assume-se que as pessoas que fazem estas especificações conhecem melhor as condições que devem ser satisfeitas. As dificuldades se referem ao tempo de elaboração e ao nível de detalhamento das especificações que podem prejudicar a liberdade para a criação de novas soluções (JONES,1980).

Índices de confiabilidade permitem aos projetistas inexperientes identificar componentes incertos/inseguros sem a necessidade de testes. Trata-se de pesquisa à projetistas mais experientes na estimativa do grau de confiabilidade que cada item possui no projeto. No caso do projeto arquitetônico pode-se, por exemplo, considerar como item de projeto as definições de orientação da fachada, tipos de janela, tipos de acabamento, forma do ambiente entre outros. O princípio presente neste procedimento é o mapeamento do julgamento humano para um modelo aritmético. Não se pode garantir que um produto que possui grande número de componentes com índices baixos de insegurança seja um produto seguro (JONES,1980).

Nos últimos anos, a complexidade do projeto e da avaliação da qualidade ambiental das construções de grande porte, tem aumentado por diversas razões:

- avanço rápido da tecnologia;
- mudança de percepção e de demanda dos proprietários de edificações;
- aumento da importância do prédio como um facilitador da produtividade,
- aumento da troca de informações e do controle humano;

- necessidade de criação de ambientes sustentáveis considerando-se temas tais como eficiência energética, construção passiva e projeto ecológico.

Esta complexidade fez com que o uso do computacional, para a avaliação do desempenho dos prédios, entrasse no processo como ferramenta de suporte ao projeto, verificando-se na fase de avaliação, o crescente surgimento de ferramentas de simulação. Tais ferramentas permitem aos projetistas avaliarem o impacto do projeto em diferentes campos tais como, desempenho energético e sistemas de refrigeração, ventilação e qualidade do ar interno, iluminação natural e artificial, desempenho acústico, entre outros (WONG ET AL, 2000).

Na análise de WONG ET AL (2000), EBEHARD e O'DONOVAN (1990) e HANTINGS (1989):

- 1- A maioria das ferramentas desenvolvidas para a análise energética e dimensionamento de sistemas de refrigeração possuem a intenção de verificar normas, não proporcionando necessariamente suporte no processo de projeto.
- 2- A análise da ventilação e da qualidade do ar depende de uma série de fatores, tais como circulação interna e externa do ar (correntes de ar), emissão de poluentes, ar condicionado e ventilação natural. As ferramentas são classificadas em modelos estruturais de multi-zonas e modelos de dinâmica de fluídos. Para o uso dos modelos estruturais é necessário considerar todas as aberturas da edificação. Nos modelos de dinâmica dos fluídos são utilizados métodos de modelamento matemático avançados, sendo necessário uma quantidade grande de dados de entrada e o conhecimento das leis da física referente à circulação, ao transporte de energia e à conservação de massa, além do uso de computadores potentes.
- 3- As ferramentas para simulação da iluminação natural e artificial geralmente utilizam métodos específicos que calculam a iluminação direta no plano de trabalho possuindo como restrição a simplicidade ortogonal geométrica do ambiente.
- 4- São poucas as ferramentas para o desempenho acústico. Programas utilizam o método de elemento finito e o método de elemento de contorno. A maioria das

ferramentas permitem o cálculo do tempo de reverberação, a distribuição do som, e os efeitos dos materiais utilizados nas paredes, teto e piso.

Observa-se que a maioria das ferramentas de simulação foram desenvolvidas para usos específicos. O processo é caracterizado pelo desenvolvimento do projeto e verificação de seu desempenho, caso este seja insatisfatório são feitas alterações e o processo de simulação se repete até ser encontrada uma solução satisfatória. O que mudar e como mudar geralmente depende da experiência do projetista. As maiores deficiências da simulação são que geralmente produz uma série de informações de vários aspectos do desempenho de apenas uma solução de projeto por vez e não proporciona informação de como comparar o desempenho de diversas soluções, ou seja não garante que a melhor solução seja identificada (BALACHANDRA,1996).

Estes problemas da simulação tendem a serem solucionados através do uso de sistemas integrados, de adaptações de programas a realidade de cada contexto em que for utilizado, dos avanços tecnológicos e de novas maneiras de se conceber o processo de projeto (WONG ET AL, 2000).

A crescente preocupação com fatores ambientais fez surgir recentemente, a avaliação do desempenho ambiental dos edifícios indicando medidas para a redução de impactos através de alterações na forma como os edifícios são projetados, construídos e gerenciados ao longo do tempo. Os principais modelos de avaliação de desempenho ambiental de edifícios são (SILVA, 2000) :

- BREEAM (Building Reserch Establishment Environmental Assessment Method) do Reino Unido, lançado em 1990 e composto de um checklist que verifica o atendimento de itens mínimos de desempenho, projeto e operação dos edifícios. Vários outros sistemas foram gerados e estão em desenvolvimento considerando-se este modelo.
- BEPAC (Building Environment Performance Assessment criteria) do Canada, lançado em 1993, dedica-se à avaliação de edifícios comerciais constituído

basicamente de checklist que atribuem créditos a ações de projeto, construção ou gerenciamento.

- LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) dos Estados Unidos, lançado em 1996, originalmente desenvolvido para edifícios comerciais posteriormente aplicado aos edifícios institucionais e residenciais de múltiplos pavimentos, possui uma estrutura simples e considera conceitos ambientais e de uso de energia estabelecidos em normas e recomendações de organismos com credibilidade reconhecida. Também é constituído de checklist.
- GBC (Green Building Challenge) trata-se de um consórcio internacional com o objetivo de desenvolver um método para a avaliação do desempenho ambiental (GBtool), caracterizado por possuir maior flexibilidade podendo-se considerar diferentes prioridades, tecnologia, tradições construtivas ou valores culturais de diferentes países ou regiões. Utiliza um sistema de pontuação projetado para tentar acomodar critérios quantitativos e qualitativos.

As avaliações ambientais dos edifícios compreendem pelo menos cinco categorias: utilização de recursos naturais, geração de poluição e emissões, comprometimento dos agentes e qualidade do monitoramento da operação do edifício, qualidade do ambiente interno e contexto de inserção. Os modelos de avaliação existentes não englobam necessariamente todas as categorias de avaliação (SILVA, 2000).

Os modelos de avaliação de desempenho ambiental de edifícios, de acordo com SILVA (2000), são aplicados como suporte à introdução de gerenciamento ambiental das seguintes maneiras:

- como instrumentos para divulgação mercadológica (fornecendo meios aos consumidores para selecionar um produto com base nas suas características ambientais),
- para especificação do desempenho ambiental de edifícios (sendo necessário estabelecer níveis de referência para a definição de metas ambientais),

- como auxílio ao projeto (embora não tenham sido desenvolvidos com esta finalidade, na ausência de alternativas melhores são freqüentemente utilizados como ferramentas de auxílio a tomada de decisão),
- para estabelecimento de normas de desempenho ambiental (tendência da normalização mudar da orientação voltada a dispositivos para centrar-se no atendimento às metas de desempenho incorporando requisitos globais de desempenho em normas de edificações) e
- para auditorias ambientais (identificando os componentes críticos no desempenho dos edifícios, avaliando o impacto potencial das diferentes alternativas de renovação e selecionando alternativas de menor custo com mesma eficiência ambiental).

Até pouco tempo, não havia no Brasil um grupo organizado para avaliar o desempenho ambiental dos edifícios. Trata-se de uma área nova em fase de amadurecimento, a validade da pesquisa é de consenso internacional. Fato importante é o início da participação brasileira no GBC, onde espera-se a construção de suporte científico nacional com ênfase nos procedimentos de coleta e tratamento de dados e definição de parâmetros locais relevantes (SILVA, 2000).

### **3. 4 Otimização de projeto: A seleção da “melhor” alternativa.**

Tradicionalmente a seleção da melhor alternativa pode ser chamada de otimização de projeto. Os modelos de otimização se caracterizam por possuírem critério de avaliação, onde o "melhor" projeto selecionado é dito projeto ótimo e o critério usado é o objetivo do modelo (PAPALAMBROS E WILDE,1991). Nota-se, no entanto, que um modelo para selecionar o “melhor projeto” permeia todo o processo projetivo e que o desenvolvimento de modelo para a avaliação influencia e é influenciado por todas as fases de projeto.

O propósito principal da teoria de otimização é ajudar o projetista na seleção de um projeto que pertence a um conjunto de soluções viáveis ao problema,

proporcionando direcionamento ao processo de decisão através da comparação entre os projetos e da seleção do “melhor” (STADLER E DAUER, 1992).

Inicialmente as técnicas de otimização eram concebidas com um único objetivo como por exemplo o custo ou o tamanho, o que não era adequado ao problema de projeto que possui diversos parâmetros. Por este motivo surgiu a pesquisa e o desenvolvimento de tomada de decisão baseado em múltiplos critérios (BALACHANDRAN, 1996).

As raízes da otimização multicritério surgiram na economia. A primeira definição de ótimo para um problema de otimização multicritérios foi estabelecida por Edgeworth, 1881 (apud STADLER E DAUER, 1992), onde para dois consumidores P e ? é necessário encontrar um ponto  $(x,y)$  de tal forma que em qualquer direção que este ponto se mova, P e ? não melhoram juntos, ou seja enquanto um aumenta o outro diminui, conforme se visualiza na figura 3.2

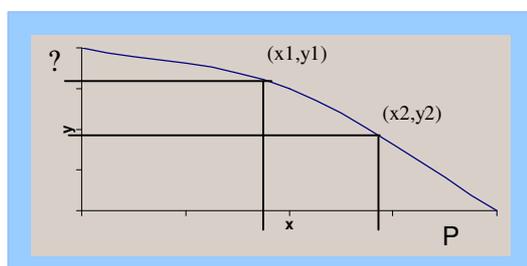


Fig. 3.2 Definição de ótimo em um problema de otimização multicritério.

Esta situação de compromisso também é chamada de decisão ótima de “Edgeworth-Pareto”, ou seja, na otimização multicritério é necessário encontrar o conjunto de soluções de projeto não-inferiores onde dois critérios não melhorem juntos. Assim divide-se as soluções de projeto em conjuntos que possuem compromisso e em conjuntos sem compromisso ou conjunto ótimo e conjunto não ótimo (STADLER E DAUER, 1992).

As primeiras bibliografias referentes a otimização multicritério na engenharia ocorreram em 1963 (Zadeh) e 1964 (Nelson) e a primeira aplicação provavelmente é o artigo de Stadler e Leitmann (1972) (apud STADLER E DAUER, 1992).

A maioria das aplicações de otimização multicritério se refere à problemas da engenharia mecânica, elétrica e questões estruturais (STADLER E DAUER, 1992). Também são encontrados exemplos na área de planejamento de recursos e problemas ambientais (STADLER,1988). Especificamente em arquitetura existem exemplos de dimensionamento de planta baixa (BALACHANDRAN,1996), de análise de custo/benefício com o objetivo de maximizar o espaço de residência multifamiliar para a população de baixa e média renda (CHAKRABATY,1996), de planejamento urbano (MATSUASHI, 1997) e de dimensionamento de aberturas (ALUCCI,2000).

A otimização prescreve um conjunto de decisões de projeto de forma a encontrar um conjunto específico de desempenhos. São estabelecidos os valores das variáveis que ao mesmo tempo satisfazem os requisitos e otimizam o conjunto de objetivos.

A formulação de um problema de otimização, de acordo com PAPALAMBROS E WILDE (1991) envolve:

- A seleção de um conjunto de variáveis para descrever as alternativas de projeto.
- A determinação de um conjunto de restrições expresso em termos das variáveis de projeto que devem ser satisfeitas por qualquer projeto aceitável.
- A seleção de um objetivo (critério), expresso em termos das variáveis de projeto, o qual buscamos minimizar ou maximizar.
- A determinação de um conjunto de valores para as variáveis de projeto que minimiza (ou maximiza) o objetivo, enquanto satisfazendo todos as restrições.

Para STADLER E DAUER (1992), a otimização de projeto envolve:

- A seleção de um modelo matemático relacionado ao fenômeno físico, que geralmente pode ser checado pela experimentação.

- A seleção de um conjunto de projetos que atendam as restrições do modelo matemático.
- A seleção de uma preferência para a comparação entre projetos. Esta comparação deve ser binária. Geralmente tenta-se estabelecer a relação de preferência (?) ou de equivalência (~) entre projetos.
- A seleção de um conceito de otimalidade ou a seleção do projeto ótimo de acordo com a preferência estabelecida.

Na prática a garantia de encontrar o melhor projeto é ilusória, na verdade se encontra o melhor projeto dentro de um conjunto existente de projetos (STADLER e DAUER 1992). Raramente os projetistas podem identificar todas as soluções possíveis de um problema, as decisões são realizadas de forma a satisfazer um requisito em um certo momento. Estas decisões podem ser vistas como subótimas ou como decisões satisfatórias (ROWE,1992).

Esta pesquisa pode ser inserida na avaliação do desempenho da edificação considerando-se as questões relativas à qualidade do ambiente interno nos aspectos relacionados ao conforto ambiental. Procura-se avaliar e comparar projetos através de parâmetros acústicos, térmicos, luminosos e funcionais. Permitindo assim, uma melhor tomada de decisão e a seleção do melhor projeto dentro das alternativas desenvolvidas. Acredita-se que estes parâmetros sejam conflitantes assim sendo pode-se considerar a aplicação de otimização multicritério para o projeto de escolas.

## 4- Materiais e Métodos

Os materiais utilizados para a formulação de metodologia de avaliação/otimização de projetos de escolas da rede estadual de São Paulo, foram formados por uma amostra de trinta e nove projetos: vinte e cinco se encontram representados no livro *Arquitetura Escolar e Política Educacional: Os Programas na Atual Administração* (FDE, 1998) e catorze projetos se encontram representados no relatório final da avaliação pós-ocupação realizada pela UNICAMP à escolas de Campinas (KOWALTOWSKI ET AL, 2001).

Estes projetos foram analisados quanto à influência do terreno em relação à síntese da forma. Procurou-se delimitar o tamanho mínimo da largura, do comprimento e da relação destas duas medidas do terreno da amostra, de modo a permitir uma certa flexibilidade de decisões em projeto. Considerou-se que terrenos com dimensões menores que as estipuladas não fariam parte do conjunto de soluções viáveis para a aplicação da metodologia de otimização. A maioria dos projeto implantados nesses terrenos sofrem grandes restrições devido ao tamanho do terreno o que prejudica a tomada de decisões otimizadas no anteprojeto.

A definição das soluções viáveis de projeto, realizada com a limitação do terreno, foi seguida da formulação de parâmetros de conforto ambiental para a fase de anteprojeto. Notou-se que nesta fase de projeto as principais decisões realizadas pelos projetistas tratam da implantação geral dos ambientes educacionais. Por este motivo foram considerados como parâmetro de **conforto térmico** a orientação dos ambientes e sua ventilação, de **conforto acústico** a proximidade entre ambientes ruidosos (pátio e área recreativa) e sala de aula, de **conforto funcional** a proximidade entre ambientes

que afetam diretamente a rotina da escola como sala de aula, banheiro e pátio, finalmente como parâmetro de **conforto luminoso** a orientação, disposição das aberturas e o formato da sala de aula.

Realizada a definição dos parâmetros de conforto ambiental para a fase de anteprojeto, foram analisadas as variáveis encontradas nas soluções viáveis de projeto para cada parâmetro.

A modelagem matemática destas variáveis de projeto passou por várias decisões. Primeiro foi necessário definir uma maneira de qualificá-las de modo a permitir, posteriormente, uma unidade de quantificação única para todos os confortos. As perguntas foram: Como comparar projetos que possuem variáveis relacionadas ao conforto térmico geralmente qualificado por medidas relacionadas à temperatura, ao conforto luminoso com medidas em luxes, ao conforto acústico com medidas em decibéis e ao conforto funcional com medidas relacionadas à área por usuário, ergonomia entre outras? Como considerar os quatro confortos em conjunto? Qual medida utilizar para este conjunto de variáveis?

As decisões desta primeira etapa passaram por considerações da unificação de medidas através da utilização da escala semântica, da avaliação de algumas variáveis por especialistas e da avaliação de outras variáveis através de medidas retiradas dos projetos considerados.

Foi necessário formular entrevistas e quantificar variáveis. A etapa de formulação do modelo matemático trouxe algumas questões: Como elaborar a entrevista para que cada aspecto de conforto fosse qualificado de fato pelo especialista, sem a necessidade de procedimentos matemáticos (inferir algum tipo de consideração) na união de parâmetros de um mesmo conforto como é o caso do conforto térmico e do luminoso? Como transformar medidas retiradas de projetos em diferencial semântico?

Nesta segunda etapa da elaboração da modelagem matemática da metodologia de avaliação/otimização de projetos, foram elaboradas as entrevistas e aplicadas à três

especialistas de conforto térmico, conforto luminoso e conforto acústico. Quanto ao conforto funcional foram realizadas medições nos projetos existentes e elaborada a transformação destas para o diferencial semântico.

A partir destas decisões fez-se necessário transformar o diferencial semântico (péssimo, ruim, bom, muito bom e ótimo) um dado qualitativo em um dado quantitativo. A pergunta que se fez foi: Como transformar um dado qualitativo, pouco definido, que possui presença de subjetividade e imprecisão em um dado quantitativo?

Considerou-se a teoria dos sistemas nebulosos (Fuzzy sets) como alternativa para esta modelagem, uma vez que esta matemática foi desenvolvida para tratar de problemas que contenham informações desta natureza. Sendo utilizado o grau de pertinência para transformar a escala semântica em dado quantitativo.

Elaborando-se o modelo matemático de cada conforto ambiental, foi realizada a avaliação dos projetos objeto desta pesquisa. Cada projeto possui um conjunto composto de quatro avaliações.

Ainda foi necessário definir a função objetivo da metodologia de avaliação/otimização. Ou seja o que seria considerado para a seleção de um conjunto de projetos ótimos, quais projetos possuem solução de compromisso? Considerou-se nesta fase que a função objetivo do modelo se faz pela maximização do conjunto de conforto ambiental, portanto os projetos considerados não-inferiores possuem pelo menos uma variável de projeto superior quando comparado à outro projeto.

Com a elaboração da metodologia de avaliação/otimização de projeto foi possível reduzir o número de soluções de projeto considerando-se apenas os projetos que possuem solução de compromisso. Estes projetos são considerados soluções ótimas do conjunto de projetos avaliados. A análise demonstrou a importância de avaliar anteprojetos com o conceito de otimização.

## 5- Qualificação da Amostra

Como descrito na metodologia esta pesquisa utiliza uma amostra de projetos escolares de ensino da rede pública estadual como base de avaliação e otimização de projeto.

Neste capítulo segue a definição desta amostra através da aplicação de dois parâmetros: a tipologia da planta da edificação e critérios de implantação (dimensões do terreno) que possibilitam a otimização do projeto.

### 5.1- Tipologia de prédios de ensino da rede pública estadual.

A diversidade de projeto de prédio escolar da rede estadual possibilita a identificação de modelos através da consideração da forma dos edifícios.

A forma do edifício influencia os parâmetros de conforto ambiental nos seus vários aspectos: **no conforto térmico** pode ocorrer a criação de correntes de vento, o sombreando de áreas livres ou envidraçadas, o aumento ou diminuição da carga térmica através de telhados e quantidade de faces expostas ao sol; **no conforto acústico** pode-se ampliar ou diminuir o ruído interno e externo na edificação através da localização de corredores ou barreiras; **no conforto funcional** pode-se aumentar ou diminuir a trajetória percorrida entre os diversos ambientes educacionais e **no conforto luminoso** pode-se criar o ofuscamento do plano de trabalho através da incidência direta ou indireta dos raios solares de acordo com a orientação e aumentar ou diminuir o nível de iluminação natural.

A definição da amostra iniciou-se com trinta e nove projetos de edificação escolar, sendo que 14 foram objeto de avaliação pós-ocupação (KOWALTOWSKI ET AL (2001) e 25 são projetos da década de 90 (FDE, 1998).

A forma de uma edificação escolar está estreitamente relacionada à concepção funcional da relação entre sala de aula e espaço de circulação. Pela avaliação dos projetos da amostra distingue-se sete modelos:

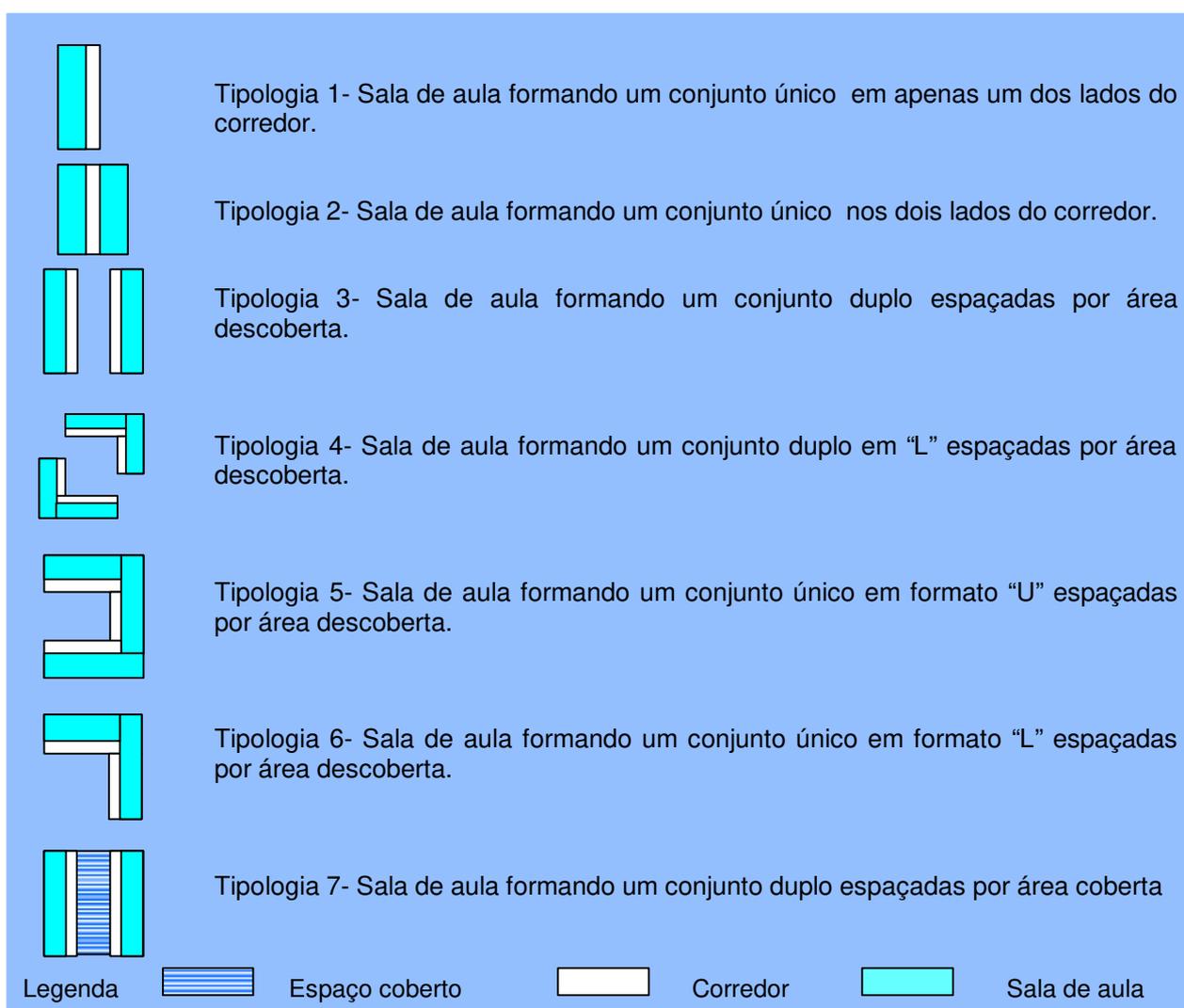


Fig. 5.1 Tipologias de prédios escolares

Dos trinta e nove projetos analisados foi verificada conforme tabela 5.1, a incidência maior das tipologias 1 e 2.

Tab. 5.1 Incidência das tipologias de prédios escolares na amostra

Tipologia	1	2	3	4	5	6	7	1e2	1e3	1e4	1e5	1e6	2e5	2e6	1,2 e 3
Quantidade	6	8	1	1	1	1	4	7	4	1	1	1	1	1	1
Porcentagem	15,4	20,5	2,6	2,6	2,6	2,6	10,2	17,9	10,2	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6

Foi verificada ainda a existência de projetos mistos, como pode ser observado no projeto Vila Ayrosa em Osasco, representado pela figura 5.2, onde coexistem as tipologias 1 e 5.



Fig. 5.2 Exemplo de projeto com tipologia mista (FDE,1998)

A forma geral da edificação influencia de várias maneiras as condições de conforto ambiental dos projetos de edificações escolares. Nesta metodologia são realizadas simplificações e considera-se para o conforto acústico a influência das atividades ruidosas próprias do ambiente escolar, no conforto funcional considera-se que as distâncias a serem percorridas pelo prédio podem ser maiores, por exemplo na tipologia 1 que na tipologia 7, porém é necessário verificar a pertinência de interferência entre ambientes, ou seja se ambientes com funções distintas devem se localizar próximos. O conforto térmico e o luminoso, embora sofram influência da forma geral, podem ser quantificados principalmente, separando-se cada ambiente de acordo com a orientação solar, possibilidade de ventilação e aberturas.

## **5.2- Implantação (dimensão do terreno) de prédios de ensino da rede pública estadual.**

O tamanho do terreno, a topografia, o microclima da região e o entorno também podem influenciar o partido arquitetônico. Nesta pesquisa simplifica-se o modelo de avaliação considerando-se o tamanho mínimo de terreno, para esta amostra, indicando-se limites mínimos das dimensões de largura, de comprimento e de razão (largura/comprimento).

Para a largura e o comprimento utilizou-se o critério: minimize a largura e o comprimento em cada agrupamento de escolas considerando o maior número possível de estudos de caso. Já para a razão, que trata da proporção do terreno para o desenvolvimento do projeto, o critério foi : minimize a razão nas faixas de agrupamento de escolas (número de salas de aula) considerando-se as escolas que atenderam aos limites mínimos de largura e comprimento, para este parâmetro convencionou-se que a menor medida seria a largura. Para os três parâmetros foram consideradas a média das medidas do terreno.

De acordo com a amostra os projetos foram divididos em grupos de edificações de acordo com o número de salas de aula em: 1 a 3 salas de aula, 4 a 6 salas, 7 a 9, 10 a 12, 13 a 15, 16 a 18 e 19 a 21 salas. Verificando-se para estes grupos os seguintes limites de terreno:

- As doze escolas que possuem 4 a 6 salas de aula possuem terrenos com comprimento mínimo de 45m, largura mínima de 38m e razão mínima largura por comprimento de 0,41. Observa-se pela figura 5.3 que três escolas (“Cintra Gordinho”, “Prof. Maria Alice e “Lívio Thomaz”) se encontram fora destes limites.

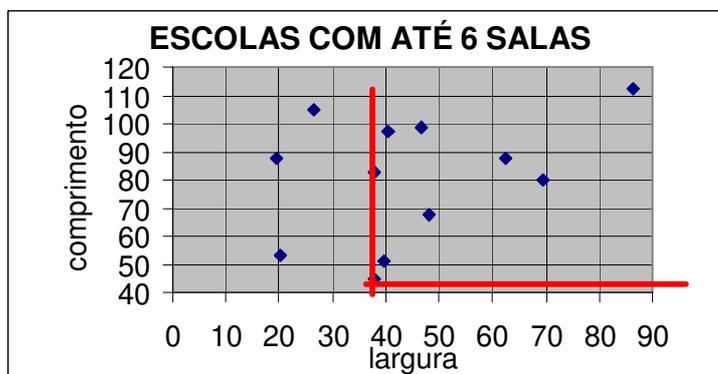


Fig.5.3 Dimensionamento do terreno para escolas que possuem até 6 salas.<sup>3</sup>

- As sete escolas que possuem de 7 a 9 salas de aula possuem terrenos com comprimento mínimo de 95m, largura mínima 43m e razão mínima entre largura e comprimento de 0,39. Observa-se pela figura 5.4 que uma escola (“Francisco Glicério”) não possui estas características.

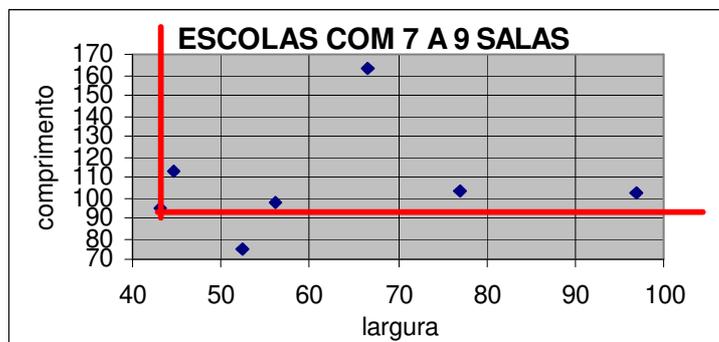


Fig. 5.4 Dimensionamento do terreno para escolas que possuem 7 a 9 salas

- As 10 escolas que possuem de 10 a 12 salas de aula possuem terrenos com comprimento mínimo de 43m, largura mínima 36m e razão mínima entre largura e comprimento de 0,36. Observa-se pela figura 5.5 que todas escolas possuem estas características.

<sup>3</sup> as menores dimensões de terreno que englobam o maior número de estudos de caso estão indicadas com os traços vermelhos.

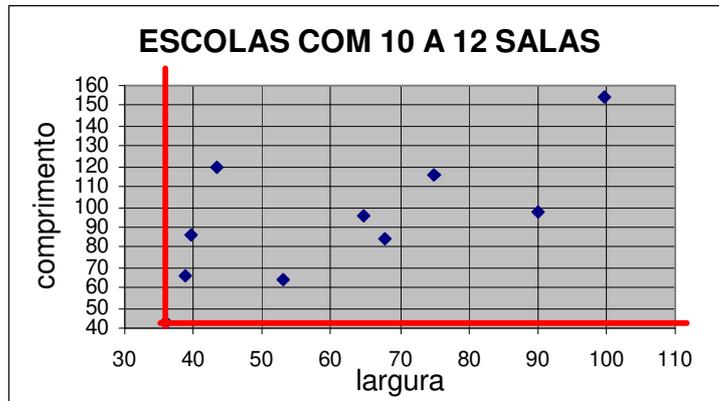


Fig. 5.5 Dimensionamento do terreno para escolas que possuem 10 a 12 salas

- As três escolas que possuem de 13 a 15 salas de aula possuem terrenos com comprimento mínimo de 65m, largura mínima 38m e razão mínima entre largura e comprimento de 0,48. Observa-se pela figura 5.6 que todas as escolas possuem estas características.

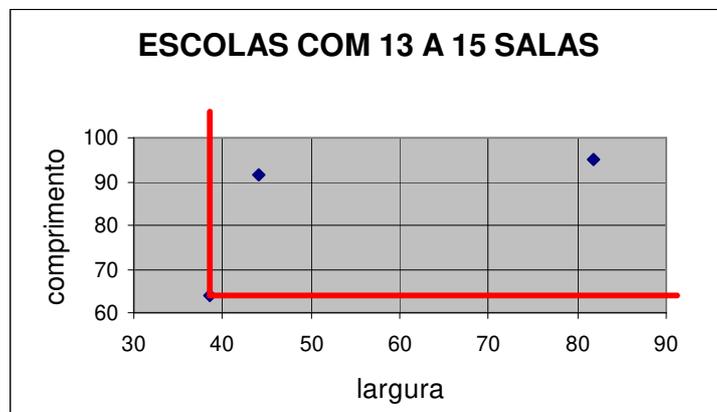


Fig. 5.6 Dimensionamento do terreno para escolas que possuem 13 a 15 salas

- As quatro escolas que possuem de 16 a 18 salas de aula possuem terrenos com comprimento mínimo de 70m, largura mínima 40m e razão mínima entre largura e comprimento de 0,48. Observa-se pela fig. 5.7 que todas as escolas possuem estas características.

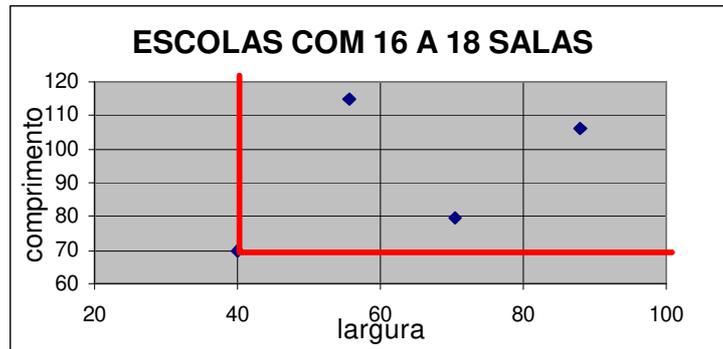


Fig. 5.7 Dimensionamento do terreno para escolas que possuem 16 a 18 salas

- As três escolas que possuem de 19 a 21 salas de aula possuem terrenos com comprimento mínimo de 106m, largura mínima 53m e razão mínima entre largura e comprimento de 0,48. Observa-se pela figura 5.8 que uma escola (“Rubens Paiva”) não possui estas características.

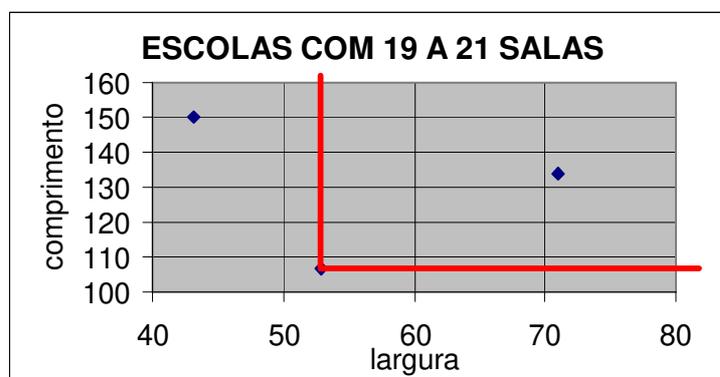


Fig. 5.8 Dimensionamento do terreno para escolas que possuem 19 a 21 salas

As razões mínimas entre largura e comprimento do terreno foram verificadas de acordo com o grupo de projetos em relação ao número de salas. Descartando-se os projetos que não se encontravam nas características mínimas de largura e comprimento de terreno, conforme figura 5.9:

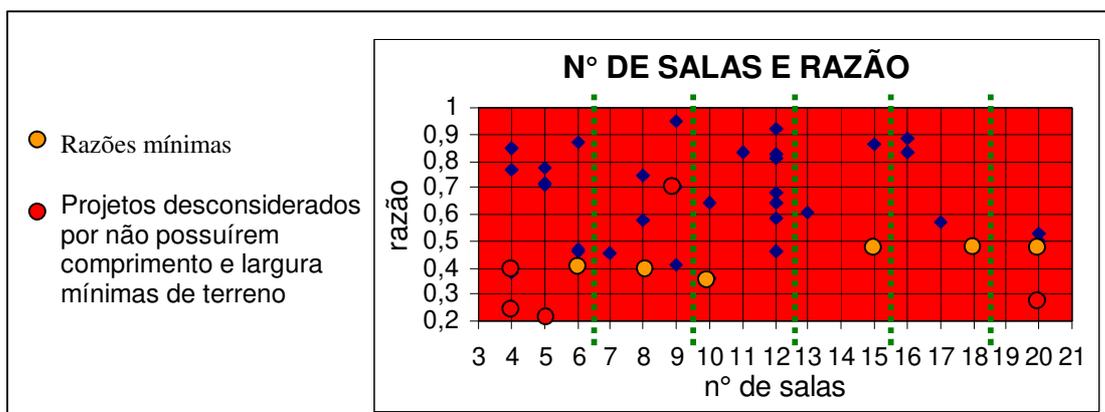


Fig. 5.9 Razões mínimas entre largura e comprimento de terreno em relação ao número de salas de aula.

Considera-se que terrenos fora desses limites mínimos podem influenciar fortemente o partido de projeto, impedindo-se assim, a solução otimizada. Por exemplo, um terreno com grande comprimento e pequena largura irá direcionar o projeto a seguir a maior dimensão de terreno deixando de lado as questões referentes ao conforto ambiental como ventilação, iluminação e orientação dos ambientes, entre outros.

As dimensões mínimas do terreno foram sintetizadas na tabela 5.2:

Tab. 5.2 Relação entre número de salas e dimensões mínimas de terreno

escolas	Largura (mínimo)	Comprimento (mínimo)	Razão (L/C) (mínima)	Escolas eliminadas
4-6 salas	38	45	0,41	Cintra Gordinho Prof. Maria Alice Lívio Thomaz
7-9 salas	43	95	0,39	Francisco Glicério
10-12 salas	36	43	0,36	-----
13-15 salas	38	65	0,48	-----
16-18 salas	40	70	0,48	-----
19-21 salas	53	108	0,48	Rubens Paiva

Observa-se que as escolas com 10 a 12 salas de aula possuem tamanhos mínimos de terrenos inferiores aos conjunto das escolas com 7 a 9 salas e de escolas com 4 a 6 salas de aula. Isto pode indicar que pelo parâmetro terreno pode-se

considerar um agrupamento que englobe escolas com 4 a 12 salas de aula com dimensões mínimas correspondentes as escolas agrupadas de 10 a 12 salas assim a tabela 5.3 mostra as dimensões mínimas do terreno com um novo agrupamento de escolas.

Tab. 5.3 Relação corrigida entre número de salas e dimensões mínimas de terreno

escolas	Largura (mínimo)	Comprimento (mínimo)	Razão (L/C) (mínima)	Escolas eliminadas (anexo 2)
4-12 salas	36	43	0,36	Cintra Gordinho Prof. Maria Alice Lívio Thomaz
13-15 salas	38	65	0,48	-----
16-18 salas	40	70	0,48	-----
19-21 salas	53	108	0,49	Rubens Paiva

No anexo 2 as escolas eliminadas estão representadas através de planta e de fotografia. Observa-se que os terrenos destas escolas realmente não permitem a implantação diferenciada destes projetos.

De acordo com as restrições do terreno a metodologia de avaliação irá considerar 35 projetos de escolas, conforme tabela 5.4 e representados no anexo 3.

Tab. 5.4 Escolas consideradas para a aplicação da metodologia de avaliação

Escolas	Nº Sala de Aula	Terreno largura média	Terreno comp. médio	Razão comp/largura	Tipo planta
Roque Magalhães Barros	04	38,00	45,00	0,84	4
José Camilo de Andrade	04	86,30	112,56	0,77	2
Dante Aliguieri Vista	05	39,50	51,00	0,77	6
Bairro Limoeiro	05	62,50	87,50	0,71	1
Prof. João Sant' Anna	05	48,00	67,50	0,71	2
Bairro Rocio	06	69,37	80,00	0,87	3 e 1
Chapada Grande	06	37,5	82,50	0,45	1e2
Bairro Senhorinhas	06	46,5	98,75	0,47	1 e 3
Prof. Casemiro Poffo	06	40,5	97,50	0,41	7
Dr. Disney F. Scornaienchi	07	44,5	103,00	0,43	1
Buraco do Gazuza	08	44,50	113,00	0,39	7
Pq. Piratininga II	08	75,88	93,53	0,81	2
José Ibiapino Franklin	08	56,25	97,50	0,58	1
Procópio Ferreira	09	66,50	163,00	0,41	3
Francisco Glicério	09	52,50	74,50	0,70	1 e 2
Cel. Firmino G. da Silveira	09	97,00	102,00	0,95	2 e 6
EE. Alberto Medaljon	11	36,00	43,00	0,83	1 e 3
Ary Monteiro Galvão	10	99,67	154,00	0,85	2 e 5
Pq. Claudia	10	43,50	120,00	0,36	1 e 2
Artur Segurado	12	53,00	64,00	0,83	1e2
Barão Geraldo	12	64,70	95,30	0,68	1 e 4
Conj. Hab. Jd. Dourado II	12	39,70	86,47	0,46	2
Jd. Nossa Sra. De Fátima	12	75,00	116,25	0,64	1 e 5
Vila Ayrosa	12	90,00	97,50	0,92	1 e 5
Jd. Rodolfo Pirani	12	68,00	84,00	0,81	1 e 6
Prof. Jesus José Attab	12	38,75	66,25	0,58	6
João Lourenço	13	38,70	63,8	0,61	1,2 e 3
Galo Branco	15	81,75	95,25	0,86	2
Jd. Tiro	15	44,12	91,76	0,48	1
Vitor Meireles	16	88,30	106,00	0,83	2
Jd. Centenário	16	70,50	79,50	0,89	2
Adalberto Nascimento	17	40,00	70,00	0,57	1e2
Prof. Renato Fiuza Teles	18	55,58	114,70	0,48	1 e 3
Cidade Soimco II	20	52,94	106,76	0,49	7
Soldado PM. E. B. Santos	20	71,00	134,00	0,53	7

## **6- Parâmetros de Conforto Ambiental.**

Os parâmetros de projeto atuam no processo projetivo em várias fases. Pode-se dizer que na fase de anteprojeto o projetista trabalha principalmente com conceitos que geram a forma do edifício, embora já exista nesta fase a preocupação com materiais de vedação e acabamento, os parâmetros de conforto relacionados a forma são prioritários.

A intenção de qualificar parâmetros de conforto que ao mesmo tempo geram formas e sofrem influência da forma, é possibilitar que o projeto já na fase de anteprojeto aproxime-se da otimização.

Nota-se que os problemas ambientais decorrentes de falhas deste tipo acarretam recursos financeiros maiores para sua solução. Geram soluções paliativas que podem gerar outros tipos de problemas ou podem gerar problemas as vezes impossíveis de serem corrigidos como por exemplo a implantação errada de um prédio.

Para a qualificação das variáveis de projeto relacionadas ao conforto luminoso, acústico e térmico, foram realizadas entrevistas aos especialistas de cada área utilizando-se escalas semânticas. Estas escalas foram quantificadas através de valores utilizando o grau de pertinência médio das respostas, um conceito da Teoria de Sistemas Nebulosos (Fuzzy).

Os conceitos básicos da teoria de conjunto nebuloso foram introduzidos pelo Prof. Lofti A. Zadeh, da Universidade de Califórnia em Berkley no ano de 1965. A teoria foi postulada com a finalidade de processar as informações subjetivas, de natureza vaga e incerta, características que encontramos na linguagem natural dos seres humanos (CHENG, 1997).

As ciências exatas tais como engenharia, química e física, constróem modelos matemáticos exatos de fenômenos empíricos, e utilizam-se destes modelos para obter prognósticos precisos. Estes modelos funcionam bem para fenômenos naturais simples e isolados ou problemas "bem definidos". Porém, não são necessariamente adequados aos nossos problemas reais, geralmente "mal definidos" devido a sua complexidade e a constante presença de subjetividade humana (CHENG, 1997).

Pode-se dividir a escala semântica em subconjuntos, assim temos o subconjunto de respostas ótima, muito bom, etc. Cada subconjunto é definido pela função de pertinência  $u(x)$  que expressa o grau que um elemento  $x$  é membro do subconjunto  $\tilde{A}$ . Quanto mais o valor se aproxima de 1, maior será o grau de pertinência do elemento ao subconjunto. Os valores da função de pertinência são indicadores de tendências atribuídas subjetivamente por alguém.

Por exemplo, observa-se na figura 6.1 que o subconjunto muito bom pode possuir elementos com grau de pertinência 0.1, isto significa que a pertinência desse elemento neste subconjunto é quase nula.

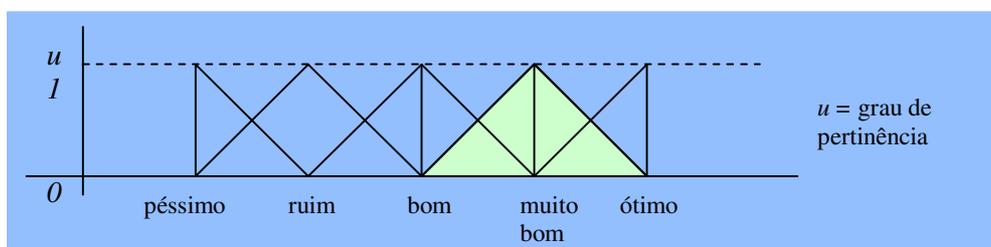


Fig. 6.1 Pertinência da escala semântica

Pretende-se otimizar o projeto na fase de anteprojeto, portanto considera-se que no conjunto de vários projetos o que possuir grau de pertinência maior das variáveis de projeto será considerado o melhor projeto. Por esta razão as variáveis de projeto que foram consideradas na escala semântica ótimo formarão o subconjunto ótimo com grau pertinência um (1) no conjunto geral das prováveis respostas.

No conjunto geral de respostas teremos a função de pertinência de cada resposta através da figura 6.2:

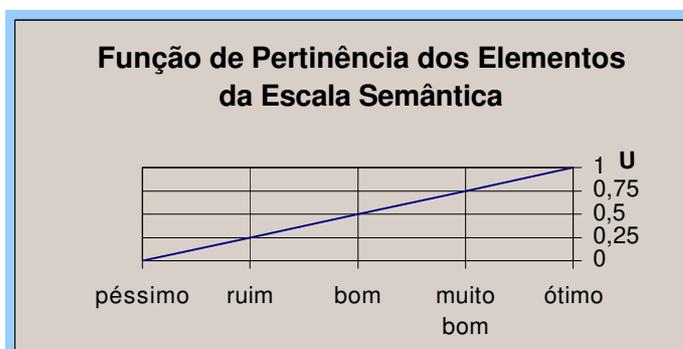


Fig. 6.2 Função de pertinência de cada elemento da escala semântica aplicada à parâmetros de conforto luminoso, acústico e térmico.

Quanto ao conforto funcional serão realizadas medições nos parâmetros de projeto que serão convertidas para uma escala semântica, para que todos os valores possuam quantificações similares o que facilita a compreensão da metodologia por parte do projetista. Ou seja, enquanto os parâmetros de projeto para confortos térmico, luminoso e acústico são avaliados por especialistas através da escala semântica, o conforto funcional é medido em planta e convertido para a escala semântica.

## 6.1- Conforto térmico

As falhas de projeto que decorrem da forma estabelecida no anteprojeto, se relacionam principalmente a orientação solar e a ventilação das aberturas. As soluções para estes tipos de falhas podem envolver a utilização de equipamentos de ar

condicionado, de vidros especiais, de brises e cortinas. Algumas destas soluções podem gerar outros tipos de problemas, tais como consumo energético maior, viciamento do ar interno da edificação gerando problemas de saúde, bem como a criação de espaços e nichos para cultura de bactérias e pequenos animais.

No zoneamento bioclimático brasileiro (CB-02 e CE-02:135.07,1998) há a divisão do país em 8 zonas relativamente homogêneas quanto ao clima. No caso do Estado de São Paulo, as 40 cidades classificadas se dividem conforme tabela 6.1.1:

Tab. 6.1.1 Zoneamento bioclimático para o estado de São Paulo (baseado em CB-02 e CE-02:135.07<sup>4</sup>,1998)

% de incidência	zona	Estratégias
2,5	1	<b>ABCF</b>
7,5	2	<b>ABCFI</b>
42,5	3	<b>BCFI</b>
22,5	4	<b>BCDFI</b>
10	5	<b>CFIJ</b>
15	6	<b>CDFHI</b>

As estratégias/diretrizes para o projeto são caracterizadas de acordo com a tabela 6.1.2.

Observa-se através das tabelas 6.1.1 e 6.1.2 que o Estado de São Paulo possui sua maior região englobando a zona 3, qualificada pelas estratégias BCFI, que se referem, respectivamente à zonas de: 1) aquecimento solar da edificação com a diretriz orientação solar; 2) de massa térmica para aquecimento com a diretriz de uso de paredes internas pesadas; 3) zona de desumidificação com a diretriz de renovação de ar interno através da ventilação e 4) zona de massa térmica de evaporação e ventilação com a diretriz uso de paredes e coberturas com maior massa térmica e ventilação cruzada.

<sup>4</sup> CB-02-Comitê Brasileiro de Construção Civil  
CE-02:135.07- Comissão de Estudo de Desempenho térmico de Edificações

Verifica-se que apenas uma cidade se encontra na zona 1, três na zona 2 e quatro na zona 5. Ou seja a estratégia A e J serão utilizada apenas para quatro cidades do estado de São Paulo.

Tab. 6.1.2 Estratégias do zoneamento bioclimático para o estado de São Paulo (baseado em CB-02 e CE-02:135.07<sup>5</sup>,1998)

Diretrizes/ estratégias	% de incidência das estratégias	Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico passivo para edificações unifamiliares de interesse social
<b>A</b> – zona de aquecimento artificial	10	Durante o período de frio necessário utilizar roupas pesadas. Uso de aquecimento artificial para amenizar desconforto térmico no frio
<b>B</b> - zona de aquecimento solar da edificação	76	A forma, a orientação a implantação da edificação, a correta orientação de superfícies envidraçadas, contribuem para otimizar o aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes é importante no aquecimento dos ambientes aproveitando a radiação solar.
<b>C</b> - zona de massa térmica para aquecimento	100	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.
<b>D</b> - zona de Conforto térmico (baixa umidade)	22,5	Caracteriza a zona de conforto térmico (a baixas umidades).
<b>F</b> - zona de desumidificação (renovação de ar)	100	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes renovando-se o ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.
<b>H</b> - zona de resfriamento evaporativo e massa térmica de refrigeração	15	Em regiões quentes e secas, o conforto no período de verão pode ser amenizado através da evaporação da água. Utilizando-se vegetação, fontes de água ou recursos que permitam a evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar.
<b>I</b> - zona de massa térmica de evaporação e ventilação	97,5	I-Uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite quando as temperaturas externas diminuem. I e J- Ventilação cruzada através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta. Verificar os ventos predominantes da região e o entorno.
<b>J</b> - zona de ventilação	10	

As primeiras considerações em projeto que são usualmente feitas no processo de criação da forma tratam da orientação solar e da ventilação através da localização das aberturas dos ambientes que compõem o programa de projeto. A qualificação

<sup>5</sup> CB-02-Comitê Brasileiro de Construção Civil  
CE-02:135.07- Comissão de Estudo de Desempenho térmico de Edificações

desses parâmetros deve considerar as possíveis soluções de projeto. No caso de orientação foram verificadas as orientações norte, sul, leste, oeste e as posições intermediárias. No caso da ventilação foram consideradas a direção predominante do vento em relação a orientação do ambiente e localização das aberturas (ventilação cruzada em diferentes posicionamentos) (PRATA ET AL, 1997).

Portanto, foram qualificadas sete configurações de salas de aula considerando-se as posições das aberturas. Estas configurações podem se apresentar em oito tipos de orientação solar e ventilação predominante. Representando um total de 56 variáveis de projeto representados nas figura 6.1.1. e 6.1.2

Representação da sala de aula	7 Posições de aberturas
	1- Aberturas em paredes paralelas
	2- Aberturas em paredes adjacentes
	3- Aberturas em paredes adjacentes
	4- Abertura em parede protegida por corredor
	5- Abertura em parede oposta ao corredor
	6- Abertura em parede oposta ao corredor protegida por varanda
	7- Aberturas em paredes adjacentes

Fig. 6.1.1 Configurações das salas de aula e suas aberturas.

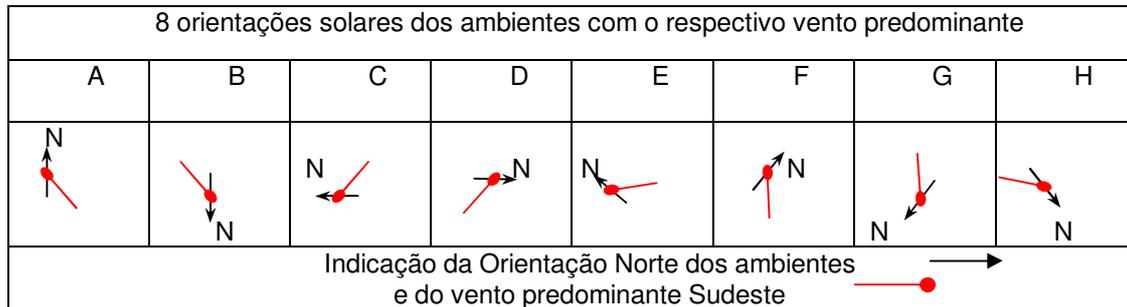


Fig. 6.1.2 Posições das orientações e ventos predominantes

Para qualificar estas variáveis de projeto foram realizadas entrevistas com três especialistas da área de conforto térmico.

As entrevistas foram direcionadas através de questionário considerando a escala de valores semântica péssimo, ruim, bom, muito bom e ótimo para cada caso como se verifica na figura 6.1.3.

Os especialistas que participaram desta entrevista se caracterizam por estarem neste ramo de atividade a mais de cinco anos (ministrando disciplinas afins ou prestando serviços de assessoria à projetos).

Todas as respostas foram realizadas através da escala semântica<sup>6</sup>: **Péssimo** **Ruim**

Posição das aberturas	Qualificação de conforto térmico orientação e					
	A	B	C	D	E	F
1  Aberturas em paredes Paralelas	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O
2  Aberturas em paredes adjacentes	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O
3  Aberturas em paredes adjacentes	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O
4  Abertura em parede Protegida por corredor	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O
5  Abertura em parede oposta ao corredor	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O
6  Abertura em parede oposta ao corredor Protegida por varanda	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O
7  Aberturas em paredes adjacentes	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O	P R B MB O

Fig. 6.1.3 Qualificação das variáveis de conforto térmico feita pelos

<sup>6</sup> Observações: - As setas **pretas** indicam a posição Norte e as **vermelhas** os ventos predominantes- O branco simboliza corredor e a aula. Os traços as posições das aberturas.

A escala semântica utilizada para qualificar as variáveis de projeto foram quantificadas através do grau de pertinência obtido pela média das respostas dos três especialistas em cada variável, associando-se o valor 1 para o parâmetro ótimo e zero para o parâmetro qualificado como péssimo conforme se verifica na tabela 6.1.3.

Tab. 6.1.3 Grau de Pertinência das variáveis de projeto para conforto térmico

Posição das aberturas	Quantificação de conforto térmico orientação e ventilação							
	A 	B 	C 	D 	E 	F 	G 	H 
1	0,67	0,54	0,08	0,33	0,33	0,71	0,46	0,33
2	0,13	0,33	0,21	0,29	0,21	0,17	0,38	0,38
3	0,42	0,25	0,29	0,13	0,46	0,29	0,33	0,17
4	0,25	0,29	0,21	0,17	0,25	0,29	0,25	0,21
5	0,17	0,17	0,00	0,08	0,21	0,29	0,17	0,25
6	0,33	0,29	0,13	0,17	0,29	0,42	0,29	0,29
7	0,33	0,00	0,17	0,25	0,38	0,42	0,04	0,00

Observa-se pela figura 6.1.3 e pela tabela 6.1.3 que a variável melhor qualificada é a 1F seguida da 1A. As duas permitem a ventilação cruzada através de duas aberturas, sendo que no primeiro caso uma abertura se localiza na posição Noroeste com proteção de corredor e a outra na posição sudeste, no segundo caso tem-se uma abertura localizada na posição Norte com proteção de corredor e outra na posição Sul. Verificando-se os desvios padrão destas variáveis, conforme tabela 6.1.4, observa-se um valor maior na variável 1A que na variável 1F, isto pode ser representado conforme figura 6.1.4:

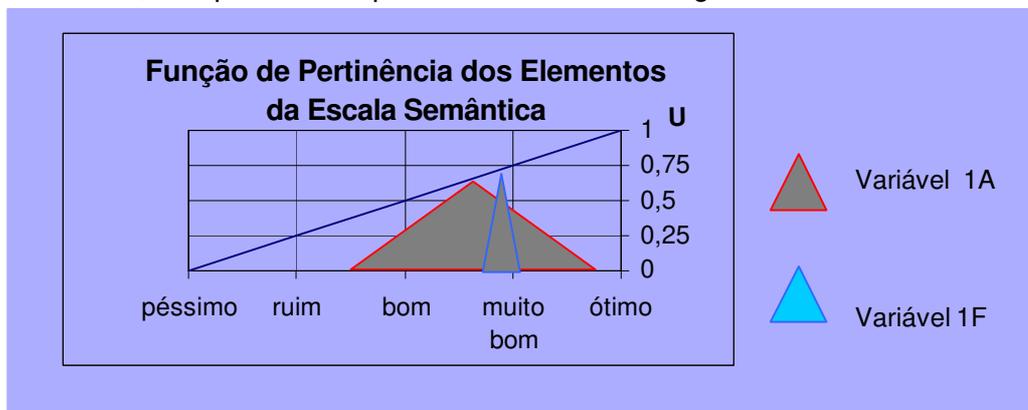


Fig. 6.1.4 Representação do grau de pertinência das variáveis 1A e 1F

Já as variáveis com a pior qualificação feita pelos especialistas são as 5C, 7B e 7H. Observa-se que na variável 5C a única abertura se localiza na posição oeste sem proteção, nas variáveis 7B e 7H as duas aberturas estão localizadas respectivamente nas posições Norte e Oeste e Nordeste e Noroeste, todas sem proteção. Nestes três casos a ventilação orientada pelo vento predominante fica prejudicada uma vez que as aberturas se localizam em situações desfavoráveis a sua entrada.

As respostas de algumas variáveis (3C,5F e 6F), como se verifica na tabela 6.1.4, apresentaram desvio padrão superior ao valor limite de 0,25. Este valor foi considerado como limite pois marca uma diferença de opiniões maior que dois pontos da escala semântica. Esta diferença é considerada fato natural da linguagem humana e da experiência de cada especialista.

Tab. 6.1.4 Desvio padrão das respostas dos especialistas para conforto térmico

Posição das aberturas	Desvio padrão das variáveis de conforto térmico							
	A 	B 	C 	D 	E 	F 	G 	H 
1	0,24	0,15	0,12	0,24	0,12	0,06	0,16	0,24
2	0,10	0,12	0,16	0,21	0,16	0,12	0,18	0,18
3	0,12	0,20	0,26	0,18	0,16	0,06	0,24	0,12
4	0,00	0,06	0,16	0,12	0,20	0,21	0,20	0,16
5	0,17	0,17	0,00	0,08	0,21	0,29	0,17	0,25
6	0,24	0,21	0,18	0,24	0,21	0,31	0,21	0,21
7	0,12	0,00	0,12	0,20	0,10	0,24	0,06	0,00

Cada escola foi qualificada através das variáveis de projeto verificadas na figura 6.1.3 e quantificada através da média dos valores de grau de pertinência das variáveis de projeto obtidos na tabela 6.1.3. Por exemplo: na escola BAIRRO ROCIO localizada em Iguape, observa-se a existência de três salas de aula com orientação Nordeste e três salas de aula com orientação Sudoeste. Todas as aberturas se localizaram em parede oposta ao corredor conforme se verifica na figura.6.1.5

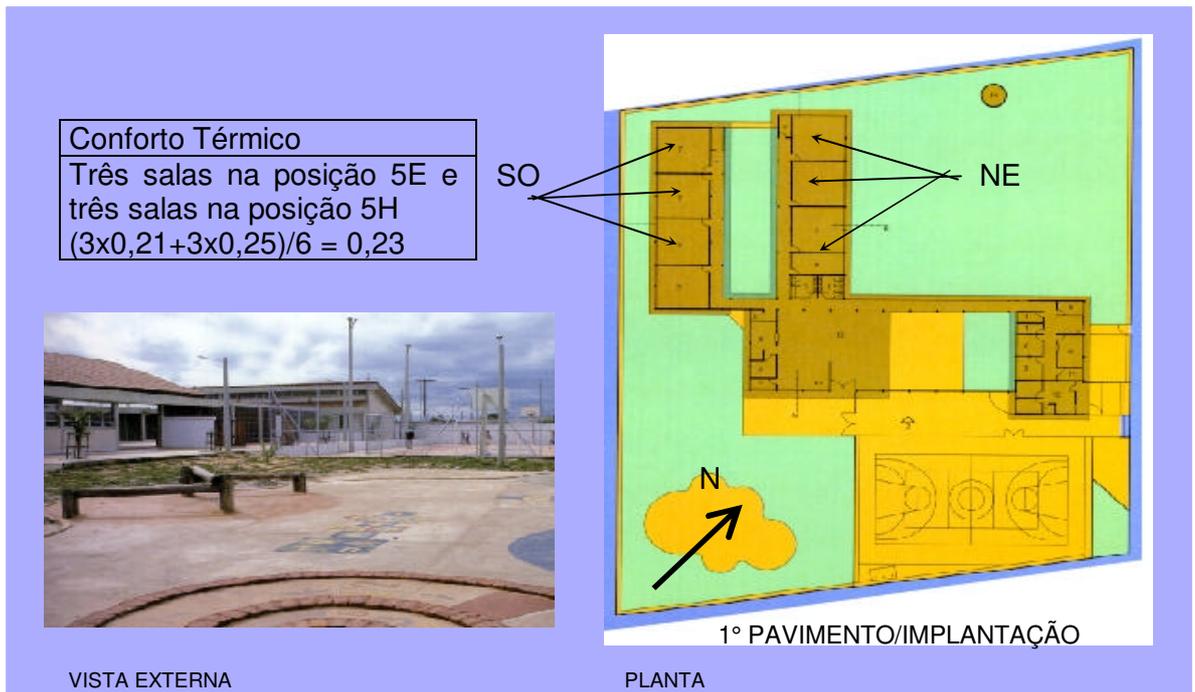


Fig. 6.1.5 Exemplo de avaliação de conforto térmico do projeto

A avaliação somente deste parâmetro consideraria que o melhor caso é o da escola Bairro Senhorinhas, visualizada na figura 6.1.6, localizada em Jujutiba que possui seis salas equivalentes a variável intermediária entre 1F e 1A. Podendo-se eliminar todas as outras soluções de projeto.



Fig. 6.1.6 Bairro Senhorinhas: a escola melhor qualificada para o parâmetro de conforto térmico

Já o pior caso é o da escola Prof. Casemiro Poffo, visualizada na figura 6.1.7, localizada em Ribeirão Pires que possui seis salas equivalentes a variável 5C.

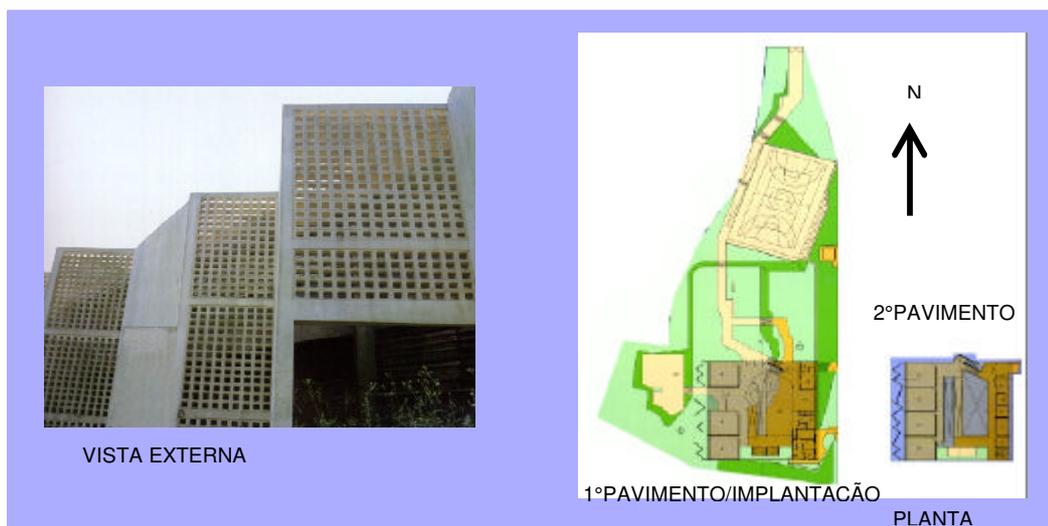


Fig. 6.1.7 Prof. Casemiro Poffo : a escola pior qualificada para o parâmetro de conforto térmico

A tabela 6.1.5 mostra que a maioria das escolas possui qualificação entre ruim e péssimo, o que indica que as decisões realizadas durante a implantação de projeto carecem de uma sistematização mais rigorosa, uma vez que a maioria dos terrenos permitem outros tipos de implantação.

Tab. 6.1.5 Avaliação da amostra quanto ao conforto térmico.

Escola	n. de salas de aula	Conf. Térmico
Roque Magalhães Barros	4	0,25
José Camilo de Andrade	4	0,27
Prof. M. Alice C. Rodrigues	5	0,25
Dante Alighieri Vista	5	0,23
Bairro Limoeiro	5	0,25
Prof. João Sant' Anna	5	0,17
Bairro Rocio	6	0,23
Chapada Grande	6	0,17
Bairro Senhorinhas	6	0,69
Prof. Casemiro Poffo	6	0,00
Dr. Disney F. Scornaienchi	7	0,29
Buraco do Gazuza	8	0,25
Pq. Piratininga II	8	0,17
José Ibiapino Franklin	8	0,33
Procópio Ferreira	9	0,25
Francisco Glicério	9	0,25
Cel. Firmino G. da Silveira	9	0,10
Alberto Medaljon	11	0,22
Ary Monteiro Galvão	10	0,29
Pq. Claudia	10	0,23
Artur Segurado	12	0,26
Barão Geraldo	12	0,23
Conj. Hab. Jd. .Dourado II	12	0,24
Jd. Nossa Sra. De Fátima	12	0,21
Vila Ayrosa	12	0,23
Jd. Rodolfo Pirani	12	0,09
Prof. Jesus José Attab	12	0,21
João Lourenço	13	0,24
Galo Branco	15	0,17
Jd. Tiro	15	0,25
Vitor Meireles	16	0,25
Jd. Centenário	16	0,23
Adalberto Nascimento	17	0,25
Prof. Renato Fiuza Teles	18	0,25
Cidade Soinco II	20	0,23
Soldado PM. E. B. Santos	20	0,07

## 6.2- Conforto Acústico

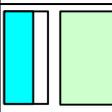
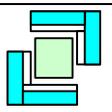
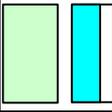
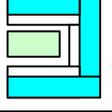
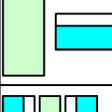
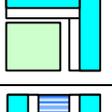
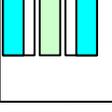
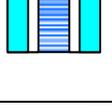
As falhas decorrentes de problemas acústicos em relação à forma se relacionam ao posicionamento de ambientes geradores de ruídos em cada tipologia. As soluções para este tipo de problema consiste na aplicação de

materiais acústicos isolantes e fechamento de aberturas como portas e janelas. Existe uma certa dicotomia entre parâmetros de conforto acústico e conforto térmico uma vez que o fechamento das aberturas favorece as questões acústicas mas prejudica a condição da ventilação.

A atividade da fala é importante na sala de aula, e a inteligibilidade depende do ruído de fundo do ambiente, do tempo de reverberação e do nível sonoro da fala (ERDREICH,1999). Equipamentos de amplificação da voz dificilmente são utilizados em sala de aula. O ruído de fundo pode ser minimizado de acordo com a tipologia do projeto, forma do ambiente, interferências entre salas e localização de atividades ruidosas. O tempo de reverberação depende do volume da sala e dos tipos de materiais de acabamento utilizados, pode-se considerar a adequação com volume ao uso como uma **restrição** que deve atender a proporção volume/pessoa de 2.8 a 4.9 (SMITH ET AL, 1983).

A implantação da escola em ruas movimentadas é uma imposição que dificilmente depende do projetista, portanto pode-se admitir o seguinte **princípio de projeto**: a implantação de escolas em locais de grande tráfego deve considerar tratamentos acústicos pertinentes.

Considerou-se como parâmetro acústico, para a fase de anteprojeto, a minimização do ruído através da relação de proximidade de áreas com atividades ruidosas próprias do ambiente interno escolar (pátio coberto ou quadra) à sala de aula de acordo com a tipologia do projeto (especificadas na seção 5.1) e do andar que a mesma se localiza. Assim sendo foram elaboradas, conforme figura 6.2.1, as seguintes variáveis

Localização da área recreativa	Pav.	Localização da área recreativa	Pav.
 Área recreativa em frente ao corredor que dá acesso às salas de aula. (tipologia 1 e 2)	T	 Tipologia 4 idem tipologia 3	T
	1		1
	2		2
 Área recreativa do lado oposto ao corredor que dá acesso as salas de aula (tipologia 1 e 2)	T	 Tipologia 5 idem tipologia 3	T
	1		1
	2		2
 Área recreativa próxima a um dos cantos do corredor (tipologia 1 e 2)	T	 Tipologia 6 idem tipologia 3	T
	1		1
	2		2
 Tipologia 3: área localizada entre os blocos pode ser utilizada para atividades recreativas ou de convivência.	T	 Tipologia 7 idem tipologia 3	T
	1		1
	2		2

 Área de recreação  
  Salas de aula  
  Corredor  
  Área Coberta

Fig. 6.2.1 Variáveis de projeto para conforto acústico.

Para qualificar estas variáveis de projeto foram considerados que as portas das salas de aula estariam voltadas para o corredor e se encontrariam fechadas, que as janelas se localizam em parede oposta ao corredor e estariam abertas e que na tipologia 7 a área de recreação se localizaria no pavimento térreo e a cobertura no pavimento superior.

Foram realizadas entrevistas com três especialistas da área de conforto acústico, direcionadas através de questionário considerando a escala de valores semântica péssimo, ruim, bom, muito bom e ótimo para cada caso, como se verifica na figura 6.2.2. Os especialistas que avaliaram as variáveis de projeto atuam na área de conforto ambiental a pelo menos dez anos como pesquisadores e docentes.

Observou-se que todos os especialistas consideraram que não há diferença na qualificação de cada variável quanto ao pavimento (térreo, primeiro ou segundo andar) de localização das salas de aula.

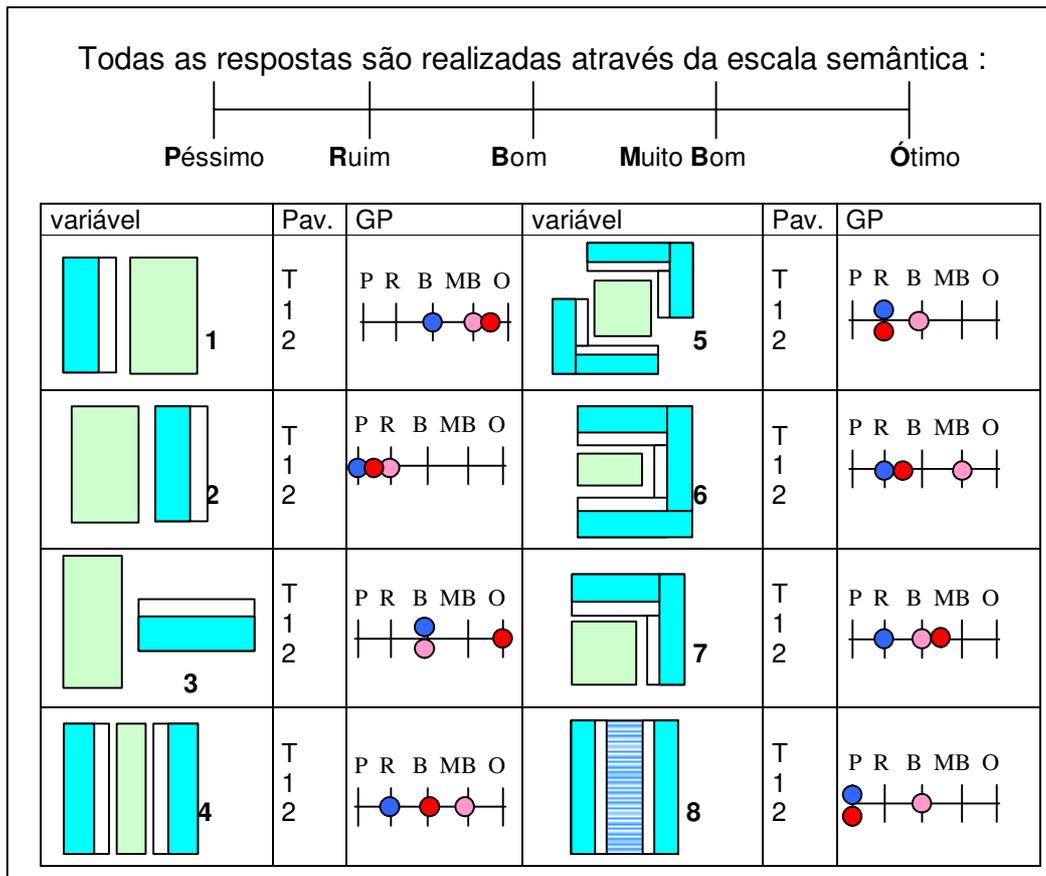


Fig. 6.2.2 Qualificação das variáveis de conforto acústico feita pelos especialistas

A escala para o parâmetro acústico foi quantificada através do grau de pertinência obtido pela média das respostas dos três especialistas para cada variável, associando-se o valor 1 para o parâmetro ótimo e zero para o parâmetro qualificado como péssimo conforme se verifica na tabela 6.2.1.

Tabela 6.2.1 quantificação das variáveis acústicas de projeto

variável	GP	variável	GP
1	0,71	5	0,33
2	0,21	6	0,46
3	0,67	7	0,46
4	0,50	8	0,17

As respostas das variáveis, como se verifica na tabela 6.2.2, apresentaram valor de desvio padrão dentro do limite máximo de 0,25 estipulado.

Este valor foi considerado como limite pois marca uma diferença de opiniões maior que dois pontos da escala semântica.

Tabela 6.2.2 desvio padrão das variáveis de conforto acústico

variável	desvio	variável	desvio
1	0,15	5	0,12
2	0,06	6	0,21
3	0,24	7	0,16
4	0,20	8	0,24

Observa-se pela tabela 6.2.1 e 6.2.2 que as variáveis de projeto com maior grau de pertinência são a 1 e a 3. Para estas duas variáveis o desvio padrão é maior na variável 3 que na variável 1 este fato indica que o intervalo de respostas para qualificar a variável três é maior. As piores variáveis são a 2 e a 8 sendo que o desvio padrão é maior na variável 8. Isto pode ser representado através da figura 6.2.3.

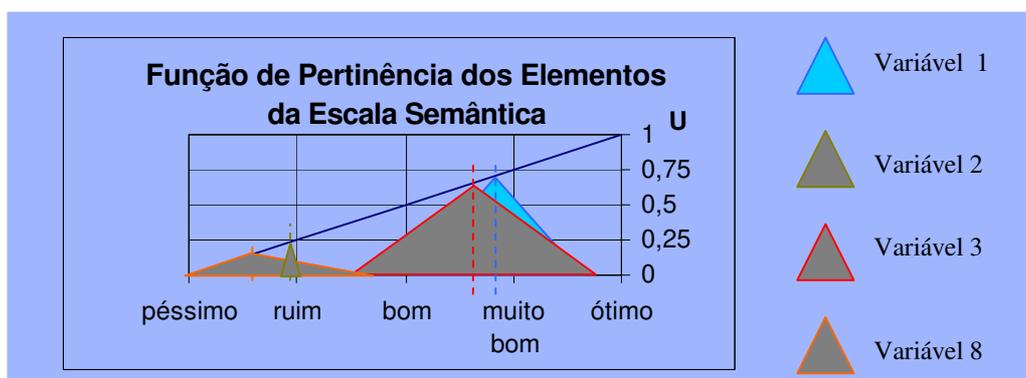


Fig. 6.2.3 Representação do grau de pertinência das variáveis com melhor e pior qualificação

Cada escola foi qualificada através das variáveis de projeto verificadas na figura 6.2.2 e quantificada através da média dos valores de grau de pertinência das variáveis de projeto obtidos na tabela 6.2.1. Por exemplo: na escola VILA AYROSA localizada em Osasco, observa-se 7 salas no 1º Pavimento que possui formato semelhante à variável de projeto nº6 e 5 salas no 2º pavimento que possui formato semelhante à variável de projeto nº1 conforme se verifica na fig. 6.2.4.

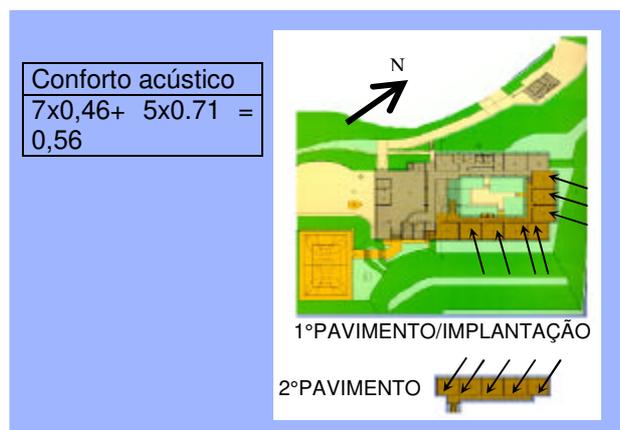


Fig.6.2.4 Exemplo de avaliação de conforto Acústico de projeto

A avaliação somente deste parâmetro consideraria que os melhores casos visualizados na figura 6.2.5 são: o da escola Dr. Disney F. Scornaienchi, localizada em Campinas/Parque Jambeiro e o da escola Prof. Renato Fiuza Teles localizada em Osasco/Jd Conceição. Estas escolas possuem todas as salas de aula equivalentes a variável 1. Podendo-se eliminar todas as outras soluções de projeto.

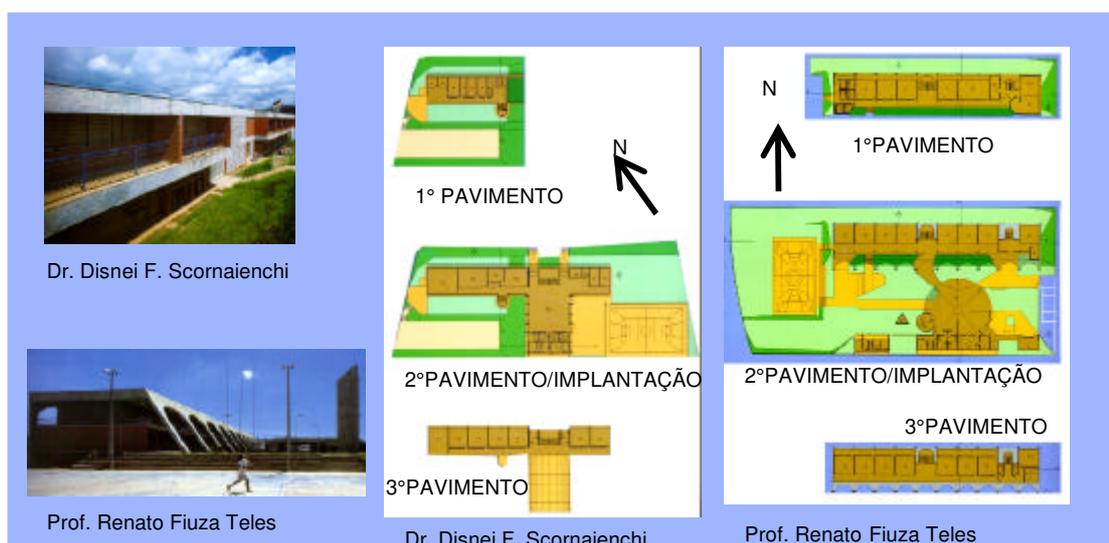


Fig. 6.2.5 Dr. Disney F. Scornaienchi e Prof. Renato Fiuza Teles: escolas com a melhor qualificação para o parâmetro de conforto térmico

Já os piores casos, visualizados na figura 6.2.6, são o da escola Prof. Casemiro Poffo, localizada em Ribeirão Pires, e o da escola Soldado PM Eder Bernardes dos Santos, localizada em São Paulo/Itaim Paulista que possuem todas as salas equivalentes a variável 8.

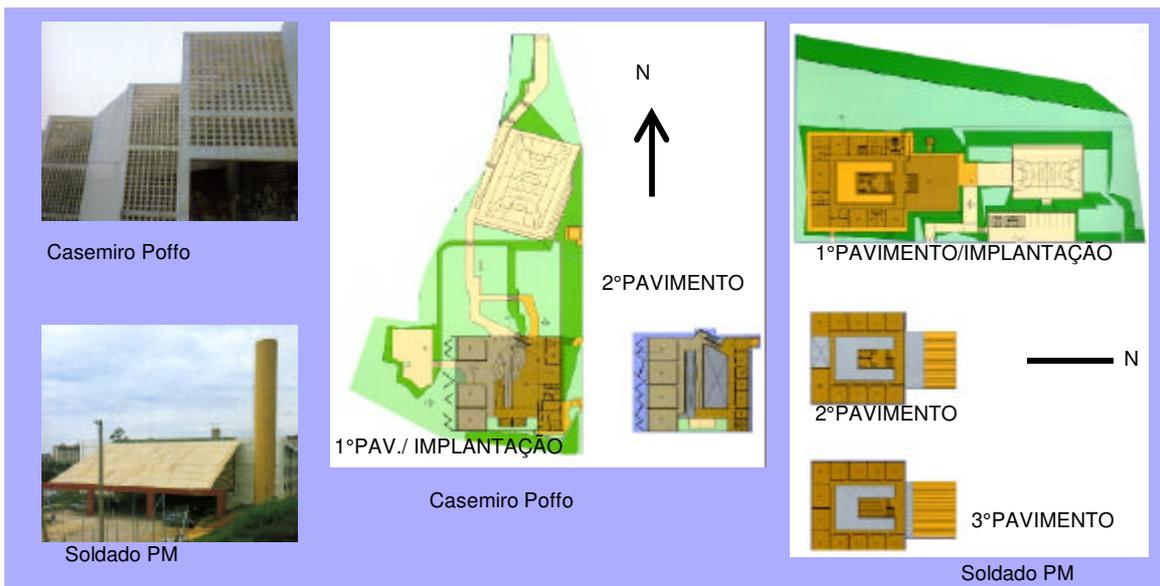


Fig. 6.2.6 Prof. Casemiro Poffo e Soldado PM Eder Bernardes dos Santos: as piores escolas qualificadas para o parâmetro de conforto acústico.

A tabela 6.2.3 mostra que a maioria das escolas que caracterizadas pela tipologia 1 possuem avaliação para o conforto acústico entre bom e muito bom, já as escolas caracterizadas pela tipologia 7 possuem as piores qualificações.

Tab. 6.2.3 Avaliação da amostra quanto ao conforto acústico

Escola	n. de salas de aula	Acústico	Tipologia
Roque Magalhães Barros	4	0,33	4
José Camilo de Andrade	4	0,49	2
Prof. M. Alice C. Rodrigues	5	0,67	1
Dante Aliguieri Vista	5	0,46	6
Bairro Limoeiro	5	0,67	1
Prof. João Sant' Anna	5	0,61	2
Bairro Rocio	6	0,67	1e3
Chapada Grande	6	0,67	1e2
Bairro Senhorinhas	6	0,21	1e3
Prof. Casemiro Poffo	6	0,17	7
Dr. Disnei F. Scornaienchi	7	0,71	1
Buraco do Gazuza	8	0,17	7
Pq. Piratininga II	8	0,34	2
José Ibiapino Franklin	8	0,21	1
Procópio Ferreira	9	0,50	3
Francisco Glicério	9	0,49	1 e 2
Cel. Firmino G. da Silveira	9	0,45	2 e 6
Alberto Medaljon	11	0,68	1 e 3
Ary Monteiro Galvão	10	0,59	2 e 5
Pq. Claudia	10	0,67	1 e 2
Artur Segurado	12	0,33	1 e 2
Barão Geraldo	12	0,45	1 e 4
Conj. Hab. Jd. .Dourado II	12	0,67	2
Jd. Nossa Sra. De Fátima	12	0,65	1 e 5
Vila Ayrosa	12	0,56	1 e 5
Jd. Rodolfo Pirani	12	0,56	1 e 6
Prof. Jesus José Attab	12	0,46	6
João Lourenço	13	0,33	1,2 e 3
Galo Branco	15	0,46	2
Jd. Tiro	15	0,44	1
Vitor Meireles	16	0,30	2
Jd. Centenário	16	0,46	2
Adalberto Nascimento	17	0,21	1 e 2
Prof. Renato Fiuza Teles	18	0,71	1 e 3
Cidade Soinco II	20	0,25	7
Soldado PM. E. B. Santos	20	0,17	7

### **6.3- Conforto Luminoso**

A utilização correta da iluminação natural pode reduzir de forma significativa a utilização de luz elétrica na maioria dos climas. Nos climas tropicais existe ainda a vantagem das características destes climas permitirem uma iluminação natural durante quase todo o período diurno anual. Uma iluminação natural correta melhora a satisfação do usuário do ambiente e diminui o consumo de energia (SCARAZZATO ET AL,1996).

A distribuição da luz no ambiente interno depende de um conjunto de variáveis, tais como: disponibilidade da luz natural, obstruções externas, tamanho, orientação, posição e detalhes das aberturas, características óticas dos envidraçados, tamanho e geometria do ambiente e refletividade das superfícies internas. A eficiência da luz natural depende da iluminação da abóbada celeste, do ângulo de incidência da luz, da cor empregada no ambiente e da cor e natureza dos vidros por onde penetra a luz. A manutenção e limpeza dos vidros também é um fator de influencia.

O planejamento do projeto visando a luz natural deve partir da identificação das atividades desenvolvidas e das características dos objetos considerados importantes dentro dos ambientes. A qualidade funcional é aquela exigida pelas atividades a serem abrigadas por um ambiente, determinada em função do correto desenvolvimento de tarefas visuais específicas. Se relaciona às definições do espaço arquitetônico, distribuição e direção de luz e ausência de ofuscamento. Na utilização de métodos de avaliação procura-se garantir a qualidade funcional do ambiente projetado, ou aferir as condições reais existentes.

Existem diversos métodos de avaliação de iluminação natural para as edificações, estes métodos podem ser considerados como modelos que prevêm o comportamento da luz natural no interior da edificação. Como a maioria dos modelos, são realizadas simplificações e abstrações da realidade para a

formulação matemática do problema. Pode-se dizer que os modelos são abstrações da realidade que possuem certas limitações e que podem fornecer dados quantitativos e qualitativos da iluminação natural no interior das edificações, podendo auxiliar o projetista a tomar decisões.

Vários métodos foram propostos a partir da década de 20, sendo que com a crise de petróleo na década de 70, aumenta a necessidade de se criar ferramentas que auxiliem no desenvolvimento de projetos e na avaliação quantitativa sobre a suficiência ou não da luz natural (SCARAZZATO ET AL, 1996). Estes métodos podem ser divididos em três tipos: métodos gráficos simplificados, simulações com modelos em escala reduzida e modelagem matemática através de simulações computacionais. Além destes, pode-se incluir a Avaliação Pós-Ocupação que embora seja realizada após a execução do ambiente, proporciona um *feedback* ao projeto que pode fornecer dados para novos projetos através da utilização de banco de dados quantitativo e qualitativo do ambiente construído.

Os métodos gráficos são de fácil aplicação, porém nota-se que a análise é considera uma situação por vez, como por exemplo, um determinado horário em um determinado dia. As simulações computacionais geralmente exigem uma série de dados de entrada o que nem sempre é possível. Há também limitações teóricas que são frutos de suposições que nem sempre são conhecidas pelos usuários do programa, e os modelos em escala reduzida mostram-se efetivos para os cálculos de iluminação mas demandam tempo para a confecção de maquetes.

Percebe-se que os métodos de avaliação de iluminação natural se utilizam de um conjunto de variáveis que muitas vezes ainda não estão formuladas na fase de anteprojeto. Portanto a tomada de decisão nesta fase geralmente é realizada de forma empírica confiando-se na experiência do projetista.

A complexidade da iluminação natural nos ambientes e os diversos parâmetros que compõem sua avaliação, permitem considerar, na fase de anteprojeto, o uso de instrumentos de avaliação que se baseiam no método de

índices de confiabilidade, ou seja no julgamento de especialistas quanto à orientação e formato dos ambientes para qualificar anteprojetos de escolas.

Ambientes com o mesmo formato possuem iluminação diferenciada de acordo com a orientação das fachadas (SCARAZZATO ET AL,1996). Assim sendo, pode-se dizer que um dos fatores que contribuem para conforto luminoso e que modifica a forma do projeto, portanto de relevância na fase de anteprojeto, se refere à orientação de implantação das aberturas das salas de aula.

Verificando os projetos de escolas considerados nesta pesquisa, notou-se que geralmente as paredes que possuem janelas permitem a abertura total do vão, além disso a definição do caixilho com a indicação de seu tamanho exato e de seu modelo geralmente é realizada em fase posterior no processo de projeto, por este motivo foi simbolizado no questionário apenas a face de localização das aberturas das janelas sem se considerar a área ou tipo de janela.

Salas de diferentes formatos e com a mesma área de aberturas e de piso podem possuir diferenças na iluminação natural de acordo com o posicionamento da abertura no ambiente. Verificou-se, através da análise dos projetos, que o formato predominante das salas de aula é o quadrado, existindo algumas salas de formato retangular.

O formato do ambiente e a orientação das aberturas são parâmetros de projeto que se complementam, de modo que um influencia o outro, ou seja uma boa orientação das aberturas pode ser prejudicada pelo formato da sala de aula e vice-versa. Sendo assim o questionário considerou a fusão destes dois parâmetros através da elaboração das variáveis de projeto representadas na figura 6.3.1:

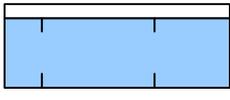
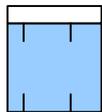
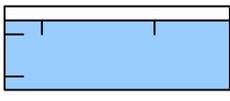
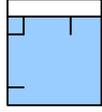
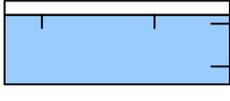
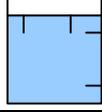
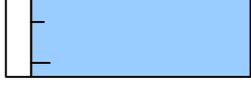
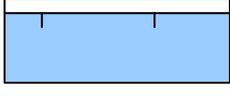
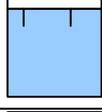
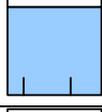
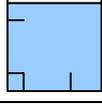
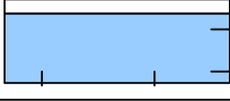
Posição das aberturas nos formatos diferenciados de sala de aula			
Posição das aberturas	Salas retangulares com corredor na menor face	Salas retangulares com corredor na maior face	Salas quadradas
Aberturas em paredes paralelas	1 	6 	13 
Aberturas em paredes adjacentes uma com proteção	2 	7 	14 
Aberturas em paredes adjacentes uma com proteção	5 	8 	15 
Abertura em parede protegida por corredor	3 	9 	16 
Abertura em parede oposta ao corredor	4 	10 	17 
Abertura em paredes adjacentes sem proteção		11 	18 
Abertura em paredes adjacentes sem proteção		12 	
Orientações consideradas para os ambientes			
			

Fig. 6.3.1 Variáveis de projeto para conforto luminoso

Para qualificar estas variáveis de projeto foram realizadas entrevistas com três especialistas da área de conforto luminoso, direcionadas através de questionário considerando a escala de valores semântica péssimo, ruim, bom, muito bom e ótimo para cada caso como se verifica na figura 6.3.2.

Os especialistas que participaram desta entrevista se caracterizam por estarem neste ramo de atividade (ministrando disciplinas afins e/ou prestando serviços de assessoria à projetos) a mais de cinco anos.

Todas as respostas foram realizadas através da escala semântica :



Salas de aula	Grau de pertinência da orientação					
	A ↑	B ↓	C ←	D →	E ↙	F ↗
1	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
2	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
3	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
4	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
5	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
6	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
7	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
8	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
9	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	P R B MB O ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●

Fig. 6.3.2 A. Qualificação das variáveis de conforto luminoso realizada pelo

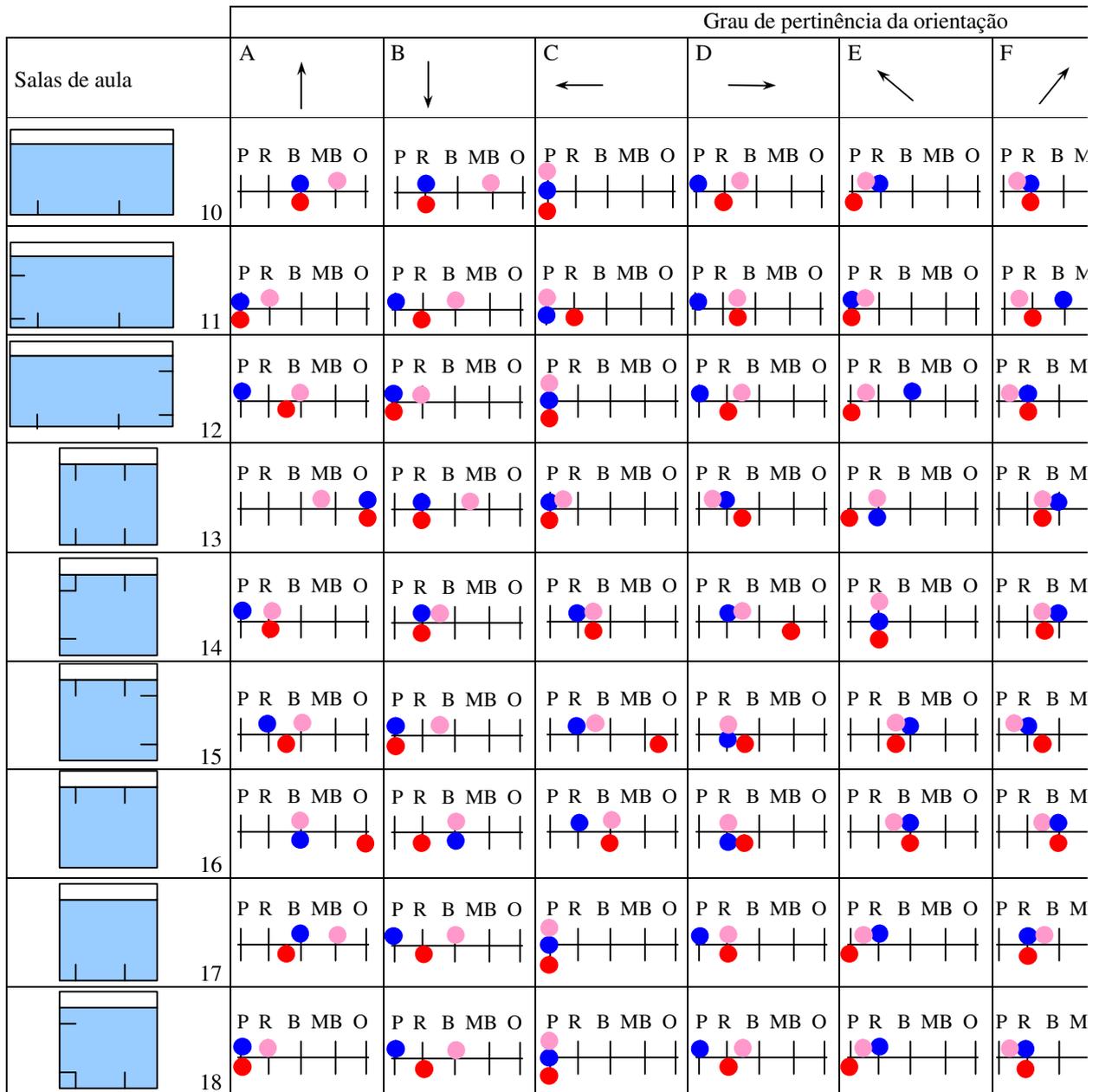


Fig. 6.3.2 B. Qualificação das variáveis de conforto luminoso realizada pelo

As variáveis qualificadas pelos especialistas através do diferencial semântico foram quantificadas através do grau de pertinência obtido pela média das respostas, associando-se o valor 1 para a qualificação ótima e zero para a qualificação péssima, conforme se verifica na tabela 6.3.1.

Tab. 6.3.1 Grau de pertinência das variáveis de projeto para conforto luminoso.

Salas de aula	Quantificação de conforto luminoso orientação							
	A ↑	B ↓	C ←	D →	E ↖	F ↗	G ↘	H ↙
1	0.08	0.08	0.58	0.29	0.38	0.13	0.25	0.21
2	0.29	0.63	0.17	0.08	0.21	0.29	0.59	0.33
3	0.17	0.29	0.50	0.42	0.29	0.29	0.38	0.38
4	0.25	0.08	0.42	0.33	0.29	0.29	0.21	0.21
5	0.46	0.17	0.13	0.21	0.25	0.54	0.29	0.34
6	0.63	0.38	0.08	0.13	0.13	0.25	0.17	0.25
7	0.17	0.21	0.29	0.46	0.29	0.38	0.25	0.38
8	0.25	0.13	0.46	0.34	0.38	0.34	0.38	0.33
9	0.67	0.50	0.54	0.38	0.46	0.46	0.50	0.42
10	0.58	0.42	0.00	0.21	0.13	0.21	0.25	0.33
11	0.08	0.25	0.08	0.25	0.04	0.29	0.17	0.25
12	0.29	0.08	0.00	0.21	0.21	0.25	0.25	0.25
13	0.88	0.38	0.04	0.25	0.17	0.42	0.17	0.29
14	0.17	0.29	0.34	0.46	0.25	0.38	0.29	0.63
15	0.38	0.13	0.50	0.29	0.38	0.34	0.71	0.42
16	0.67	0.42	0.42	0.29	0.46	0.46	0.50	0.42
17	0.54	0.25	0.00	0.17	0.13	0.25	0.17	0.33
18	0.08	0.25	0.00	0.21	0.13	0.21	0.17	0.33

As respostas de algumas variáveis (1C,2G,7F,15C), como se verifica na tabela 6.3.2, apresentaram desvio padrão superior ao valor limite de 0,25. Este valor foi considerado como limite pois marca uma diferença de opiniões maior que dois pontos da escala semântica. Esta diferença é considerada fato natural da linguagem humana e da experiência de cada especialista.

Tab. 6.3.2 Desvio padrão da quantificação das respostas dos especialistas para conforto luminoso

Salas de aula	Quantificação de conforto luminoso orientação							
	A ↑	B ↓	C ←	D →	E ↖	F ↗	G ↙	H ↘
1	0.12	0.12	0.31	0.06	0.10	0.18	0.18	0.16
2	0.06	0.17	0.12	0.12	0.16	0.06	0.29	0.12
3	0.12	0.06	0.20	0.12	0.06	0.06	0.10	0.10
4	0.00	0.12	0.12	0.12	0.06	0.06	0.16	0.06
5	0.25	0.12	0.18	0.16	0.00	0.33	0.06	0.06
6	0.10	0.18	0.12	0.10	0.18	0.18	0.12	0.18
7	0.12	0.16	0.06	0.06	0.06	0.27	0.10	0.10
8	0.20	0.18	0.06	0.06	0.10	0.06	0.10	0.12
9	0.24	0.00	0.15	0.10	0.06	0.06	0.00	0.06
10	0.12	0.24	0.00	0.16	0.10	0.06	0.00	0.12
11	0.12	0.20	0.12	0.18	0.06	0.15	0.12	0.20
12	0.21	0.12	0.00	0.16	0.21	0.00	0.00	0.20
13	0.17	0.18	0.06	0.10	0.12	0.06	0.12	0.06
14	0.12	0.06	0.06	0.21	0.00	0.10	0.06	0.27
15	0.10	0.18	0.27	0.06	0.10	0.06	0.25	0.12
16	0.24	0.12	0.12	0.06	0.06	0.06	0.00	0.12
17	0.15	0.20	0.00	0.12	0.10	0.00	0.12	0.12
18	0.12	0.20	0.00	0.16	0.10	0.06	0.12	0.12

Observa-se pela tabelas 6.3.1 e 6.3.2 que a variável melhor qualificada é a 13A seguida das variáveis 9A e 16A. As três possuem aberturas orientadas para o Norte com proteção de varanda, sendo que os especialistas não qualificaram de modo diferenciado as variáveis 9A e 16A que possuem formatos diferentes e mesma posição de abertura e orientação. A variável 13A além da abertura já mencionada também possui abertura para orientada Sul. Verificando-se os desvios padrão destas variáveis observa-se um valor maior nas variáveis 9A e 16A que na variável 13A, isto pode ser representado conforme figura 6.3.3:

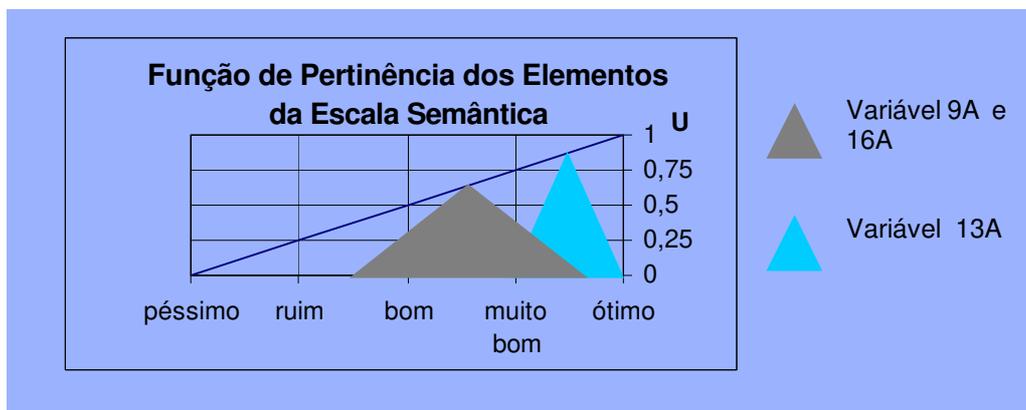


Fig. 6.3.3 Representação do grau de pertinência das variáveis 9A, 16A e 13A

Já as variáveis com a pior qualificação feita pelos especialistas são as 10C, 12C, 17C e 18C. Observa-se que todas possuem aberturas orientadas para oeste sem proteção e que o formato da sala de aula não influenciou a qualificação feita pelos especialistas.

Cada escola foi qualificada através das variáveis de projeto verificadas nas figuras 6.3.2.A e 6.3.2.B e quantificada através da média dos valores de grau de pertinência das variáveis de projeto obtidos na tabela 6.3.1. Por exemplo: na escola EMEF Prof. João Sant'anna localizada em Santana do Parnaíba, observam-se, na figura 6.3.4, 4 salas semelhantes à variável 17B e 1 salas semelhante à variável 17A

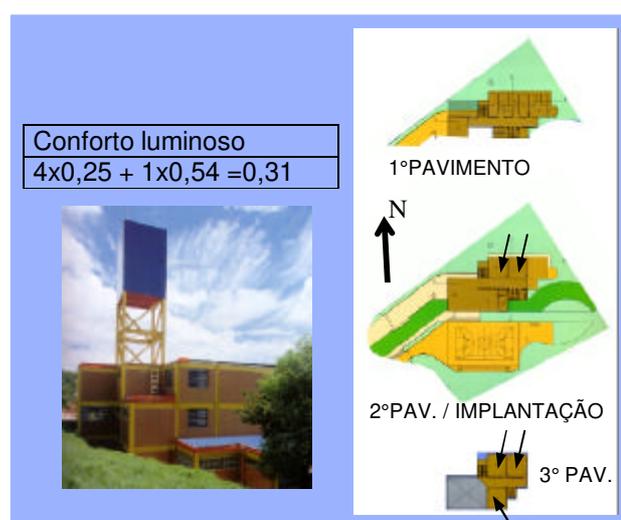


Fig.6.3.4 Exemplo de avaliação de conforto luminoso de projeto

A avaliação somente deste parâmetro consideraria que o melhor caso é o da escola Bairro Senhorinhas, visualizada na figura 6.2.5, localizada em Jujutiba que possui seis salas equivalentes a variável intermediária entre 13F e 13A. Podendo-se eliminar todas as outras soluções de projeto.



Fig. 6.3.5 Bairro Senhorinhas: escola com a melhor qualificação para o parâmetro de conforto luminoso

Já o pior caso, visualizados na figura 6.3.6, é o da escola Prof. Casemiro Poffo, localizada em Ribeirão Pires, possui todas as salas equivalentes a variável 17C.

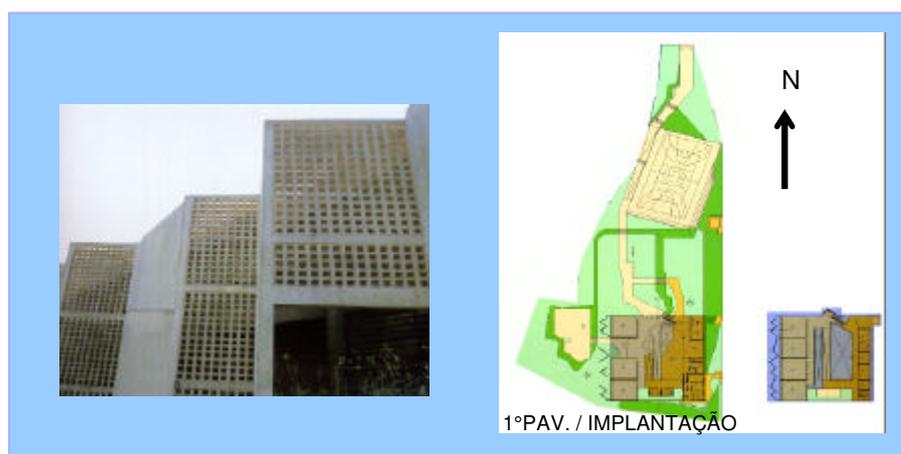


Fig. 6.3.6 Prof. Casemiro Poffo: pior escola qualificada para o parâmetro de conforto luminoso.

A análise de todos os projetos considerados nesta pesquisa foram tabulados na tabela 6.3.3. A qualificação péssima das variáveis de projeto feita pelos especialistas foi quantificada com o valor grau de pertinência igual a zero e a qualificação ótima com o valor um. A escala de avaliação ainda permitiu os valores intermediários ruim, bom e muito bom, quantificados respectivamente com valores de grau de pertinência 0.25, 0.50,0.75.

Tab. 6.3.3 Avaliação da amostra quanto ao conforto luminoso

Escola	n. de salas de aula	Conforto luminoso
Roque Magalhães Barros	4	0,17
José Camilo de Andrade	4	0,21
Prof. M. Alice C. Rodrigues	5	0,32
Dante Alighieri Vista	5	0,47
Bairro Limoeiro	5	0,33
Prof. João Sant' Anna	5	0,31
Bairro Rocío	6	0,23
Chapada Grande	6	0,25
Bairro Senhorinhas	6	0,65
Prof. Casemiro Poffo	6	0,00
Dr. Disney F. Scornaienchi	7	0,42
Buraco do Gazuza	8	0,33
Pq. Piratininga II	8	0,29
José Ibiapino Franklin	8	0,29
Procópio Ferreira	9	0,33
Francisco Glicério	9	0,25
Cel. Firmino G. da Silveira	9	0,24
Alberto Medaljon	11	0,20
Ary Monteiro Galvão	10	0,46
Pq. Cláudia	10	0,21
Artur Segurado	12	0,31
Barão Geraldo	12	0,23
Conj. Hab. Jd. Dourado II	12	0,22
Jd. Nossa Sra. De Fátima	12	0,13
Vila Ayrosa	12	0,24
Jd. Rodolfo Pirani	12	0,21
Prof. Jesus José Attab	12	0,30
João Lourenço	13	0,28
Galo Branco	15	0,39
Jd. Tiro	15	0,33
Vitor Meireles	16	0,22
Jd. Centenário	16	0,29
Adalberto Nascimento	17	0,32
Prof. Renato Fiuza Teles	18	0,54
Cidade Soínco II	20	0,25
Soldado PM. E. B. Santos	20	0,22

Observa-se pela tabela 6.3.3 que a maioria das escolas possui qualificação inferior à bom isto é, com grau de pertinência inferior a 0.50, o que indica que as decisões realizadas durante a implantação de projeto carecem de uma sistematização mais rigorosa, uma vez que a maioria dos terrenos permitem outros tipos de implantação.

#### **6.4- Conforto Funcional**

Na fase de anteprojeto a síntese da forma em relação ao conforto funcional se baseia na união de ambientes em blocos funcionais tendo como ponto de partida o programa de projeto.

No caso das escolas do Estado de São Paulo o programa de projeto e a legislação vigente (SS-493,1994) indicam os tamanhos mínimos dos ambientes e a divisão de funções relacionadas à: 1-administração, 2- atividades pedagógicas, 3- atividades recreativas e 4- atividades de apoio.

Nota-se que a partir destas informações o projetista organiza os ambientes nos blocos funcionais e une os blocos para a formação da escola ou vice-versa. A relação de proximidade entre os blocos e entre os ambientes de um mesmo bloco fica a critério do projetista e possui como restrição o terreno, podendo-se utilizá-la como parâmetro para a otimização de projetos nesta fase.

A união entre blocos geralmente é feita através de corredores e escadas que possuem todo um dimensionamento legalizado relacionado ao número de pessoas, à largura desses acessos e à distância máxima a ser percorrida no caso de evacuação do prédio. Esta normatização pode ser considerada como **restrição** de projeto, assim como é o caso da acessibilidade do deficiente físico.

O tamanho dos ambientes é outro fator importante para a funcionalidade do projeto. A legislação prevê área mínima por aluno em sala de aula de 1m<sup>2</sup> (SS-493,1994) e a padronização feita pelo FDE considera a sala quadrada de 49m<sup>2</sup>.

Acredita-se no entanto, que o respeito a padronização deve ser considerado como **restrição** e que o critério de funcionalidade de ambientes deveria considerar a flexibilidade do mesmo permitindo diferentes tipos de atividade.

Os problemas relacionados a flexibilidade dos ambientes foram verificados nas avaliações pós-ocupações citadas na seção 4. Como a maioria dos projetos considerados nesta metodologia de avaliação se basearam em tamanhos padronizados de sala de aula, não foi possível comparar sob este aspecto os projetos desta amostra. Resta estabelecer, para a fase de anteprojeto, o **princípio** de projeto onde o tamanho dos ambientes deve considerar a possibilidade de diversos arranjos de mobiliário e a locomoção das pessoas.

Considerando as decisões realizadas para esta fase de projeto e a amostra adotada nesta pesquisa, elaborou-se como parâmetro de avaliação a distância linear entre os ambientes de um mesmo bloco com funções diferenciadas que podem intervir nas atividades cotidianas da escola, como é o caso das distâncias entre sala de aula e banheiro, e a distância entre ambientes de diferentes blocos funcionais que pode influenciar a distribuição de tempo das atividades pedagógicas como é o caso da distância entre sala de aula e área recreativa.

Nesta análise não foi necessário a avaliação de especialistas pois foram consideradas medidas físicas que puderam ser transformados em dados qualitativos. Para mensurar a distância entre os ambientes foram feitas algumas considerações: 1) a distância percorrida em escadas foi convertida para rampa com inclinação de 10%, 2) foi considerado a média das distâncias do centro de cada sala de aula ao banheiro e o caminho realizado pelo usuário, 3) foi considerado a média das distância do centro do pátio ao centro de cada sala de aula.

Na análise feita através dos 35 projetos, observou-se que a distância entre sala de aula e banheiro variou de 10.80 a 111.00 metros e a distância entre pátio e sala de aula variou de 16.00 a 205.00 metros, não se verificou relação entre o número de salas de aula e as distâncias máximas conforme se visualiza na figura. 6.4.1.

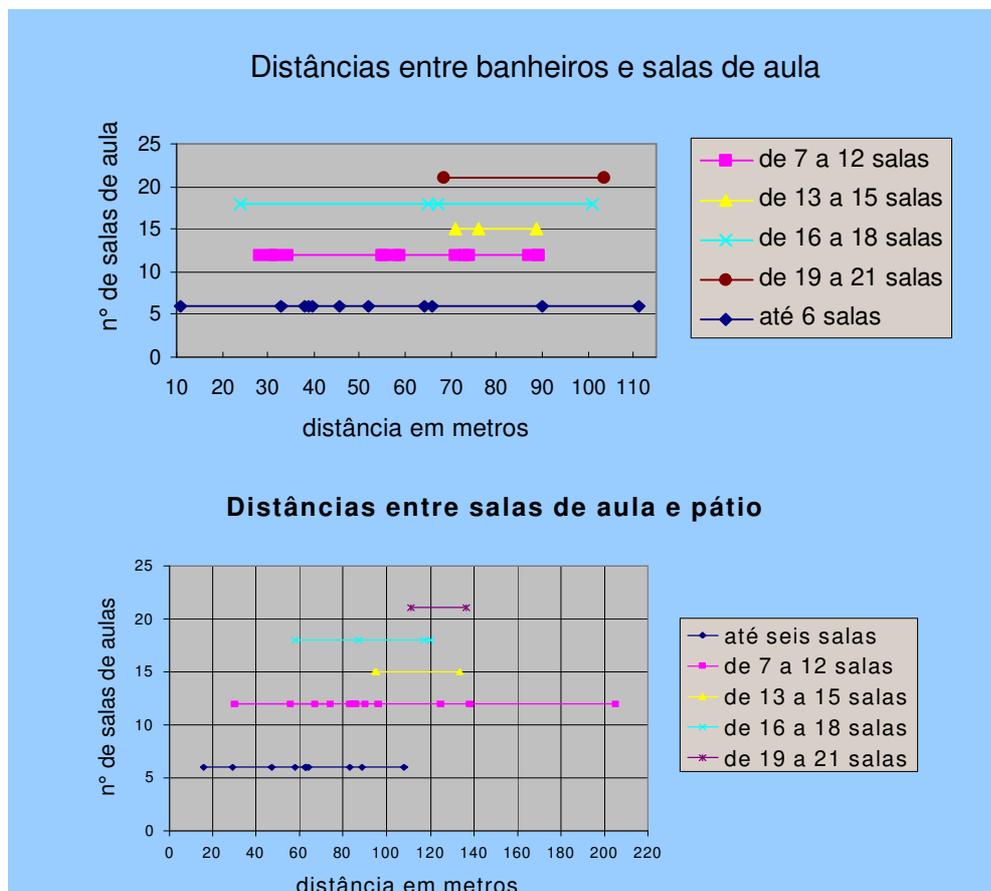


Fig. 6.4.1 Distâncias verificadas entre salas de aula, banheiro e pátio

Para transformar estas medidas em grau de pertinência de acordo com a escala semântica (péssimo, ruim, bom, muito bom e ótimo), foi considerado a relação do tempo gasto para a locomoção de um ambiente para outro e o tempo da atividade realizada no ambiente.

O tempo gasto para a locomoção possui variações que se referem ao tamanho da pessoa, ao modo de andar, à idade entre outras. Para esta conversão foi considerada a velocidade de 6,5 km/h ou seja 108,33 m/min, que corresponde a um adulto caminhando em passo apressado (FIXX,1977).

Observou-se que a organização da escola se faz no mínimo em 200 dias letivos e 800 horas anuais, ou seja no mínimo 4 horas por dia, aí excluído o tempo reservado

aos exames finais e incluído o recreio como parte das atividades educativas (CEE nº10/97). Geralmente as escolas se organizam para o ensino médio com atividades em sala de aula realizadas de 50 minutos e recreio de 15 a 20 minutos. Para o ensino fundamental as atividades em sala de aula são realizadas em 45 minutos e mesmo tempo de recreio.

Considerou-se a transformação do tempo gasto na locomoção (ida e volta) entre os ambientes em relação ao tempo previsto para a atividade em diferencial semântico e Grau de Pertinência conforme tabela 6.4.2:

Diferencial semântico	GP	% de tempo de locomoção em relação a atividade	Atividades em sala de aula		Atividades no pátio (recreio)	
			minutos	distância para ir e voltar	minutos	distância para ir e voltar
Péssimo	0,00	10% da atividade	5	541,65	2,0	216,66
Ruim	0,25	5% da atividade	2,5	270,83	1,0	108,33
Bom	0,50	3% da atividade	1,5	162,5	0,6	65,00
Muito bom	0,75	2% da atividade	1,0	108,33	0,4	43,30
ótimo	1,00	1% da atividade	0,5	54,16	0,2	21,66

Tab. 6.4.1 Conversão de medidas funcionais em grau de pertinência

A tabela 6.4.1 pode ser representada pela figura 6.4.2 que mostra a função de pertinência de cada parâmetro de conforto funcional. Nota-se por esta figura que estas funções não são lineares demonstrando que o aumento do grau de pertinência não é proporcional à diminuição da distância. Isto ocorre pois quanto maior a distância mais tempo de atividade o aluno irá perder o que prejudica seu aprendizado.

Através da figura 6.4.2 ou da tabela 6.4.1 pode-se transformar medidas físicas em grau de pertinência, como se mostra no exemplo da figura 6.4.3 da escola EEPG José Camilo de Andrade localizada em Suzano.

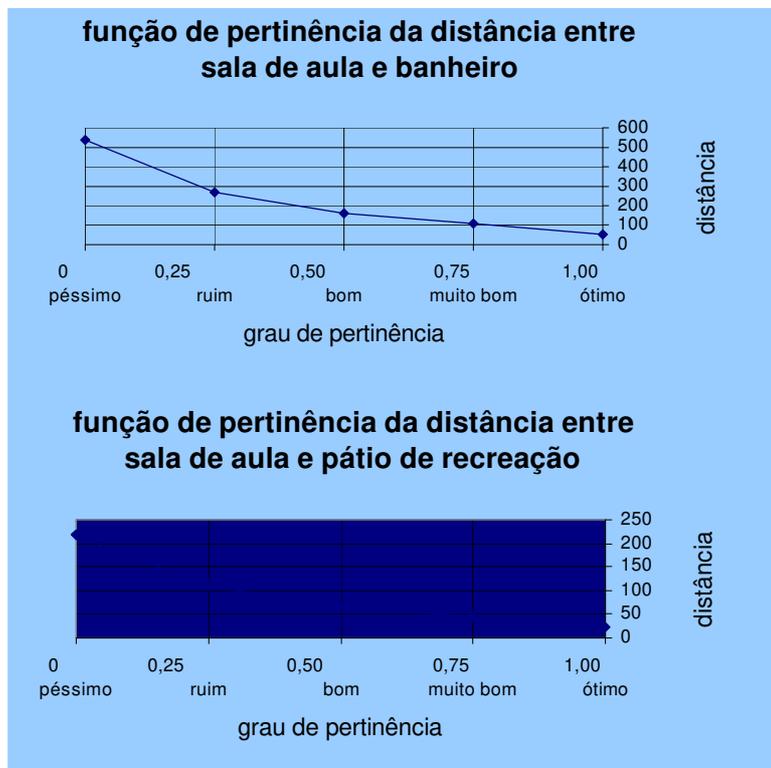


Fig. 6.4.2 Representação da função de pertinência dos parâmetros de conforto funcional.

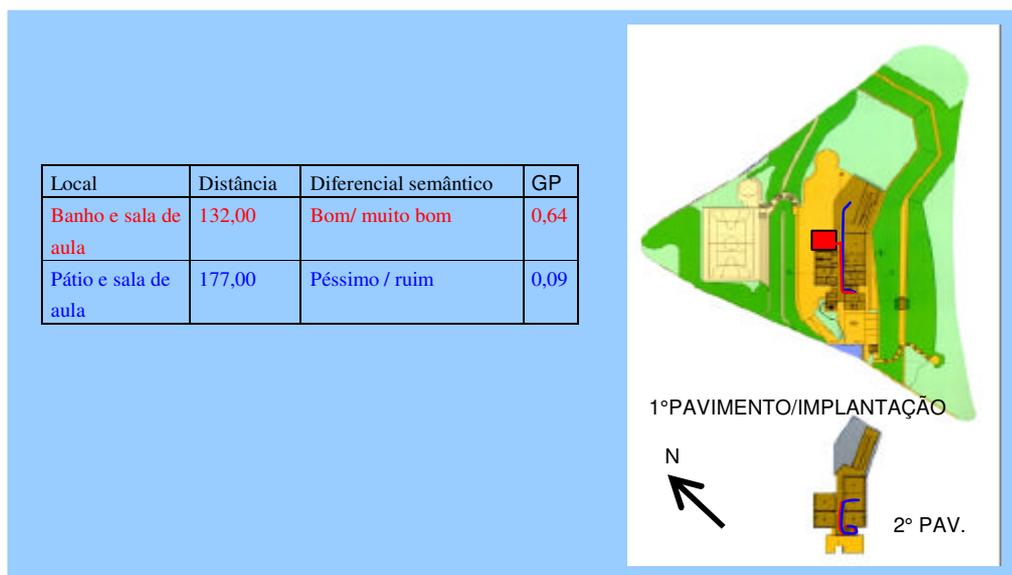


Fig. 6.4.3 Exemplo de avaliação de conforto funcional

A avaliação somente deste parâmetro consideraria que os melhores casos, visualizados na figura 6.4.4, são a escola Prof. João Sant' Anna, localizada Santana do Parnaíba, e a escola Vitor Meireles, localizada em Campinas.

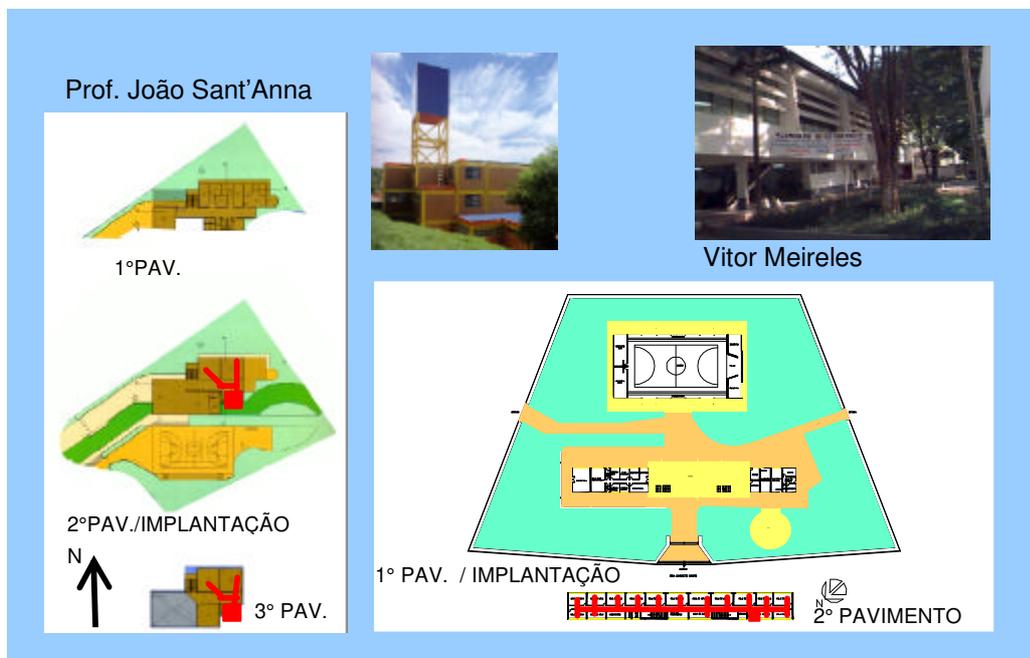


Fig. 6.4.4 Prof. João Sant' Anna e a Vitor Meireles: escolas com as melhores qualificações para o conforto funcional.

Já o pior caso, visualizado na figura 6.4.5, é o da escola Bairro Senhorinhas, localizada em Jujutiba .

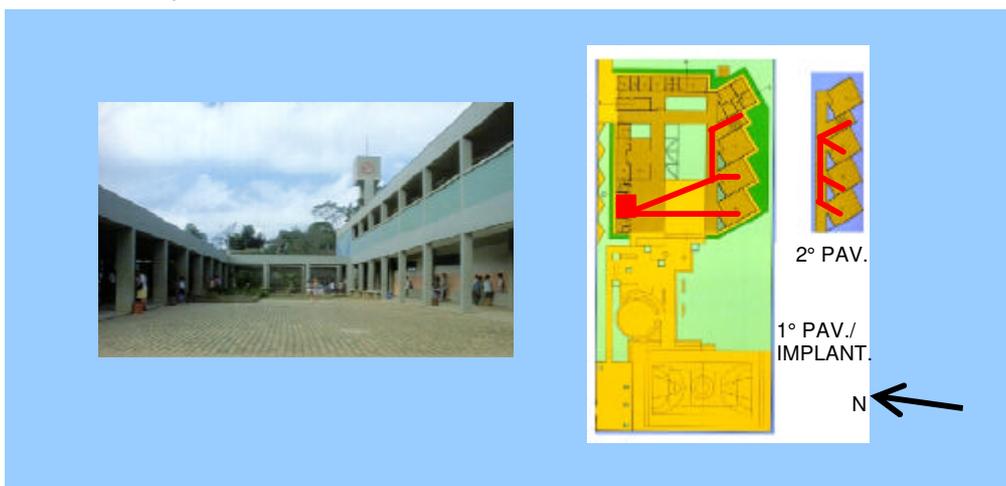


Fig. 6.4.5 Bairro Senhorinhas: a pior escola qualificada para o parâmetro de conforto funcional.

Todas as escolas passaram por este procedimento e os dados foram tabulados em forma da tabela 6.4.2 onde observou-se que a avaliação da parâmetro distância entre pátio e sala de aula possui valores muito baixos na maioria das escolas analisadas como decorrência das grandes distancias entre estes ambientes. Desta avaliação pode-se inferir que o pátio das escolas dificilmente é utilizado para o recreio uma vez que o tempo disponível para sua utilização é muito pequeno. Por este motivo este parâmetro não foi utilizado para a avaliação de anteprojeto.

Tabela 6.4.2 – Avaliação de projetos em relação ao conforto funcional

Escola	Funcional	
	Banho	pátio
Roque Magalhães Barros	0,90	0,88
José Camilo de Andrade	0,64	0,09
Prof. M. Alice C. Rodrigues	0,66	0,21
Dante Aligueri Vista	0,45	0,21
Bairro Limoeiro	0,77	0,20
Prof. João Sant' Anna	1,00	0,21
Bairro Rocio	0,89	0,33
Chapada Grande	0,95	0,12
Bairro Senhorinhas	0,36	0,00
Prof. Casemiro Poffo	0,83	0,23
Dr. Disney F. Scornaienchi	0,93	0,15
Buraco do Gazuza	0,45	0,00
Pq. Piratininga II	0,97	0,12
José Ibiapino Franklin	0,59	0,12
Procópio Ferreira	0,71	0,24
Francisco Glicério	0,74	0,08
Cel. Firmino G. da Silveira	0,57	0,19
Alberti Medaljon	0,67	0,18
Ary Monteiro Galvão	0,46	0,10
Pq. Claudia	0,60	0,11
Artur Segurado	0,98	0,16
Barão Geraldo	0,46	0,06
Conj. Hab. Jd. .Dourado II	0,87	0,12
Jd. Nossa Sra. De Fátima	0,74	0,00
Vila Ayrosa	0,71	0,08
Jd. Rodolfo Pirani	0,96	0,00
Prof. Jesus José Attab	0,47	0,00
João Lourenço	0,59	0,06
Galo Branco	0,46	0,06
Jd. Tiro	0,55	0,00
Vitor Meireles	1,00	0,23
Jd. Centenário	0,63	0,00
Adalberto Nascimento	0,65	0,00
Prof. Renato Fiuza Teles	0,41	0,10
Cidade Soinco II	0,39	0,00
Soldado PM. E. B. Santos	0,62	0,00

## 7- OTIMIZAÇÃO MULTICRITÉRIO DA AMOSTRA

A otimização de projeto é realizada para que se possa comparar projetos que pertencem ao conjunto de soluções viáveis, isto é soluções que atendam as restrições do modelo matemático, e selecionar a “melhor”<sup>7</sup> alternativa.

Nesta pesquisa a seleção do conjunto de soluções viáveis foi feita considerando-se como restrição o tamanho mínimo do terreno elaborado na seção 5.2, o que resultou na exclusão de quatro projetos da amostra inicial, que se encontram representados no anexo 2. Assim o conjunto viável foi formado por trinta e cinco projetos representados no anexo 3

O conjunto de soluções viáveis foi analisado através do modelamento matemático dos parâmetros de conforto térmico, acústico, luminoso e funcional, desenvolvido no capítulo 6. Os dados recolhidos em cada escola formam um conjunto discreto de avaliação das variáveis de projeto expressos em grau de pertinência, representados na tabela 7.1.

As variáveis de projeto foram qualificadas pela escala semântica formada por cinco pontos (péssimo, ruim, bom, muito bom e ótimo), esta por sua vez foi quantificada pelo grau de pertinência (0.00,0.25,0.50,0.75,1.00). Estas escalas são contínuas

---

<sup>7</sup> a melhor alternativa não é necessariamente a melhor solução universal de projeto de escola mas as melhores soluções existentes em um conjunto de soluções viáveis.

podendo ocorrer valores intermediários entre os pontos (por exemplo entre péssimo e ruim, ruim e bom, etc). Observou-se que num único projeto poderiam ocorrer diferentes configurações de sala de aula, portanto a avaliação global de cada parâmetro foi realizada pela média da qualificação das salas de aula.

### 7.1 Avaliação de projetos em relação as variáveis consideradas de conforto ambiental

Escolas	n. de salas de aula	Conf. Térmico	Conforto luminoso	Acústico	Funcional	Tipologia
Roque Magalhães Barros	4	0,25	0,17	0,33	0,90	4
José Camilo de Andrade	4	0,27	0,21	0,49	0,64	2
Prof. M. Alice C. Rodrigues	5	0,25	0,32	0,67	0,66	1
Dante Aliguieri Vista	5	0,23	0,47	0,46	0,45	6
Bairro Limoeiro	5	0,25	0,33	0,67	0,77	1
Prof. João Sant' Anna	5	0,17	0,31	0,61	1,00	2
Bairro Rocio	6	0,23	0,23	0,67	0,89	1e3
Chapada Grande	6	0,17	0,25	0,67	0,95	1e2
Bairro Senhorinhas	6	0,69	0,65	0,21	0,36	1e3
Prof. Casemiro Poffo	6	0,00	0,00	0,17	0,83	7
Dr. Disney F. Scornaienchi	7	0,29	0,42	0,71	0,93	1
Buraco do Gazuza	8	0,25	0,33	0,17	0,45	7
Pq. Piratininga II	8	0,17	0,29	0,34	0,97	2
José Ibiapino Franklin	8	0,33	0,29	0,21	0,59	1
Procópio Ferreira	9	0,25	0,33	0,50	0,71	3
Francisco Glicério	9	0,25	0,25	0,49	0,74	1 e 2
Cel. Firmino G. da Silveira	9	0,10	0,24	0,45	0,57	2 e 6
Alberto Medaljon	11	0,22	0,20	0,68	0,67	1 e 3
Ary Monteiro Galvão	10	0,29	0,46	0,59	0,46	2 e 5
Pq. Claudia	10	0,23	0,21	0,67	0,60	1 e 2
Artur Segurado	12	0,26	0,31	0,33	0,98	1 e 2
Barão Geraldo	12	0,23	0,23	0,45	0,46	1 e 4
Conj. Hab. Jd. .Dourado II	12	0,24	0,22	0,67	0,87	2
Jd. Nossa Sra. De Fátima	12	0,21	0,13	0,65	0,74	1 e 5
Vila Ayrosa	12	0,23	0,24	0,56	0,71	1 e 5
Jd. Rodolfo Pirani	12	0,09	0,21	0,56	0,96	1 e 6
Prof. Jesus José Attab	12	0,21	0,30	0,46	0,47	6
João Lourenço	13	0,24	0,28	0,33	0,59	1,2 e 3
Galo Branco	15	0,17	0,39	0,46	0,46	2
Jd. Tiro	15	0,25	0,33	0,44	0,55	1
Vitor Meireles	16	0,25	0,22	0,30	1,00	2
Jd. Centenário	16	0,23	0,29	0,46	0,63	2
Adalberto Nascimento	17	0,25	0,32	0,21	0,65	1 e 2
Prof. Renato Fiuza Teles	18	0,25	0,54	0,71	0,41	1 e 3
Cidade Soinco II	20	0,23	0,25	0,25	0,39	7
Soldado PM. E. B. Santos	20	0,07	0,22	0,17	0,62	7

Nesta pesquisa o objetivo é avaliar projetos e tomar decisões otimizadas, considerando-se o conjunto de parâmetros de conforto ambiental na fase de

anteprojeto. Verifica-se na tabela 7.1 que não existe uma solução que maximize todos os confortos ao mesmo tempo ou seja, um projeto com avaliação superior aos outros em todos os parâmetros.

Este fato permite considerar o conceito de otimização multicritério para comparar e selecionar as melhores soluções de projetos. Isto é, identificar e excluir as soluções inferiores, formando o conjunto de soluções de compromisso descrito na seção 3.4 . Portanto, faz-se necessário estipular um critério que identifique quais são as soluções inferiores e quais são as soluções de compromisso.

Observando-se novamente a tabela 7.1, nota-se que existem projetos com grau de pertinência em todos os confortos inferior à outra solução, como é o caso do exemplo abaixo:

A Escola Cel. Firmino G. da Silveira possui grau de pertinência de conforto térmico, luminoso, acústico e funcional respectivamente composto por (0.10,0.24,0.45,0.57) que é inferior ao conjunto formado pela Escola Bairro Limoeiro (0.25,0.33,0.67,0.77).

Assim o critério para identificar as soluções inferiores é: soluções que possuem **todas** as avaliações de parâmetros de conforto com valor inferior à outro projeto.

Pode-se definir por eliminação, o critério de maximização de projeto que identifica as soluções de compromisso da seguinte maneira: soluções que possuem **pelo menos uma** avaliação de parâmetro de conforto superior à outro projeto

Verificando-se todos os projeto que são objeto desta análise e seguindo o critério de maximização, forma-se um conjunto discreto de soluções de compromisso. Estas soluções também são chamadas de “ótimo de Edgeworth-Pareto” do conjunto finito das soluções viáveis de projeto (STADLER E DAUER, 1992).

Para facilitar a implementação do conjunto de soluções de compromisso organiza-se um dos parâmetros avaliados em ordem decrescente. Como ilustra a tabela 7.2 onde os índices de conforto térmico estão organizados em ordem decrescente.

Tabela 7.2 Soluções inferiores de projeto

Escola	n. de salas de aula	Conf. Térmico	Conforto luminoso	Acústico	Funcional	Tipologia
Bairro Senhorinhas	6	<b>0,69</b>	<b>0,65</b>	0,21	0,36	1 e 3
José Ibiapino Franklin	8	0,33	0,29	0,21	0,59	1
Ary Monteiro Galvão	10	0,29	0,46	0,59	0,46	2 e 5
Dr. Disnei F. Scornaienchi	7	0,29	0,42	<b>0,71</b>	0,93	1
José Camilo de Andrade	4	<b>0,27</b>	<b>0,21</b>	<b>0,49</b>	<b>0,64</b>	2
Artur Segurado	12	0,26	0,31	0,33	0,98	1 e 2
Prof. Renato Fiuza Teles	18	0,25	0,54	<b>0,71</b>	0,41	1 e 3
Bairro Limoeiro	5	<b>0,25</b>	<b>0,33</b>	<b>0,67</b>	<b>0,77</b>	1
Procópio Ferreira	9	<b>0,25</b>	<b>0,33</b>	<b>0,5</b>	<b>0,71</b>	3
Jd. Tiro	15	<b>0,25</b>	<b>0,33</b>	<b>0,44</b>	<b>0,55</b>	1
Buraco do Gazuza	8	<b>0,25</b>	<b>0,33</b>	<b>0,17</b>	<b>0,45</b>	7
Prof. M. Alice C. Rodrigues	5	<b>0,25</b>	<b>0,32</b>	<b>0,67</b>	<b>0,66</b>	1
Adalberto Nascimento	17	<b>0,25</b>	<b>0,32</b>	<b>0,21</b>	<b>0,65</b>	1 e 2
Francisco Glicério	9	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,49</b>	<b>0,74</b>	1 e 2
Vitor Meireles	16	0,25	0,22	0,30	<b>1</b>	2
Roque Magalhães Barros	4	<b>0,25</b>	<b>0,17</b>	<b>0,33</b>	<b>0,9</b>	4
João Lourenço	13	<b>0,24</b>	<b>0,28</b>	<b>0,33</b>	<b>0,59</b>	1,2 e 3
Conj. Hab. Jd. .Dourado II	12	<b>0,24</b>	<b>0,22</b>	<b>0,67</b>	<b>0,87</b>	2
Dante Aligueri Vista	5	0,23	0,47	0,46	0,45	6
Jd. Centenário	16	<b>0,23</b>	<b>0,29</b>	<b>0,46</b>	<b>0,63</b>	2
Cidade Soinco II	20	<b>0,23</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,39</b>	7
Vila Ayrosa	12	<b>0,23</b>	<b>0,24</b>	<b>0,56</b>	<b>0,71</b>	1 e 5
Bairro Rocio	6	<b>0,23</b>	<b>0,23</b>	<b>0,67</b>	<b>0,89</b>	1 e 3
Barão Geraldo	12	<b>0,23</b>	<b>0,23</b>	<b>0,45</b>	<b>0,46</b>	1 e 4
Pq. Claudia	10	<b>0,23</b>	<b>0,21</b>	<b>0,67</b>	<b>0,6</b>	1 e 2
Alberto Medaljon	11	<b>0,22</b>	<b>0,20</b>	<b>0,68</b>	<b>0,67</b>	1 e 3
Prof. Jesus José Attab	12	<b>0,21</b>	<b>0,3</b>	<b>0,46</b>	<b>0,47</b>	6
Jd. Nossa Sra. De Fátima	12	<b>0,21</b>	<b>0,13</b>	<b>0,65</b>	<b>0,74</b>	1 e 5
Galo Branco	15	<b>0,17</b>	<b>0,39</b>	<b>0,46</b>	<b>0,46</b>	2
Prof. João Sant' Anna	5	0,17	0,31	0,61	<b>1</b>	2
Pq. Piratininga II	8	<b>0,17</b>	<b>0,29</b>	<b>0,34</b>	<b>0,97</b>	2
Chapada Grande	6	0,17	0,25	0,67	0,95	1 e 2
Cel. Firmino G. da Silveira	9	<b>0,1</b>	<b>0,24</b>	<b>0,45</b>	<b>0,57</b>	2 e 6
Jd. Rodolfo Pirani	12	<b>0,09</b>	<b>0,21</b>	<b>0,56</b>	<b>0,96</b>	1 e 6
Soldado PM. E. B. Santos	20	<b>0,07</b>	<b>0,22</b>	<b>0,17</b>	<b>0,62</b>	7
Prof. Casemiro Poffo	6	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,17</b>	<b>0,83</b>	7

Na tabela 7.2 os índices destacados em vermelho são inferiores, e os projetos que possuem todos os índices de grau de pertinência assim destacados são soluções inferiores. As demais soluções formam o conjunto de soluções de compromisso, que esta representado na tabela 7.3. Os índices destacados em preto e negrito representam o maior valor encontrado para cada parâmetro.

Tabela 7.3 Conjunto de soluções não-inferiores

Escola	Térmico	luminoso	Acústico	Funcional
Bairro Senhorinhas	<b>0,69</b>	<b>0,65</b>	0,21	0,36
José Ibiapino Franklin	0,33	0,29	0,21	0,59
Ary Monteiro Galvão	0,29	0,46	0,59	0,46
Dr. Disney F. Scornaienchi	0,29	0,42	<b>0,71</b>	0,93
Artur Segurado	0,26	0,31	0,33	0,98
Prof. Renato Fiuza Teles	0,25	0,54	<b>0,71</b>	0,41
Vitor Meireles	0,25	0,22	0,30	<b>1</b>
Dante Aligueri Vista	0,23	0,47	0,46	0,45
Prof. João Sant' Anna	0,17	0,31	0,61	<b>1</b>
Chapada Grande	0,17	0,25	0,67	0,95

Observa-se, pela tabela 7.3, que o conjunto de soluções de compromisso mostra de forma clara que a análise de anteprojetos e a decisão por um único parâmetro de avaliação poderia desconsiderar soluções melhores em outros parâmetros, por exemplo:

A escola Bairro Senhorinhas é considerada uma solução de compromisso porque possui as avaliações de conforto térmico e luminoso superiores a todos os outros projetos da amostra. Isto ocorre porque as variáveis de projeto utilizadas pelo projetista para este parâmetro, representadas na figura 7.1, foram:

Variável de projeto para conforto térmico	$(1A + 1F)/2 = (0,67 + 0,71)/2 = 0,69$
Variável de projeto para conforto luminoso	$(13A + 13F)/2 = (0,88 + 0,42)/2 = 0,65$

Fig. 7.1 Bairro Senhorinhas: Variáveis de projeto utilizadas nos confortos acústico e luminoso.

A utilização desta variável permite a ventilação cruzada e a iluminação através de duas aberturas sendo que uma localizada na orientação entre norte e noroeste com a proteção da cobertura de corredor e outra localizada na orientação entre sul e sudeste.

Porém, no conforto acústico e no funcional esta escola não possui uma boa avaliação, pois as variáveis de projeto utilizadas para estes confortos, representadas na figura 7.2, foram:

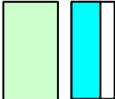
Variável de projeto para conforto acústico 2 = 0,21	Variável de projeto para conforto funcional 222 metros = 0,36		
	Diferencial semântico	GP	distância para ir e voltar
	Ruim	0,25	270,83
	Bom	0,50	162,5

Fig. 7.2 Bairro Senhorinhas: Variáveis de projeto utilizadas nos confortos acústico e funcional.

A variável de conforto acústico utilizada, localiza a área de recreação em frente às janelas de sala de aula, que foi qualificada pelos especialistas como uma solução entre péssimo e ruim. Já a variável de conforto funcional localiza o banheiro em relação à sala de aula com uma distância entre ruim e bom.

Por outro lado a formação deste conjunto “ótimo de Edgeworth-Pareto” mostra a importância de se considerar a tomada de decisões otimizadas de múltiplos critérios no anteprojeto de modo a eliminar soluções inferiores no início do processo projetivo, visto que nestas soluções todos os parâmetros devem ser melhorados como é o caso do exemplo à seguir:

A escola Soldado PM E.B. Santos é uma solução inferior quando comparada ao conjunto de soluções de compromisso pois em todos os parâmetros avaliados foram encontrados soluções melhores de projeto. Isto ocorre porque as variáveis de projeto utilizadas, representadas na figura 7.3, foram:

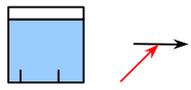
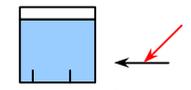
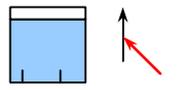
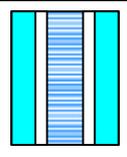
Variáveis de projeto utilizadas para conforto Térmico $(8 \times 5D + 8 \times 5C + 4 \times 5A) / 20 = (8 \times 0.08 + 8 \times 0.00 + 4 \times 0.17) / 20 = 0.07$ Variáveis de projeto utilizadas para conforto Luminoso $(8 \times 17D + 8 \times 17C + 4 \times 17A) / 20 = (8 \times 0.29 + 8 \times 0.00 + 4 \times 0.54) / 20 = 0.22$											
 5D e 17D	 5C e 17C	 5A e 17A									
Variável de projeto utilizada para conforto acústico $(20 \times 8) / 20 = (20 \times 0.17) / 20 = 0.17$		Variável de projeto utilizadas para conforto funcional = $137.00m = 0.62$									
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Diferencial semântico</th> <th>GP</th> <th>distância para ir e voltar</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bom</td> <td>0,50</td> <td>162,5</td> </tr> <tr> <td>Muito bom</td> <td>0,75</td> <td>108,33</td> </tr> </tbody> </table>	Diferencial semântico	GP	distância para ir e voltar	Bom	0,50	162,5	Muito bom	0,75	108,33
Diferencial semântico	GP	distância para ir e voltar									
Bom	0,50	162,5									
Muito bom	0,75	108,33									

Fig. 7.3 Soldado PM E.B. Santos: Variáveis de projeto utilizadas.

A utilização destas variáveis de conforto térmico não permite a ventilação cruzada, uma vez que possui apenas uma abertura, sendo necessário a utilização de caixilhos especiais para a melhoria da ventilação. Quanto a orientação das aberturas das salas de aula tem-se que: no caso da variável 5D se faz à leste o que prejudica o conforto térmico no período da manhã, no caso da 5C se faz à oeste o que além de prejudicar o conforto térmico no período da tarde dificulta a ventilação feita pelos ventos predominantes sudeste, finalmente no caso da variável 5A a orientação da abertura se faz à Sul o que pode prejudicar as condições de conforto principalmente nos meses de inverno ou em dias frios.

Quanto ao conforto luminoso, a iluminação se faz através de uma única abertura para o formato de uma sala quadrada. Nas orientações das aberturas das salas de aula tem-se que: no caso da variável 17D se faz à leste o que pode gerar o ofuscamento do plano de trabalho no período da manhã, no caso da 17C se faz à oeste o que pode gerar o ofuscamento no período da tarde e finalmente no caso da variável 17A a orientação da abertura se faz à Sul o que é uma solução de iluminação natural considerada boa, mas que provavelmente necessitará de complementação através de iluminação artificial no início da manhã e fim da tarde e durante todo o dia nas áreas localizadas próximas às paredes sem abertura

A variável de conforto acústico utilizada, localiza a área de recreação na área coberta em frente ao corredor que dá acesso as salas de aula. O que prejudica o conforto acústico uma vez que o som da recreação é amplificado pelo seu confinamento entre os blocos de sala de aula e a cobertura. Disto resulta a inviabilidade de uso simultâneo das salas de aula e do pátio coberto de recreação.

Já a variável de conforto funcional localiza o banheiro em relação à sala de aula com uma distância entre bom e muito bom. Porém quando se compara este projeto com as soluções de compromisso verifica-se que existem soluções melhores.

Observa-se pelos exemplos acima que uma solução inferior necessita de ajustes maiores que as soluções de compromisso, por esta razão é importante se considerar a otimização multicritério no início do processo de projeto para que as melhores soluções sejam selecionadas, o que pode contribuir para a racionalização do processo e para elaboração de projetos com melhor qualidade relacionadas ao conforto ambiental.

O conjunto de soluções viáveis, nesta pesquisa, foi composto por trinta e cinco projetos, após o desenvolvimento da metodologia de avaliação/otimização foi incluído o critério de otimização, que qualifica o conjunto de soluções viáveis em dois grupos: conjunto de soluções inferiores e conjunto de soluções de compromisso. Desta maneira o conjunto de soluções viáveis com compromisso indica a tomada de decisão do projetista à dez possibilidades esboçadas nas figura 7.4.A e 7.4B

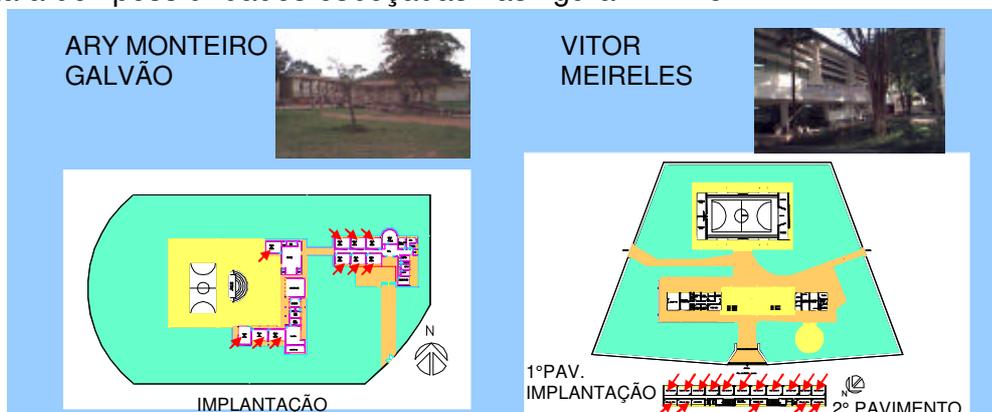


Fig. 7.4.A Soluções de Compromisso

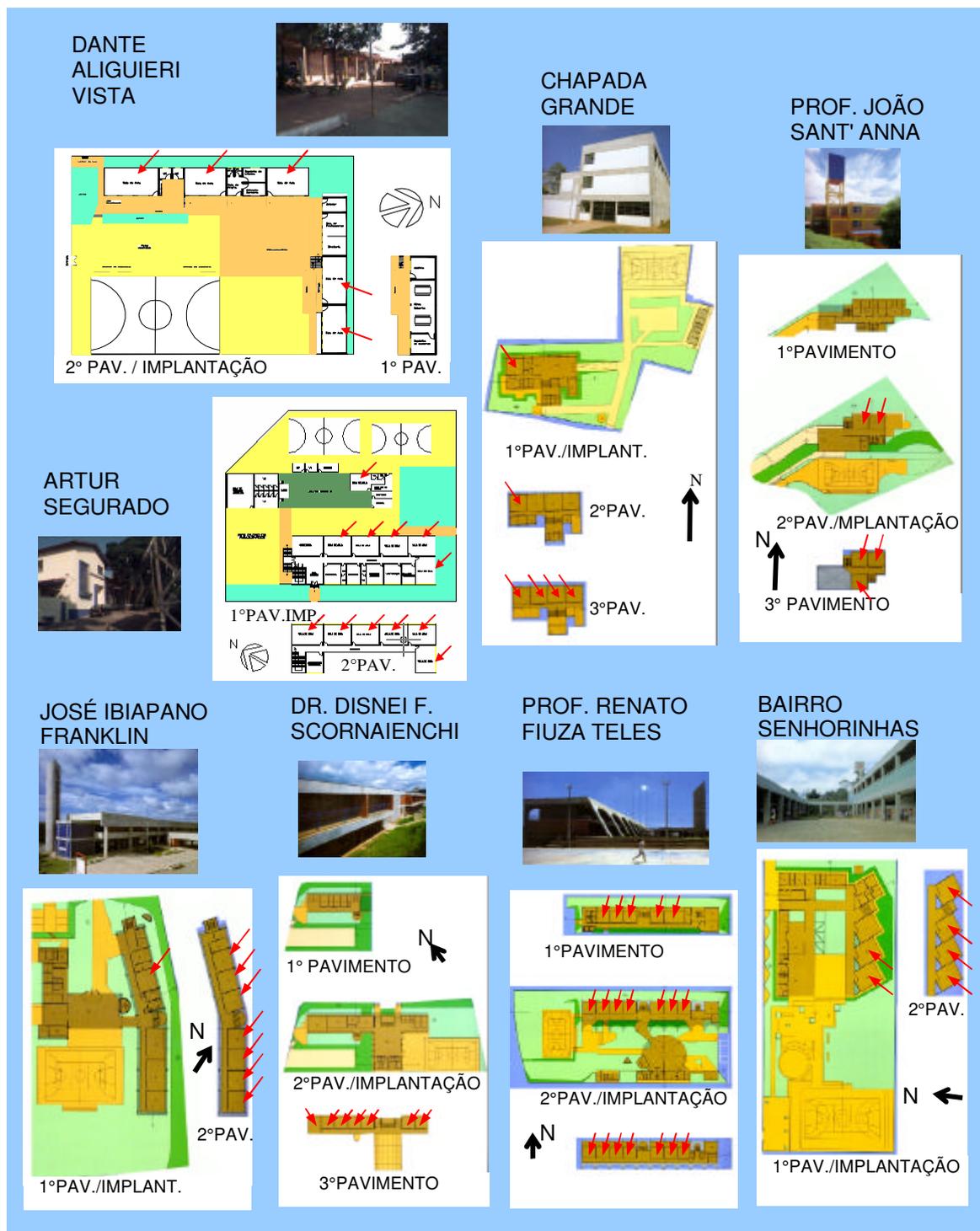


Fig. 7.4.B. Conjunto de soluções de compromisso

Este conceito de otimização pode ser utilizado em duas situações distintas: no desenvolvimento de um novo projeto e na avaliação pós-ocupação.

No desenvolvimento de um novo projeto o conceito de otimização possibilita ao projetista tomar decisões de uma maneira mais criteriosa, uma vez que toma consciência dos diversos parâmetros, muitas vezes conflitantes, que influenciam a avaliação de projetos.

A metodologia de projeto que incorpora o conceito de otimização beneficia o processo sob dois aspectos: primeiro o projetista pode desde início optar pelas variáveis de projeto melhores qualificadas e segundo ele pode comparar anteprojetos e eliminar soluções inferiores.

No primeiro caso ele pode optar pelas seguintes variáveis de projeto:

- conforto acústico variáveis 1 ou 3
- no conforto térmico variáveis 1A ou 1F
- no conforto luminoso variáveis 9A ou 16A ou 13A
- no conforto funcional pode manter a distância entre sala de aula e banheiro inferior à oitenta metros.

Infelizmente o projetista nem sempre pode escolher as melhores variáveis para compor o projeto, sendo necessário várias iterações até que o projeto se formalize. Com o conhecimento das variáveis de projeto e de sua qualificação este processo iterativo pode ser otimizado.

O processo de projeto não é tão simplificado, pois podem existir outros parâmetros e restrições importantes que podem ser incorporados no processo de otimização.

Na prática dos escritórios de projetos, dificilmente são desenvolvidas integralmente várias soluções de projeto. Na fase de anteprojeto é que se determina a escolha por uma única solução, assim nesta fase é importante que o projetista opte por uma solução de compromisso.

Acredita-se que a opção por uma solução que pertence a este conjunto “ótimo” possa facilitar o trabalho futuro do projetista uma vez que seus esforços serão realizados principalmente para a melhoria de parâmetros com avaliação ruim. Como exemplo segue-se com a análise do projeto da escola Bairro Senhorinhas que é uma solução de compromisso da amostra desta pesquisa, considerando-se que este projeto ainda estivesse na fase de anteprojeto.

O processo de projeto à partir da escolha deste anteprojeto seria realizado concentrando-se esforços para a melhoria dos confortos funcional e acústico. Para isso é necessário a análise de alternativas que ao mesmo tempo melhorem estes dois confortos e mantenha a qualidade dos confortos térmico e luminoso. Neste caso uma possível solução, seria uma nova implantação da área recreativa ou das salas de aula, e uma nova localização do banheiro. Caso isso não seja possível, será necessário encontrar uma solução que “melhore um pouco os parâmetros ruins e que talvez piore um pouco os parâmetros bons”<sup>8</sup>. A opção por manter a forma geral da implantação dos ambientes e utilizar alternativas construtivas, tais como materiais isolantes ou barreiras acústicas, deve ser analisada de maneira criteriosa pois pode onerar a construção e prejudicar a iluminação e ventilação dos ambientes.

No caso da avaliação pós-ocupação, o conceito de otimização serve para analisar o projeto existente indicando aos avaliadores os pontos positivos e negativos do ambiente construído, direcionando a APO para dois objetivos: o primeiro, no caso dos pontos positivos, a APO pode ser elaborada para a medição via instrumentos das variáveis de projeto, ratificando ou retificando a qualidade da variável e fornecendo, desta maneira novos insumos e diretrizes para futuros projetos. O segundo, nos pontos negativos, a APO pode ser elaborada para implementar adaptações, reformas e reorganizações destes espaços contribuindo para sua melhoria.

---

<sup>8</sup> Esta alternativa de melhorar alguns parâmetros e piorar outras demonstra claramente a tomada de decisão otimizada.

## **8- Conclusões**

Esta pesquisa demonstrou a possibilidade de se considerar o conceito de otimização de projeto como uma maneira de racionalizar o processo de decisão e avaliar anteprojetos de escolas da rede estadual (ensino fundamental e médio) de São Paulo.

A metodologia desenvolvida para a aplicação do conceito de otimização multicritério considerou parâmetros de conforto ambiental (acústica, térmica, luminoso e funcional) pertinentes à síntese da forma realizada na fase de anteprojetos, tais como a disposição dos ambientes, localização das aberturas e implantação do edifício.

As variáveis de cada parâmetro foram elaboradas à partir da análise de uma amostra inicial de trinta e nove projetos existentes na rede estadual de educação de São Paulo. A qualificação das variáveis de conforto térmico, acústico e luminoso foram feitas por especialistas de cada área com a utilização da escala semântica e a qualificação das variáveis de conforto funcional foi feita considerando-se a relação do tempo de atividade perdida para a locomoção entre ambientes.

Na elaboração da metodologia de avaliação, os terrenos da amostra também foram analisados, sendo indicado de maneira restritiva o seu tamanho mínimo para a aplicação do conceito de otimização, o que resultou na eliminação de quatro projetos da amostra inicial.

A metodologia de avaliação foi aplicada à trinta e cinco projetos o que permitiu o reconhecimento dos pontos positivos e negativos de cada parâmetro em cada projeto.

Para comparar e selecionar melhores soluções de projeto foi elaborado e aplicado o critério de otimização. Verificou-se que estas melhores soluções se caracterizam por precisarem de menores ajustes que as soluções consideradas inferiores.

A aplicação de metodologia de avaliação com o conceito de otimização proporciona uma melhoria na área de projetos em dois pontos importantes: primeiro na metodologia de projeto e segundo na avaliação pós-ocupação.

O projetista que se utiliza do conceito de otimização em sua metodologia de projeto, soluciona o problema de uma maneira mais racional, uma vez que tende a selecionar variáveis de projeto que já passaram por um processo de qualificação. O seu trabalho se fundamenta em iterações direcionadas pela escolha das melhores variáveis. Caso a especificidade do projeto não permita a utilização destas variáveis o projetista poderá desenvolver novas variáveis considerando critérios de avaliação de conforto ambiental em conjunto.

A utilização da metodologia de projeto com o conceito de otimização também permite ao projetista uma argumentação coerente de suas decisões o que melhora sua comunicação com o usuário na explanação de sua proposta de projeto.

O uso da metodologia de avaliação de projeto com o conceito de otimização ao indicar os pontos positivos e negativos do ambiente construído, pode contribuir para a estruturação da avaliação pós-ocupação, direcionando-a à três aspectos: implementação de solução dos aspectos negativos, verificação dos pontos positivos, ratificando ou retificando a qualificação das variáveis de projeto através de medições ou verificação e avaliação de novas variáveis de projeto fornecendo assim novos insumos para os projetos.

Acredita-se que a aplicação desta metodologia no desenvolvimento de novos projetos e na APO pode contribuir para a melhoria do ambiente escolar, alertando os projetistas da importância de se considerar em conjunto os quatro confortos ambientais através do conceito de otimização.

Durante o processo de desenvolvimento desta pesquisa verificou-se a possibilidade de novas pesquisas em alguns pontos:

- As variáveis de projeto foram avaliadas por especialistas sendo necessário a averiguação destes resultados através da criação de protótipos das variáveis não existentes, da utilização de medidas físicas e da entrevistas aos usuários das escolas para ratificar ou retificar estas avaliações.
- A discussão do tamanho mínimo de terreno foi realizada apenas para qualificar a amostra. Estes tamanhos não devem ser utilizados como parâmetros de escolha de terreno para a implementação de novos projetos. Nestes casos indica-se a pesquisa em simulação computacional das diversas possibilidades de implantação de projeto à um determinado tamanho de lote.
- O desenvolvimento de banco de dados de variáveis de projeto estruturado pelos parâmetros de avaliação, o que permitirá a inserção de novas variáveis e a consulta dos projetistas.
- O desenvolvimento de um sistema integrado deste banco de dados à computação gráfica (CAD), o que poderá fornecer ao projetista a avaliação “on-line” das variáveis escolhidas facilitando o processo iterativo e a tomada de decisão em projeto.
- O desenvolvimento de banco de dados de projetos existentes, avaliados com esta metodologia, indicando quais os problemas e quais soluções podem ser implementadas.

## **Anexo 1: Exigências ambientais para as escolas da rede Estadual de São Paulo**

O programa de projeto se baseia na legislação vigente (SS-493, 1994) e na pad  
Desenvolvimento Escolar dispendo dos seguintes ambientes e considerações referentes

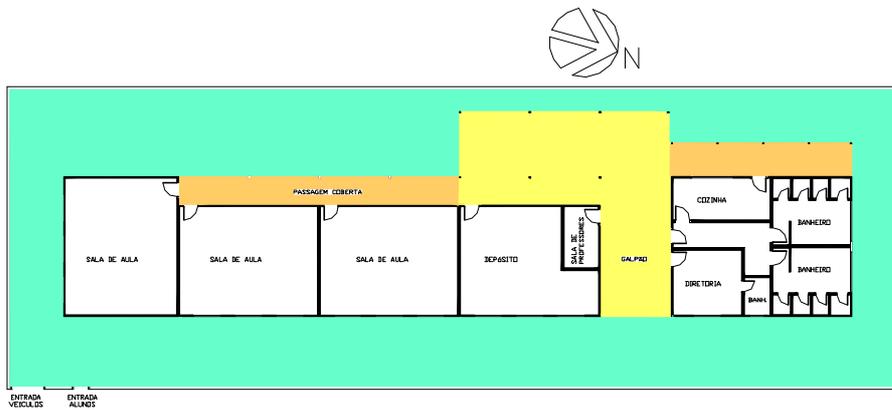
ambiente	Conforto térmico	Conforto luminico	Conforto
Sala de Aula:	Pé-direito com valor médio de 3,00m, admitindo-se o mínimo em Qualquer ponto de 2,50m; área de ventilação natural deverá ser no mínimo igual à metade da superfície iluminante; recomenda-se que a ventilação seja cruzada; Uso obrigatório de forro, preferencialmente em laje.	Obrigatória a iluminação natural unilateral preferencialmente à esquerda, sendo admitida a iluminação zenital, desde que solucione o ofuscamento; Iluminação artificial obrigatória e nível mínimo de iluminamento de 500 lux; superfície iluminante igual ou superior a 1/5 da área do piso.	Área mín mínima c 1° grau acima de distância escadas do ponto
Auditórios Anfiteatros	Ventilação natural será no mínimo igual à metade da superfície iluminante, ou poderá ter renovação mecânica de acordo com as normas técnicas da ABNT; pé-direito com valor médio de 3,00m e mínimo de 2,50m em qualquer ponto.	A iluminação natural deverá ser 1/8 da área do piso, sendo também aceita a iluminação artificial Seguindo as normas da ABNT.	Área útil área mei saída de sentido c terão no porta du
Recreio	Pé direito de 4,0m tendo um mínimo sob viga de 3,0m; deverão ter proteção contra chuvas e ventos, com paredes ou beiras onde necessário.		É obrigat no mínim salas de sanitária para cad alunas e alunas; t cada 100 logradou rápido de
<b>Refeitório</b>	Pé direito mínimo de 2,70m		área de número c
<b>Cozinha</b>	Pé direito mínimo de 2,70m e forro obrigatório; ventilação com 2/3 da área de iluminação;	Nível de iluminação artificial de 250 lux; a abertura para iluminação de 1/5 da área do piso	área mín

ambiente	Conforto térmico	Conforto luminico	Conforto
<b>Despensa</b>	Ventilação com metade da área de iluminação, com um mínimo de 0,60m <sup>2</sup>	Iluminação natural de 1/8 da área do piso; nível de iluminação artificial de 150 lux	Anexa á
<b>Grêmio</b>	Pé-direito mínimo de 2,70m e forro obrigatório; ventilação com metade da área iluminante	Nível de iluminação artificial de 300 lux; iluminação natural 1/8 da área do piso	
<b>Sala de Saúde</b>	Ventilação com 1/2 da área iluminante, tendo um mínimo de 0,60m <sup>2</sup>	Nível de iluminação de 300 lux iluminação de 1/8 da área do piso	Área mir
Centro de Leitura ou Biblioteca	Pé-direito mínimo de 3,0m com forro obrigatório e ventilação com metade da área iluminante	Nível de iluminamento de 500 lux; iluminação natural de 1/5 da área do piso	Quando a 2 (duas) sentido c
Cantina	Ventilação com 1/2 da área iluminante no mínimo de 0,60m <sup>2</sup> ; pé-direito e 2,70m;	Iluminação de 1/5 da área do piso; nível de iluminação de 250 lux;	Área mir contra rc
Quadra de Esportes	Ter orientação preferencialmente norte-sul;	Quando iluminada artificialmente, ter nível de iluminamento de 100 lux;	É recom lateral;
Sanitários	Pés-direitos deverão ter no mínimo 2,50m; ventilação com metade da área iluminante ventilação.	Ter área de iluminação natural mínima de 1/10 da área do piso; ter nível de iluminamento artificial de 100 lux.	Separad pavimen para cad um mictó para cad sempre comparti ter as dir eixos da colocad altura na parte su sanitária uma bac e um lav divididos funcioná um lavat funcioná deficient ABNT e

ambiente	Conforto térmico	Conforto luminico	Conforto
<b>Vestiários</b>	Os pés-direitos terão no mínimo 2,50m; ventilação com metade da área iluminante	Terão área de iluminação natural de 1/10 da área do piso	Compart de 5m <sup>2</sup> p mínimo t alunos
<b>corredores</b>			Menor la alunos; e 500; acre 1.000; a de 1.000
<b>Escadas e rampas</b>			Segue o a lotaçã cálculo d lotação c metade c imediata rampa de 2,00m; C obedece sendo pi de 0,17n trechos e ultrapass deste nú extensãc deverão que, par: ter 6% c instalaçã prédios c uma dist do nível segment de exten rampa n: (quatro) :

## **Anexo 2: Escolas eliminadas pelo processo de avaliação**

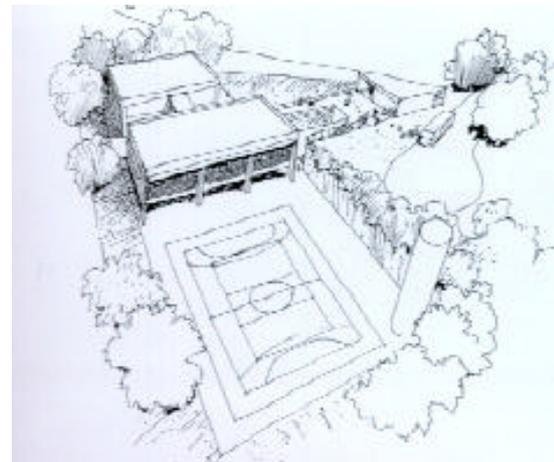
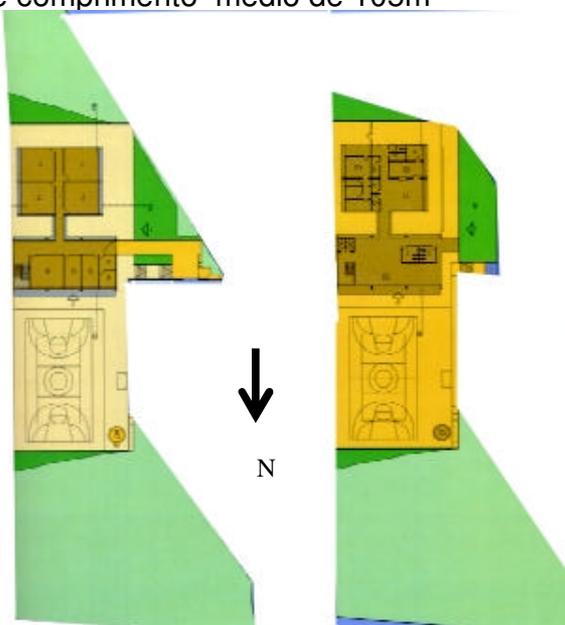
EE PROF<sup>o</sup> LÍVIO THOMAZ PEREIRA : Terreno com largura média de 20,00m e comprimento médio de 52,00m



VISTA EXTERNA

PAV. TÉRREO / IMPLANTAÇÃO

ESCOLA BAIRRO CINTRA GORDINHO : terreno com largura média de 26.5m e comprimento médio de 105m



VISTA EXTERNA

1° PAV. /  
IMPLANTAÇÃO

2° PAVIMENTO



### **Anexo 3: Escolas analisadas pela metodologia de avaliação /otimização**

Escolas que foram avaliadas nesta pesquisa:

Roque Magalhães Barros  
José Camilo de Andrade  
Dante Aliguieri Vista  
Bairro Limoeiro  
Prof. João Sant' Anna  
Bairro Rocio  
Chapada Grande  
Bairro Senhorinhas  
Prof. Casemiro Poffo  
Dr. Disney F. Scornaienchi  
Buraco do Gazuza  
Pq. Piratininga II  
José Ibiapino Franklin  
Procópio Ferreira  
Francisco Glicério  
Cel. Firmino G. da Silveira  
EE. Alberto Medaljon  
Ary Monteiro Galvão  
Pq. Claudia  
Artur Segurado  
Barão Geraldo  
Conj. Hab. Jd. Dourado II  
Jd. Nossa Sra. De Fátima  
Vila Ayrosa  
Jd. Rodolfo Pirani  
Prof. Jesus José Attab  
João Lourenço  
Galo Branco  
Jd. Tiro  
Vitor Meireles  
Jd. Centenário  
Adalberto Nascimento  
Prof. Renato Fiuza Teles  
Cidade Soinco II  
Soldado PM. E. B. Santos

EE PROF<sup>o</sup> ROQUE MAGALHÃES BARROS<sup>9</sup>  
Real Parque - Campinas

Qualificação dos parâmetros de projeto:

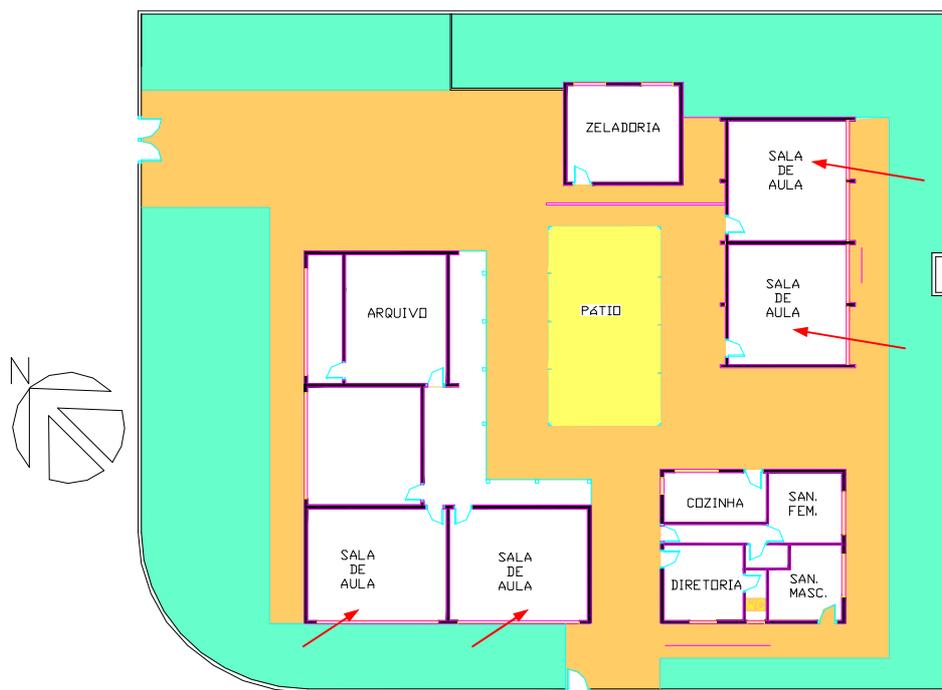
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
2	5F	0,29	2	10E	0,13	4	5	0,33	76,00(ml)	32,00 (mL)
2	5E	0,21	2	10F	0,21				Grau de pertinência	Grau de pertinência
Média do G.P.		0,25	Média do G.P.		0,17	Média do G.P		0,33	0,90	0,88

Características da escola:

Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
4	478.02	45,00	0.38	0.84	4



VISTA EXTERNA



PAV. TÉRREO / IMPLANTAÇÃO

<sup>9</sup> AS SETAS VERMELHAS INDICAM AS SALAS DE AULA

EEPG JOSÉ CAMILO DE ANDRADE  
Suzano/Jd Brasil

Qualificação dos parâmetros de projeto:

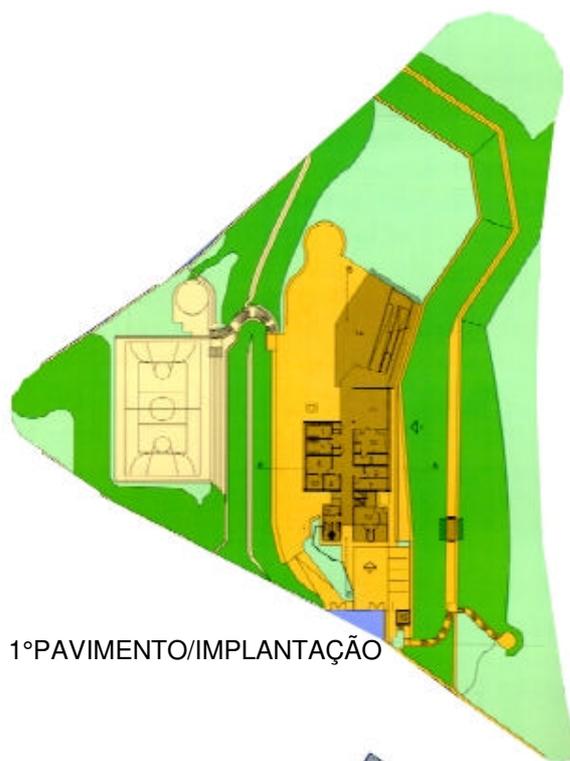
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
2	5F	0,29	2	17F	0,25	2	2	0,21	132,00 (ml)	177,00(ml)
2	5G	0,17	2	17G	0,17	2	1	0,71	Grau de pertinência	Grau de pertinência
Média do G.P.		0,23	Média do G.P.		0,21	Média do G.P		0,46	0,64	0,09

Características da escola:

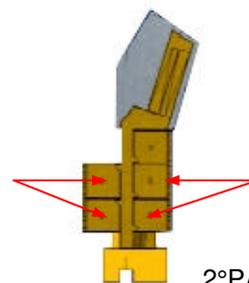
Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
04	1126,00	86,30	112,56	0,77	2



VISTA EXTERNA



1º PAVIMENTO/IMPLANTAÇÃO



2º PAVIMENTO

EE PROFª MARIA ALICE COLEVATI RODRIGUES

Campinas

Qualificação dos parâmetros de projeto:

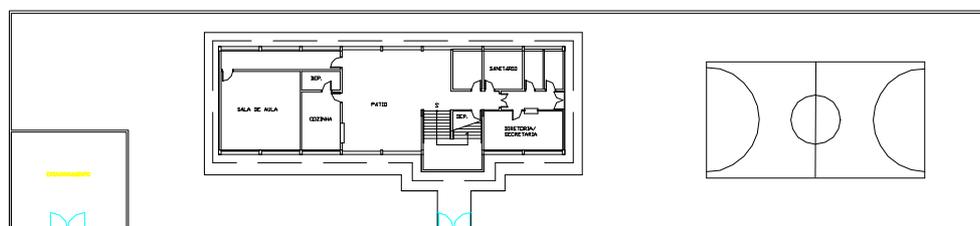
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
5	5H	0,25	4 1	17H 4F	0,33 0,29	5	3	0,67	128,00(ml)	126,00 (ml)
Média do G.P.		0,25	Média do G.P.		0,32	Média do G.P		0,67	0,66	0,21
									Grau de pertinência	Grau de pertinência

Características da escola:

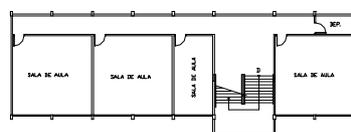
Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
5	613,00	97,40	19,60	0,23	1



VISTA EXTERNA



PAV. TÉRREO/IMPLANT.



1º PAVIMENTO.

PLANTA

EE PROF<sup>o</sup> DANTE ALIGHIERI VITA  
J. Santa Cândida - Campinas

Qualificação dos parâmetros de projeto:

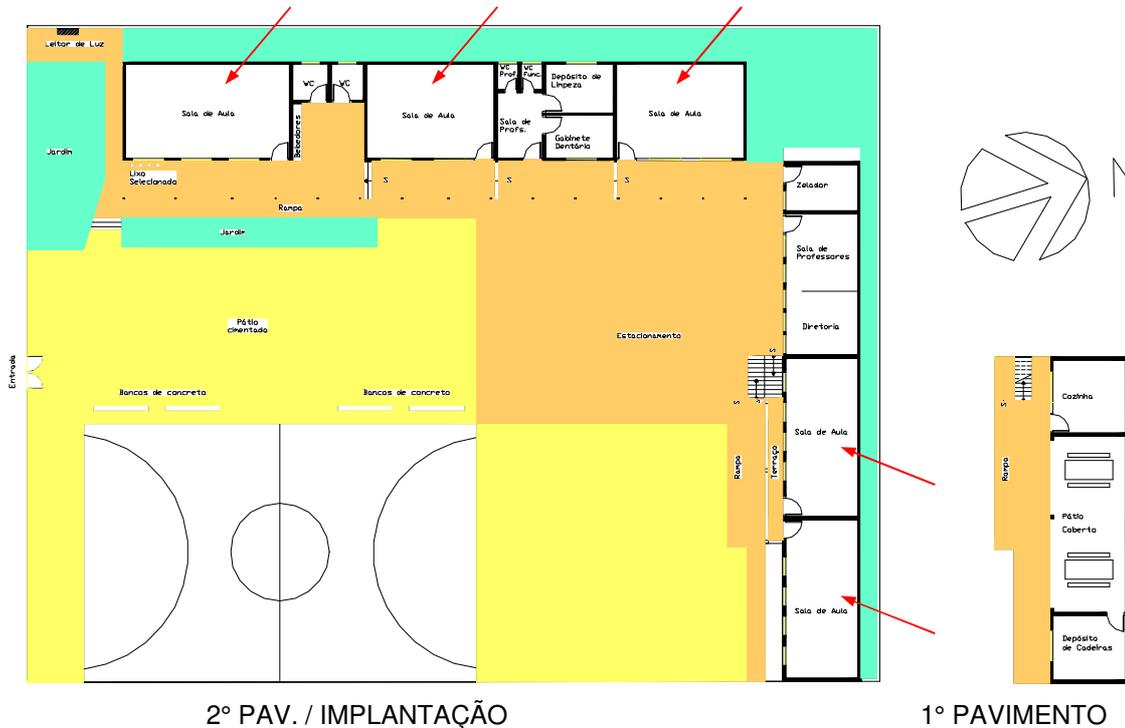
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
5	5H	0,25	3 2	9G 9H	0,50 0,42	5	7	0,46	180,00 (ml)	126,00 (ml)
Média do G.P.		0,25	Média do G.P.		0,47	Média do G.P		0,46	0,45	0,21

Características da escola:

Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
5	557,86	39,50	51,00	0,77	6



VISTA EXTERNA



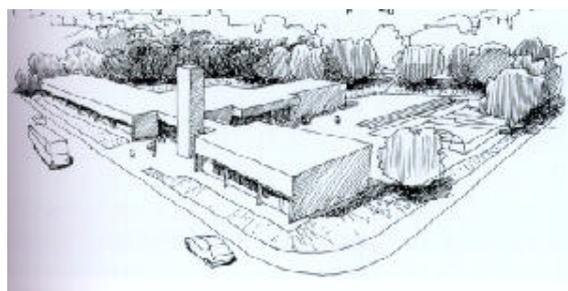
**EEPG BAIRRO LIMOEIRO**  
Guzolândia

**Qualificação dos parâmetros de projeto:**

Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
5	5H	0,25	5	17H	0,33	5	3	0,67	104,00 (ml)	128,00(ml)
Média do G.P.		0,25	Média do G.P.		0,33	Média do G.P		0,67	Grau de pertinência	Grau de pertinência
									0,77	0,20

**Características da escola:**

Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
05	957,00	62,50	87,50	0,71	1



VISTA EXTERNA



IMPLANTAÇÃO

**BAIRRO ROCIO**  
Iguape

**Qualificação dos parâmetros de projeto:**

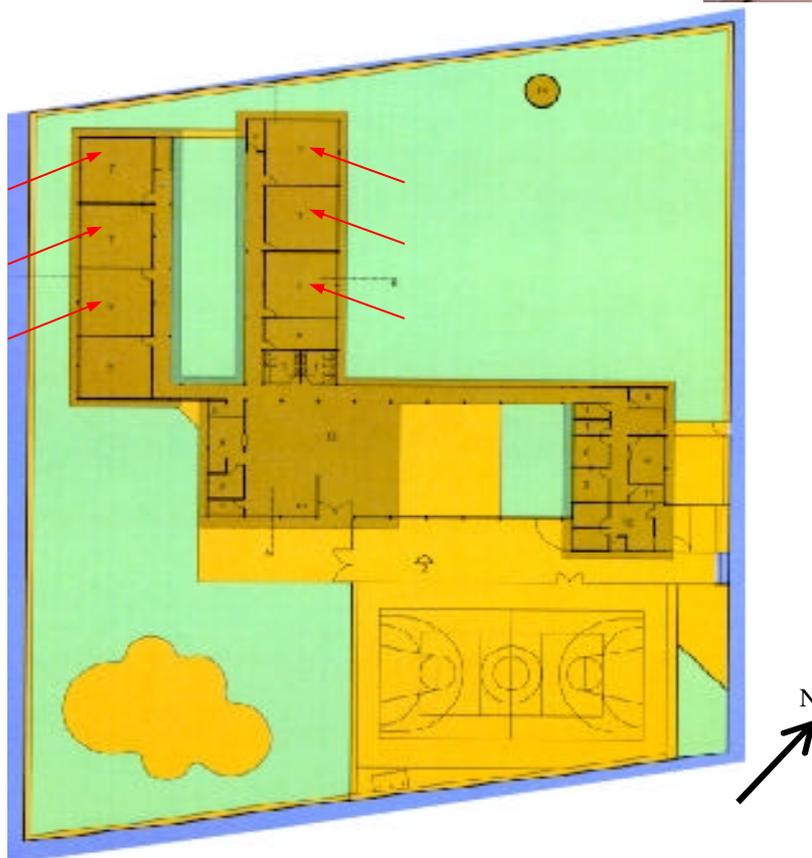
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
3	5E	0,21	3	17E	0,13	6	3	0,67	78,00 (ml)	94,00(ml)
3	5H	0,25	3	17H	0,33				Grau de pertinência	Grau de pertinência
Média do G.P.		0,23	Média do G.P.		0,23	Média do G.P		0,67	0,89	0,33

**Características da escola:**

Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
06	979,00	69,36	80,00	0,87	3



VISTA EXTERNA



IMPLANTAÇÃO

**EEPG CHAPADA GRANDE**  
Itapetininga

**Qualificação dos parâmetros de projeto:**

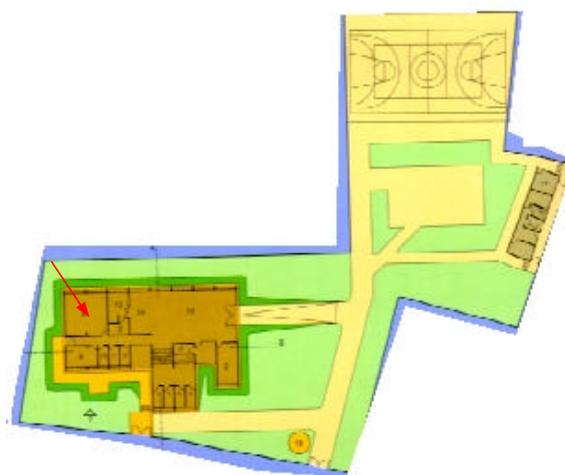
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
6	5B	0,17	6	17B	0,25	6	3	0,67	66,00 (ml)	165,00(ml)
Média do G.P.		0,17	Média do G.P.		0,25	Média do G.P		0,67	Grau de pertinência	Grau de pertinência
									0,95	0,12

**Características da escola:**

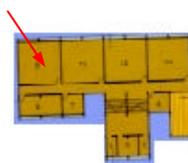
Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
06	1117,00	37,50	82,50	0,45	1e2



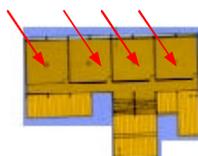
VISTA EXTERNA



1º PAVIMENTO/IMPLANTAÇÃO



2º PAVIMENTO



3º PAVIMENTO



**EPPSG BAIRRO SENHORINHAS**  
Juquitiba

**Qualificação dos parâmetros de projeto:**

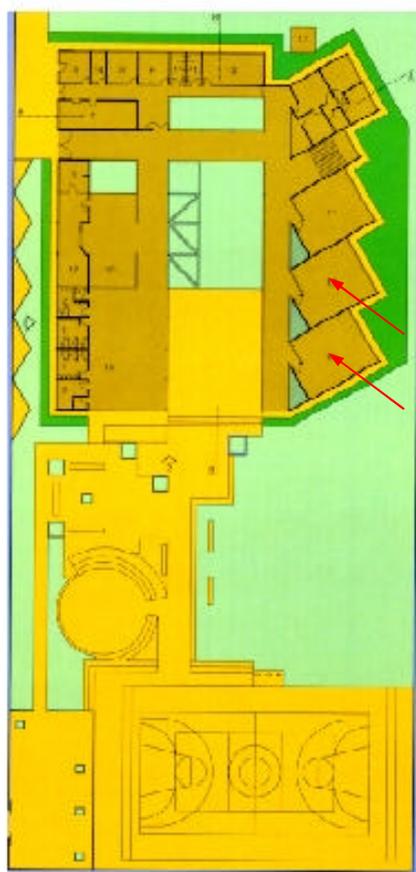
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
6	(1F+1A) ? 2 <sup>10</sup>	(0,67+0,71) ? 2 = 0,69	6	(13F+13A) ? 2 <sup>11</sup>	(0,42+0,88) ? 2 = 0,65	6	2	0,21	222,00 (ml)	216,00(ml)
Média do G.P.		0,69	Média do G.P.		0,65	Média do G.P		0,21	0,36	0,00

**Características da escola:**

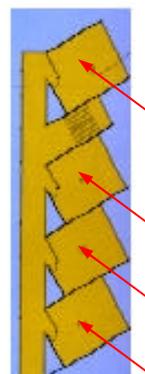
Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
06	1388,00	46,50	98,75	0,47	1e3



VISTA EXTERNA



1º PAVIMENTO/IMPLANTAÇÃO



2º PAVIMENTO



<sup>10</sup> A orientação das salas de aula considerou a posição intermediária das orientações F e A da variável 1

<sup>11</sup> A orientação das salas de aula considerou a posição intermediária das orientações F e A da variável 13

EEPG (A) CASEMIRO POFFO  
Ribeirão Pires

Qualificação dos parâmetros de projeto:

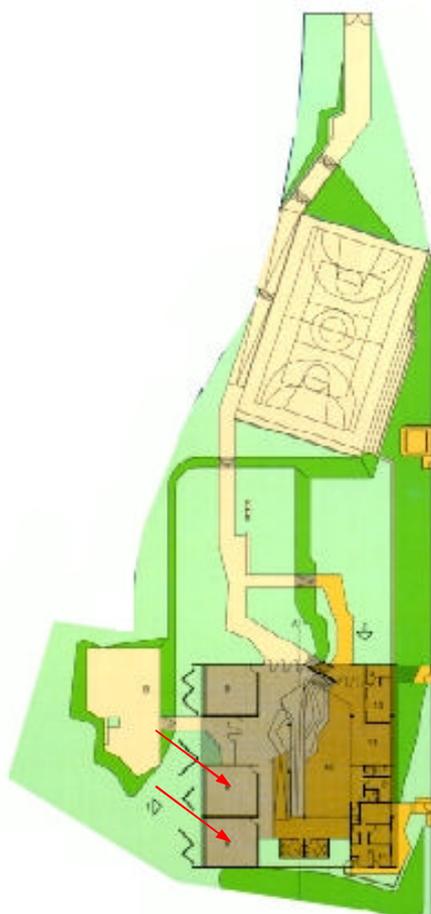
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
6	5C	0,00	6	17C	0,00	6	8	0,17	91,2 (ml)	115,20(ml)
Média do G.P.		0,00	Média do G.P.		0,00	Média do G.P		0,17	0,83	0,23

Características da escola:

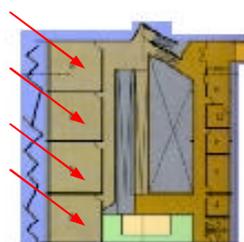
Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
06	1250,00	40,50	97,50	0,41	7



VISTA EXTERNA



2º PAVIMENTO



1º PAVIMENTO/IMPLANTAÇÃO

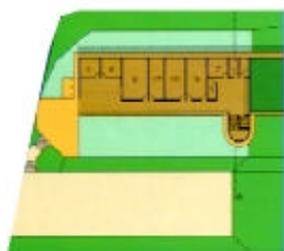
EEPG DR. DISNEI FRANCISCO SCORNAIENCHI  
Campinas / Parque Jembeiro

Qualificação dos parâmetros de projeto:

Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
6	6H	0,29	6	16E	0,46	7	1	0,71	70,00 (ml)	152,22 (ml)
1	1E	0,33	1	13E	0,17				Grau de pertinência	Grau de pertinência
Média do G.P.		0,30	Média do G.P.		0,42	Média do G.P		0,71	0,93	0,15

Características da escola:

Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
7	2.067,00	44,50	103,23	0,43	1



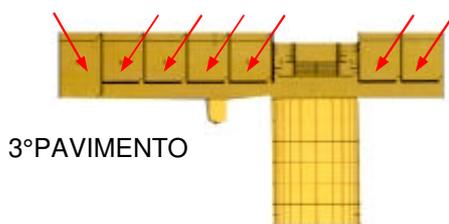
1º PAVIMENTO



VISTA EXTERNA



2º PAVIMENTO/IMPLANTAÇÃO



3º PAVIMENTO

**EEPG BURACO DO GAZUZA**  
Buraco do Gazuza / Diadema

Qualificação dos parâmetros de projeto:

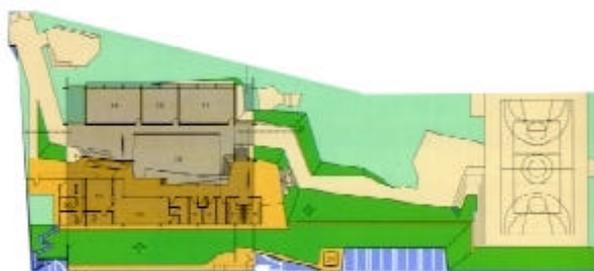
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
8	5H	0,25	8	17H	0,33	8	8	0,17	180,00 (ml)	220,00 (ml)
Média do G.P.		0,25	Média do G.P.		0,33	Média do G.P		0,17	Grau de pertinência	Grau de pertinência
									0,45	0,00

Características da escola:

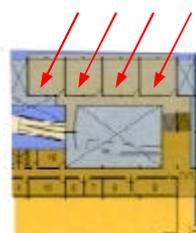
Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
8	1808,00	44,55	112,94	0,39	7



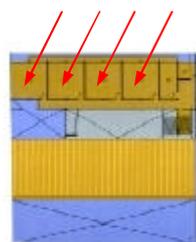
VISTA EXTERNA



1º PAVIMENTO / IMPLANTAÇÃO



2º PAVIMENTO



3º PAVIMENTO



**PARQUE PIRATININGA II**  
Itaquaquecetuba

Qualificação dos parâmetros de projeto:

Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
6	5B	0,17	6	17B	0,20	6	2	0,21	61,40 (ml)	163,20(ml)
2	5A	0,17	2	17A	0,54	2	1	0,71	Grau de pertinência	Grau de pertinência
Média do G.P.		0,17	Média do G.P.		0,29	Média do G.P		0,34	0,97	0,12

Características da escola:

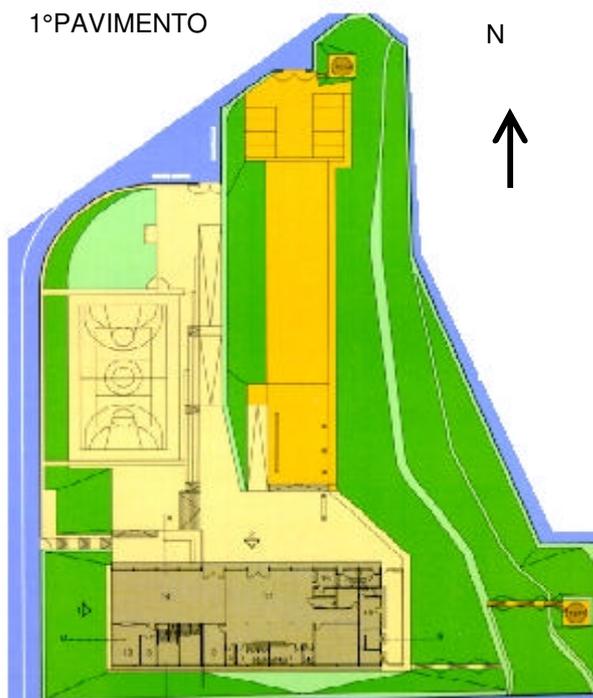
Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
08	1735,00	75,88	93,53	0,81	2



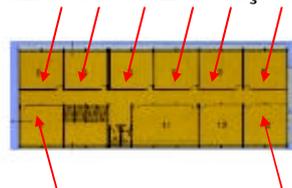
VISTA EXTERNA



1º PAVIMENTO



2º PAVIMENTO / IMPLANTAÇÃO



3º PAVIMENTO

**EMEF JOSÉ IBIAPANO FRANKLIN**  
 São Bernardo do Campo

Qualificação dos parâmetros de projeto:

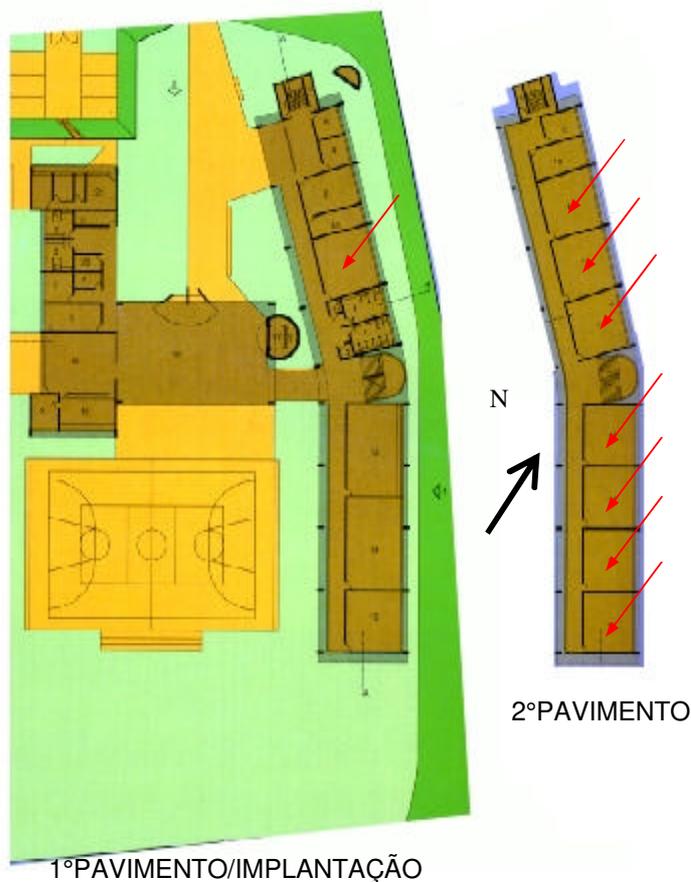
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
8	1H	0,33	8	13H	0,29	8	2	0,21	142,00 (ml)	168,00(ml)
Média do G.P.		0,33	Média do G.P.		0,29	Média do G.P		0,21	Grau de pertinência	Grau de pertinência
									0,59	0,12

Características da escola:

N° de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
08	1738,00	56,25	97,50	0,41	3



VISTA EXTERNA



EE PROCÓPIO FERREIRA  
Jardim das Oliveiras.- Campinas

Qualificação dos parâmetros de projeto:

Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
9	5H	0,25	9	17H	0,33	9	4	0,50	116,00(ml)	112,00 (ml)
Média do G.P.		0,25	Média do G.P.		0,33	Média do G.P		0,50	0,71	0,24

Características da escola:

Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
9	1895,75	66,50	163,00	0,41	3



VISTA EXTERNA



IMPLANTAÇÃO

EE FRANCISCO GLICÉRIO  
Centro - Campinas

Qualificação dos parâmetros de projeto:

Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
4	5H	0,29	4	4F	0,29	4	2	0,21	110,00(ml)	180,00 (ml)
5	5E	0,21	5	4G	0,21	5	1	0,71	Grau de pertinência	Grau de pertinência
Média do G.P.		0,25	Média do G.P.		0,25	Média do G.P		0,49	0,74	0,08

Características da escola:

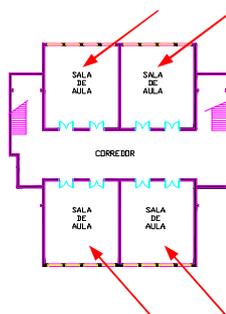
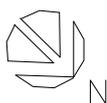
Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
9	1341,46	52,50	74,50	0,70	1 e 2



VISTA EXTERNA



1º PAV. / IMPLANTAÇÃO



2º PAVIMENTO

EE CEL. FIRMINO GONÇALVES DA SILVEIRA  
Parque São Quirino - Campinas

Qualificação dos parâmetros de projeto:

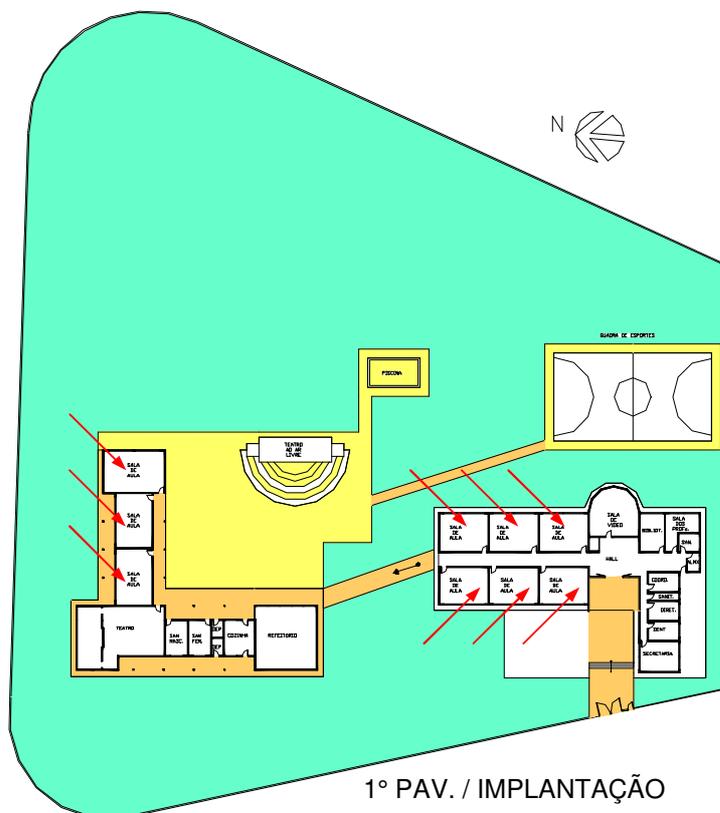
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
3	5C	0,00	3	10C	0,00	3	2	0,67	148,00(ml)	134,00(ml)
4	5D	0,08	4	10D	0,21	3	3	0,46	Grau de pertinência	Grau de pertinência
2	6B	0,29	2	9A	0,67	3	7	0,21		
Média do G.P.		0,10	Média do G.P.		0,24	Média do G.P.		0,45	0,57	0,19

Características da escola:

Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
9	1575,23	97,00	102,00	0,95	2 e 6



VISTA EXTERNA



EE ALBERTO MEDALJON  
V. Brandina / Campinas

Qualificação dos parâmetros de projeto:

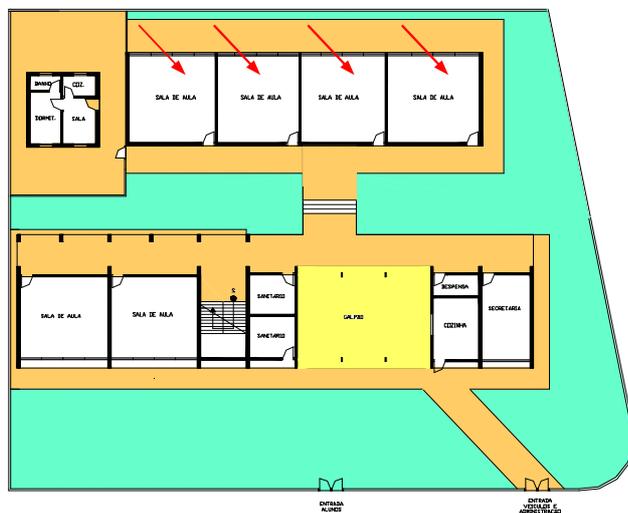
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
7	5E	0,21	7	17 E	0,13	7	3	0,67	125,50 (m)	139,80 (m)
4	5H	0,25	4	17H	0,33	4	1	0,71	Grau de pertinência	Grau de pertinência
Média do G.P.		0,22	Média do G.P.		0,20	Média do G.P.		0,68	0,67	0,18

Características da escola:

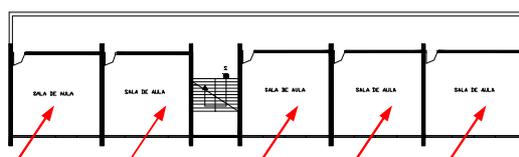
Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
11	945,54	36,00	43,2	0,83	1 e 3



VISTA EXTERNA



PAV. TÉRREO / IMPLANTAÇÃO



2º PAVIMENTO

EE PROF<sup>o</sup> ARY MONTEIRO GALVÃO  
J. Eulina. / Campinas

Qualificação dos parâmetros de projeto:

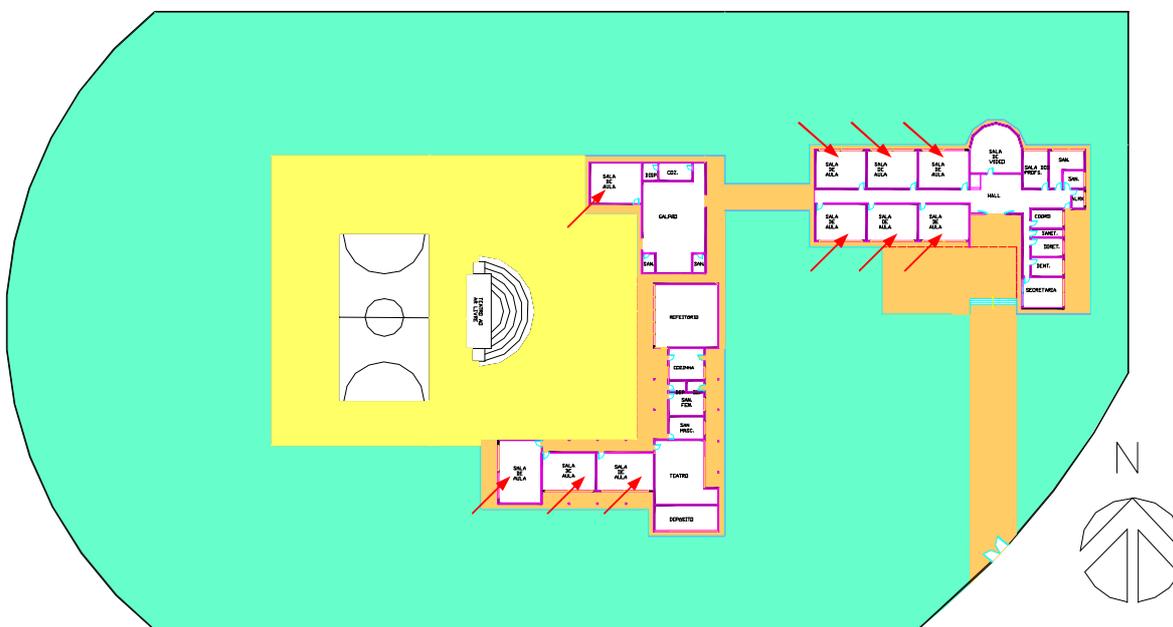
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
2	1 A	0,67	2	6 A	0,63	6	3	0,67	178,00 (ml)	174,00 (ml)
3	3 A	0,17	3	10 A	0,58	4	7	0,46	Grau de pertinência	Grau de pertinência
3	5 B	0,17	3	10 B	0,42					
1	1 B	0,54	1	6 B	0,38					
1	5 C	0,00	1	10 C	0,00					
Média do G.P.		0,29	Média do G.P.		0,46	Média do G.P		0,59	0,46	0,10

Características da escola:

Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
10	1990,80	99,67	154,00	0,65	2 e 5



VISTA EXTERNA



PAV. TÉRREO / IMPLANTAÇÃO

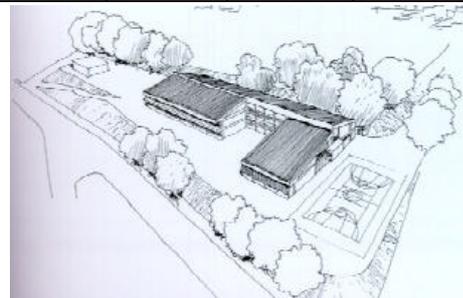
**PARQUE CLAUDIA**  
São Paulo – Campo Limpo

Qualificação dos parâmetros de projeto:

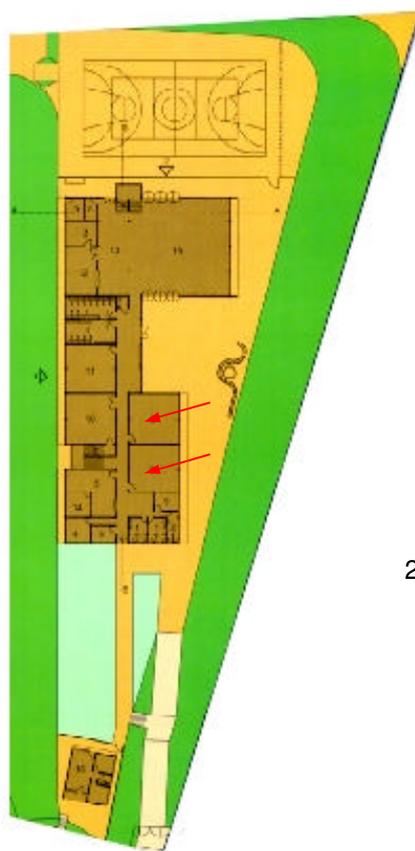
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
6	5E	0,21	6	17E	0,13	10	3	0,67	146,40 (ml)	170,40ml
4	5H	0,24	4	17H	0,33				Grau de pertinência	Grau de pertinência
Média do G.P.		0,23	Média do G.P.		0,21	Média do G.P		0,67	0,60	0,11

Características da escola:

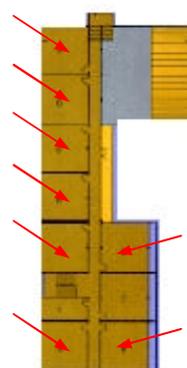
Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
10	1436,00	43,50	120,00	0,36	1e2



VISTA EXTERNA



1º PAVIMENTO / IMPLANTAÇÃO



2º PAVIMENTO



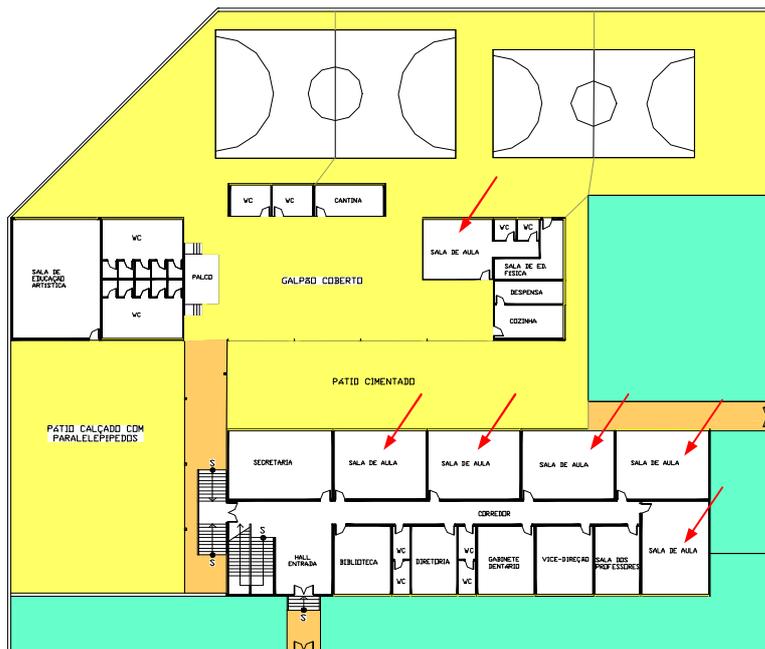
EE ARTUR SEGURADO  
J. Brasil - Campinas

Qualificação dos parâmetros de projeto:

Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
10	5H	0,25	10	10H	0,33	9	2	0,21	56,00(ml)	148,00 (ml)
2	5F	0,29	2	10F	0,21	2	3	0,67	Grau de pertinência	Grau de pertinência
						1	1	0,71		
Média do G.P.		0,26	Média do G.P.		0,31	Média do G.P		0,33	0,98	0,16

Características da escola:

Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
12	1795,00	64,00	53,00	0,85	1 e 2



1º PAVIMENTO/ IMPLANTAÇÃO



EE BARÃO GERALDO DE REZENDE  
Taquaral / Campinas

Qualificação dos parâmetros de projeto:

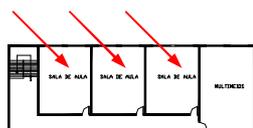
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional		
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio	
6	5F		3	4E	0,29	3	1	0,71	178,00(ml)	192,00 (ml)	
5	5G		3	10F	0,21	8	5	0,33	Grau de pertinência	Grau de pertinência	
1	5E		5	4H	0,21	1	3	0,67			
Média do G.P.			Média do G.P.			0,23	Média do G.P		0,45	0,46	0,06

Características da escola:

Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
12	1405,30	64,70	95,30	0,68	1 e 4



VISTA EXTERNA



2º PAVIMENTO



1º PAVIMENTO / IMPLANTAÇÃO

EPPSG CONJ. HABITACIONAL JARDIM DOURADO II  
 Ferraz de Vasconcelos / Jd. Dourado

Qualificação dos parâmetros de projeto:

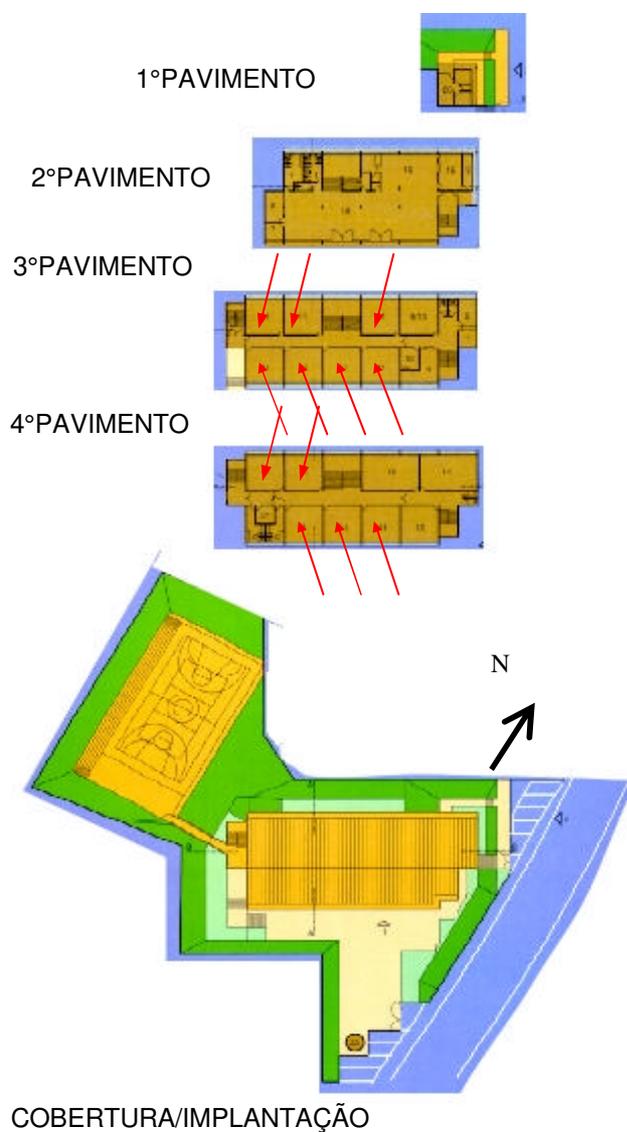
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
5	5G	0,17	5	17G	0,17	12	3	0,67	81,80 (ml)	166,00ml
7	5F	0,29	7	17F	0,25				Grau de pertinência	Grau de pertinência
Média do G.P.		0,24	Média do G.P.		0,22	Média do G.P		0,67	0,87	0,12

Características da escola:

Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
12	2107,00	39,70	86,47	0,46	2



VISTA EXTERNA



EEPG JARDIM NOSSA SENHORA DE FÁTIMA  
Jandira

Qualificação dos parâmetros de projeto:

Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
12	5E	0,21	12	17E	0,13	9 3	1 6	0,71 0,46	111,00(ml)	276,00(ml)
Média do G.P.		0,21	Média do G.P.		0,13	Média do G.P		0,65	0,74	0,00

Características da escola:

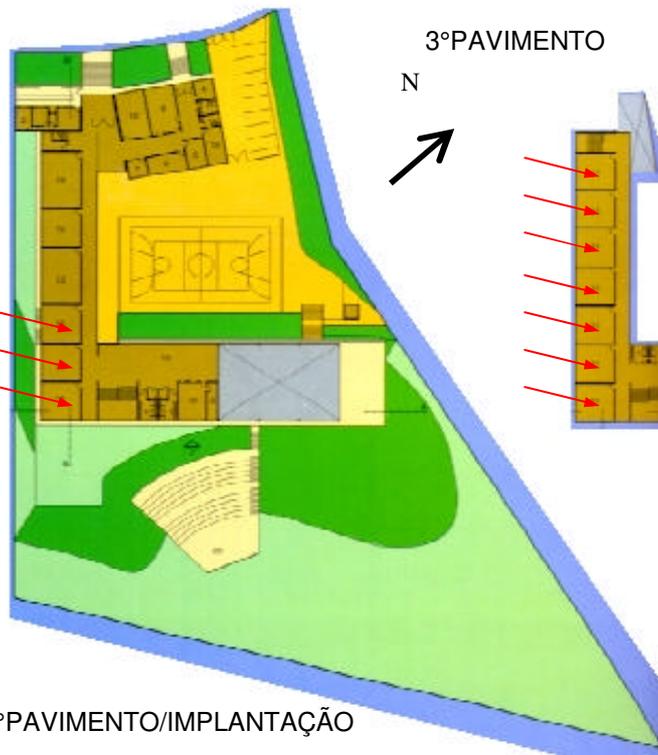
Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
12	2588,00	75,00	116,25	0,64	1 e5



1º PAVIMENTO



VISTA EXTERNA



2º PAVIMENTO/IMPLANTAÇÃO

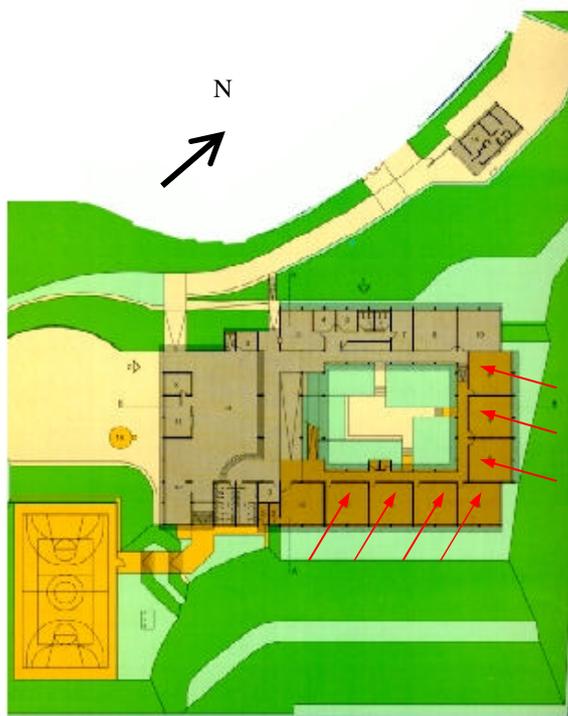
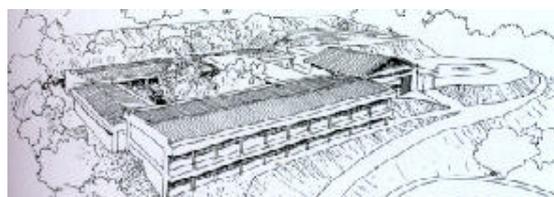
VILA AYROSA  
Osasco

Qualificação dos parâmetros de projeto:

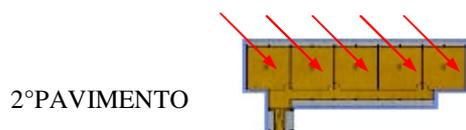
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
4	5F	0,29	4	17F	0,25	5	1	0,71	117,60(ml)	169,60(ml)
3	5H	0,25	3	17H	0,33	7	6	0,46		
5	5G	0,17	5	17G	0,17				Grau de pertinência	Grau de pertinência
Média do G.P.		0,23	Média do G.P.		0,24	Média do G.P		0,56	0,71	0,06

Características da escola:

Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
12	1844,00	90,00	97,50	0,92	1e5



1º PAVIMENTO/IMPLANTAÇÃO



2º PAVIMENTO

VISTA EXTERNA

**EPPSG JARDIM RODOLFO PIRANI**  
São Paulo / Itaquera

Qualificação dos parâmetros de projeto:

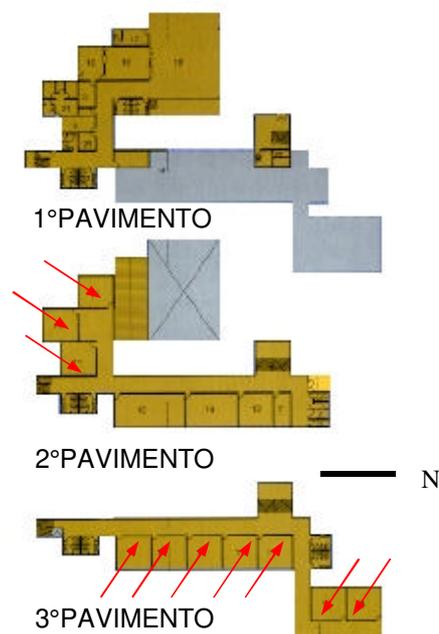
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
7	5D	0,08	7	17D	0,17	7	1	0,71	63,40(ml)	410,00 (ml)
2	5C	0,00	2	17C	0,00	2	2	0,21	Grau de pertinência	Grau de pertinência
3	5A	0,17	3	17A	0,46	3	7	0,46		
Média do G.P.		0,09	Média do G.P.		0,21	Média do G.P		0,56	0,96	0,00

Características da escola:

Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
12	2903,00	68,00	84,00	0,81	1 e 6



VISTA EXTERNA



EPPSG PROF. JESUS JOSÉ ATTAB  
São Paulo / Parelheiros

Qualificação dos parâmetros de projeto:

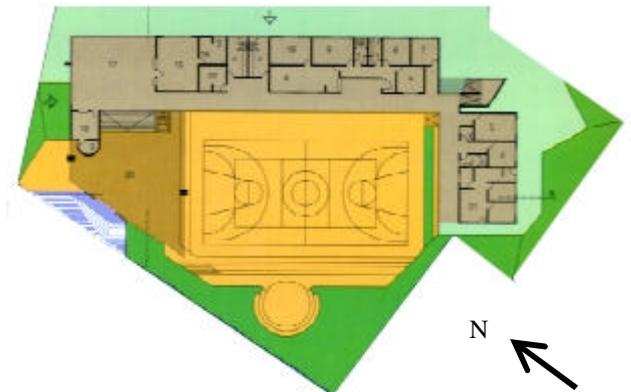
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
8	5H	0,17	8	17H	0,33	12	7	0,46	174,00 (ml)	250,00(ml)
4	5F	0,29	4	17F	0,25				Grau de pertinência	Grau de pertinência
Média do G.P.		0,21	Média do G.P.		0,30	Média do G.P		0,46	0,47	0,00

Características da escola:

Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
12	1260,00	38,75	66,25	0,58	6



VISTA EXTERNA



1º PAVIMENTO/IMPLANTAÇÃO



2º PAVIMENTO



3º PAVIMENTO

EE JOÃO LOURENÇO RODRIGUES  
Cambuí - Campinas

Qualificação dos parâmetros de projeto:

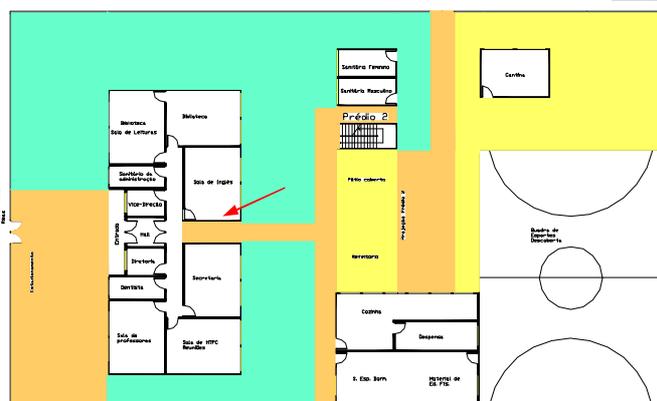
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
10	5H	0,25	3	10E	0,13	3	1	0,71	142,00(ml)	190,00(ml)
3	5E	0,21	2	4F	0,29	10	2	0,21	Grau de pertinência	Grau de pertinência
			7	10H	0,33					
			1	17H	0,33					
Média do G.P.		0,24	Média do G.P.		0,28	Média do G.P		0,33	0,59	0,06

Características da escola:

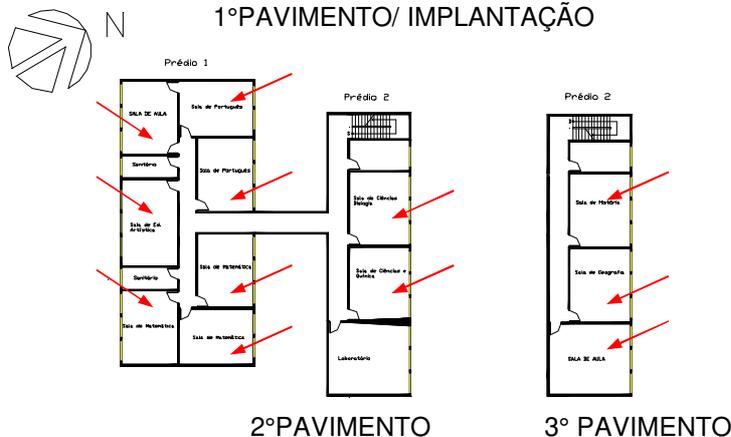
Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
13	1562,38	38,70	63,80	0,61	1,2 e 3



VISTA EXTERNA



1º PAVIMENTO/ IMPLANTAÇÃO



2º PAVIMENTO

3º PAVIMENTO

**EEPSG GALO BRANCO**  
 São José dos Campos/Eugênio Melo

Qualificação dos parâmetros de projeto:

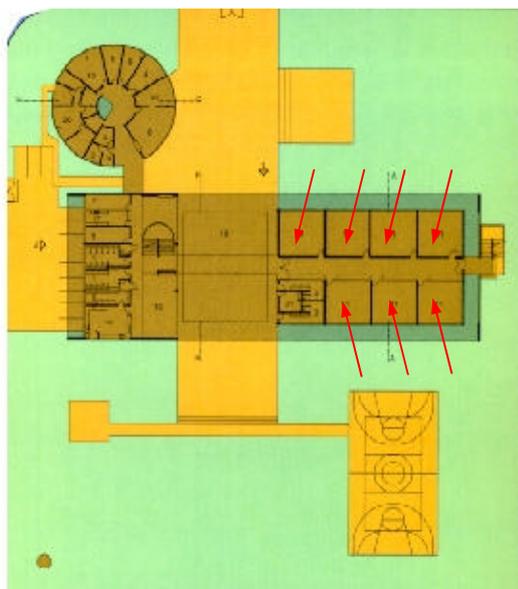
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
8	5B	0,17	8	17B	0,25	7	2	0,21	177,60(ml)	189,60(ml)
7	5A	0,17	7	17A	0,54	8	3	0,67	Grau de pertinência	Grau de pertinência
Média do G.P.		0,17	Média do G.P.		0,39	Média do G.P		0,46	0,46	0,06

Características da escola:

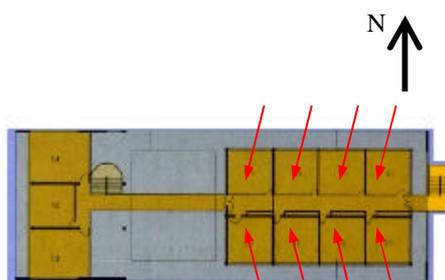
Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
15	2381,00	81,75	95,25	0,86	2



VISTA EXTERNA



1º PAVIMENTO/IMPLANTAÇÃO



2º PAVIMENTO

**EEPSG JARDIM TIRO**  
São Paulo / Brasilândia

Qualificação dos parâmetros de projeto:

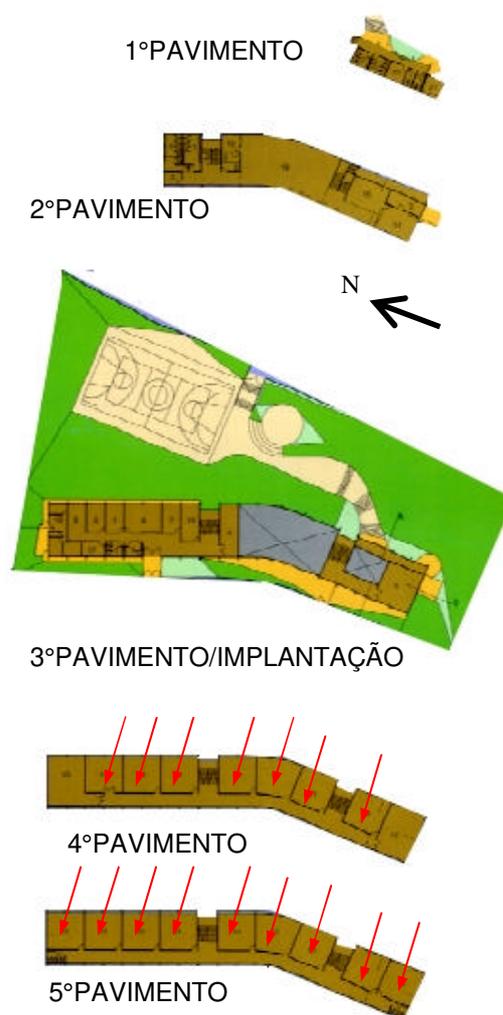
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
16	5H	0,25	16	17H	0,33	9 7	2 3	0,21 0,67	152,00 (ml)	266,50(ml)
Média do G.P.		0,25	Média do G.P.		0,33	Média do G.P		0,44	0,55	0,00

Características da escola:

Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
16	2364,00	44,12	91,76	0,48	1



PERSPECTIVA



EE VÍTOR MEIRELES  
São Bernardo / Campinas

Qualificação dos parâmetros de projeto:

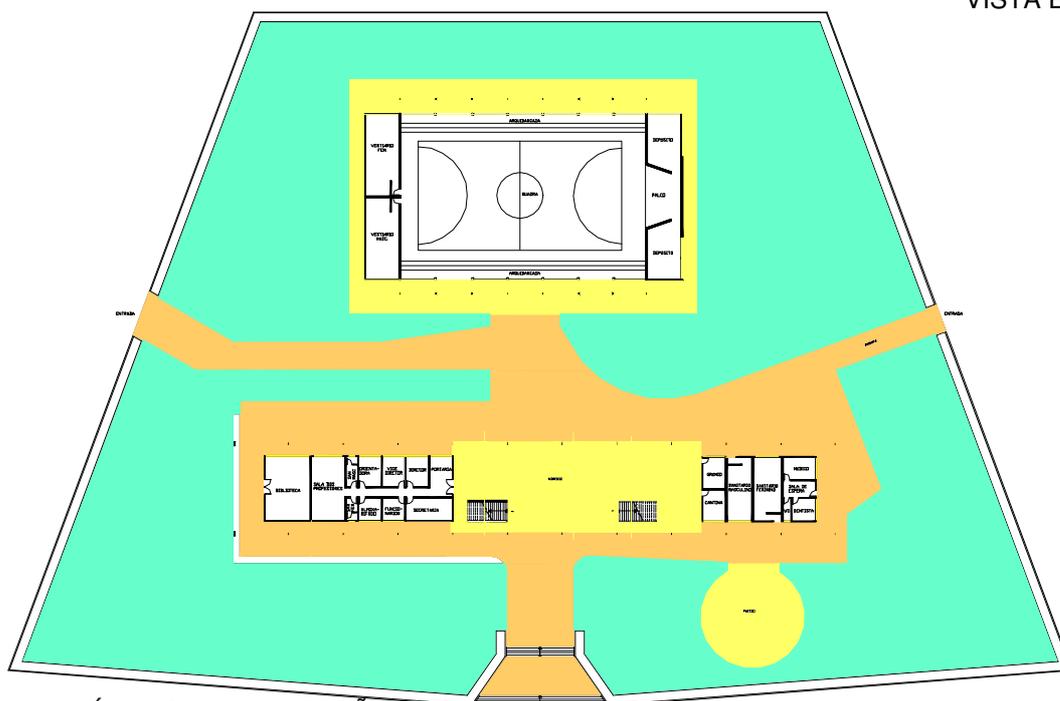
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
11	5F	0,29	11	10F	0,21	3	3	0,67	48,00(m)	116,00 (m)
5	5G	0,17	5	10G	0,25	13	2	0,21	Grau de pertinência	Grau de pertinência
Média do G.P.		0,25	Média do G.P.		0,22	Média do G.P		0,30	1,00	0,23

Características da escola:

Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
16	1507,00	106,00	88,00	0,83	2



VISTA EXTERNA



PAV. TÉRREO / IMPLANTAÇÃO



2º PAVIMENTO

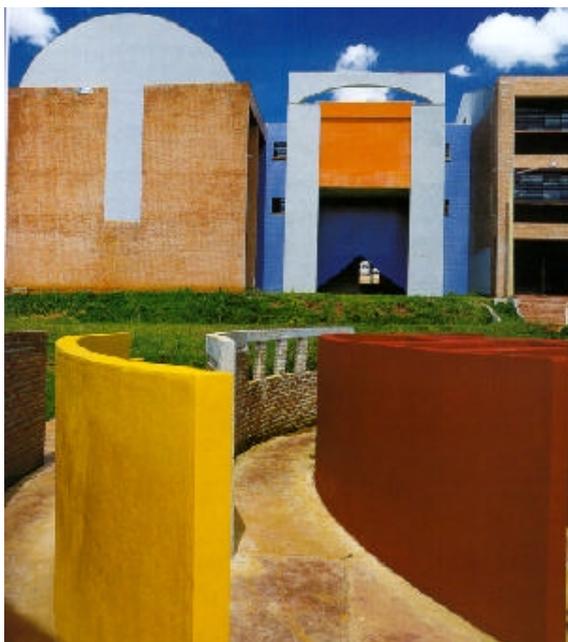
**EEPSG JARDIM CENTENÁRIO**  
São Paulo / Guainazes

Qualificação dos parâmetros de projeto:

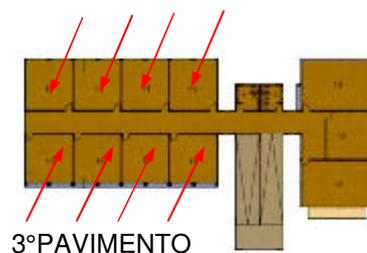
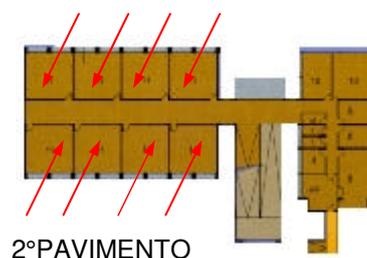
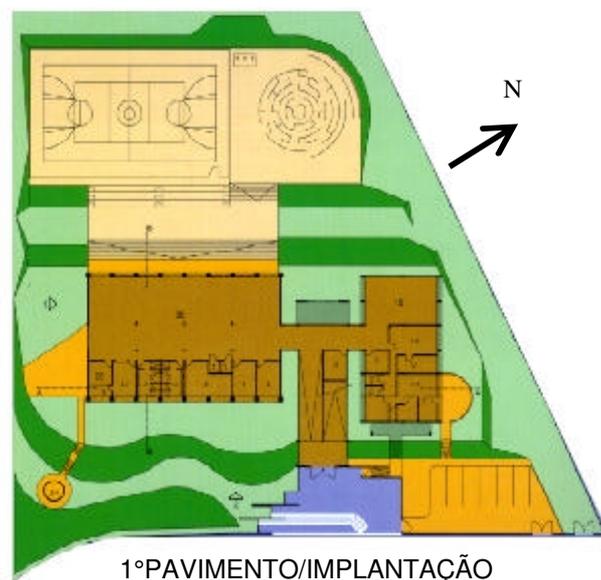
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
8	5F	0,29	8	17F	0,25	8	2	0,21	134,40 (ml)	240(ml)
8	5G	0,17	8	17G	0,33	8	1	0,71	Grau de pertinência	Grau de pertinência
Média do G.P.		0,23	Média do G.P.		0,29	Média do G.P		0,46	0,63	0,00

Características da escola:

Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
16	2811,00	70,50	79,50	0,89	2



PERSPECTIVA



EE ADALBERTO NASCIMENTO  
Taquaral / Campinas

Qualificação dos parâmetros de projeto:

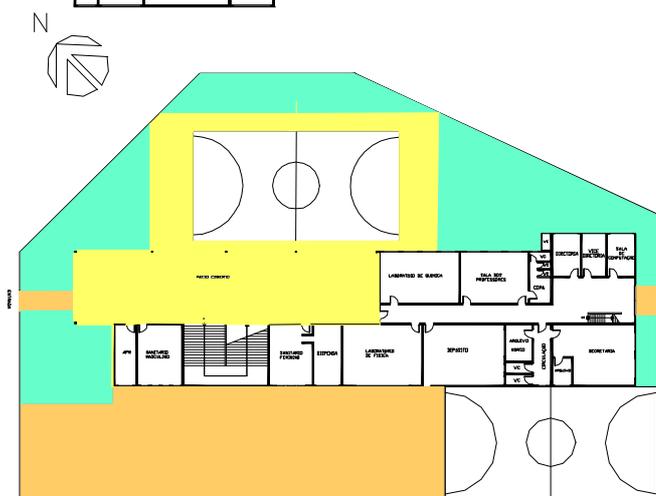
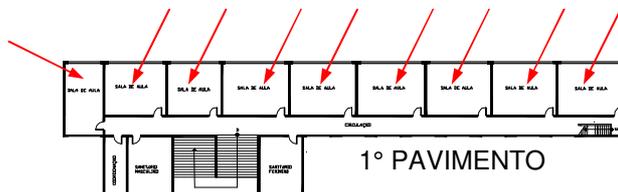
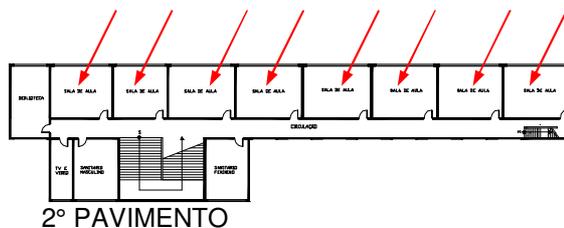
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
16	5H	0,25	14	10H	0,33	17	2	0,21	130,00 (ml)	234,00(ml)
1	1E	0,33	2	17H	0,33				Grau de pertinência	Grau de pertinência
			1	1G	0,17					
Média do G.P.		0,25	Média do G.P.		0,32	Média do G.P		0,21	0,65	0,00

Características da escola:

Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
17	2858,94	40	70	0,57	1 E 2



VISTA EXTERNA



EEPG PROF. RENATO FIUZA TELES  
Osasco / Jd Conceição

Qualificação dos parâmetros de projeto:

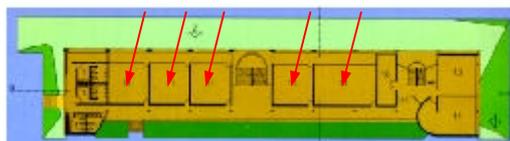
Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
12	6B	0,29	12	16A	0,67	19	1	0,71	202,40 (ml)	174,40(ml)
7	5B	0,17	7	17B	0,25				Grau de pertinência	Grau de pertinência
Média do G.P.		0,25	Média do G.P.		0,54	Média do G.P		0,71	0,41	0,10

Características da escola:

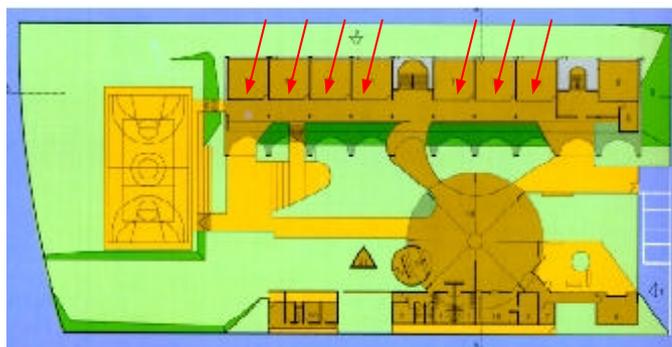
Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
19	1899,00	55,58	114,70	0,48	1e3



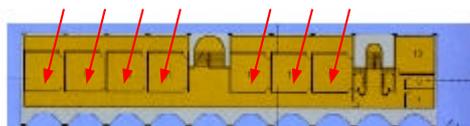
VISTA EXTERNA



1º PAVIMENTO



2º PAVIMENTO/IMPLANTAÇÃO



2º PAVIMENTO

EPPSG CIDADE SOINCO II  
Guarulhos

Qualificação dos parâmetros de projeto:

Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
12	5H	0,25	12	17H	0,33	3	1	0,71	207,00 (ml)	222,00(ml)
7	5E	0,21	7	17E	0,13	17	8	0,17	Grau de pertinência	Grau de pertinência
1	5G	0,17	1	17G	0,17					
Média do G.P.		0,23	Média do G.P.		0,25	Média do G.P		0,25	0,40	0,00

Características da escola:

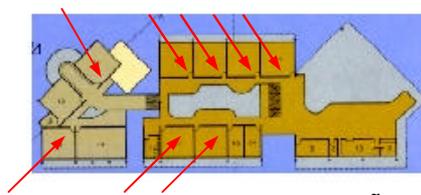
N° de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
20	3563,00	52,94	106,76	0,49	7



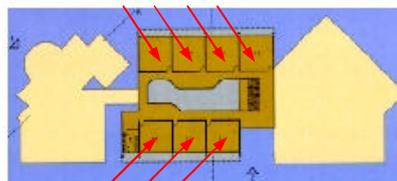
VISTA EXTERNA



2º PAVIMENTO



1º PAVIMENTO/IMPLANTAÇÃO



3º PAVIMENTO

EEPG SOLDADO PM EDER BERNARDES DOS SANTOS  
São Paulo / Itaim Paulista

Qualificação dos parâmetros de projeto:

Conf. Térmico			Conforto Luminoso			Acústico			Funcional	
Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Quantidade de salas	Tipo de variável	Grau de Pertinência da variável	Distância sala e Banho	Distância sala e Pátio
8	5D	0,08	8	17D	0,29	20	8	0,17	137,00(ml)	273,20(ml)
8	5C	0,00	8	17C	0,00				Grau de pertinência	Grau de pertinência
4	5A	0,17	4	17A	0,54					
Média do G.P.		0,07	Média do G.P.		0,22	Média do G.P		0,17	0,62	0,00

Características da escola:

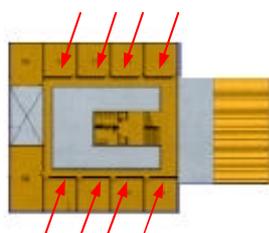
Nº de salas	Área	Terreno (média)		Razão	Tipo planta
		Larg.	Comp		
20	3315,00	71,00	134,00	0,53	7



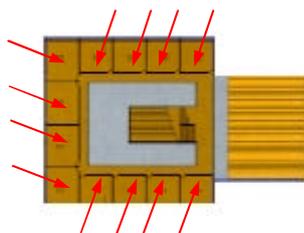
VISTA EXTERNA



1º PAVIMENTO/IMPLANTAÇÃO



2º PAVIMENTO



3º PAVIMENTO

## Referências Bibliográficas

ALUCCI, M.P. Mais iluminação natural, com menor consumo de energia. Qualidade na construção, São Paulo, nº24, ano III, p.40-45, 2000

BALACHANDRA, M. Knowledge-based optimum design. topics in engeneering. Soutampton e Boston: C.A. Brebbia e J.J.Connor, 1996. 165 p. (Computational Mechanics Publications. V.10).ISSN 0952-5300

BARROSO-KRAUSE, C. Ciência e concepção arquitetônica. Reintegrando tecnologia e arquitetura. In: Rio Vicente Del (Org). Arquitetura Pesquisa &Projeto. São Paulo: proEditores, 1998. Parte I, p.37-53

BROADBENT, G. Design in architecture. London:Wiley,1973

CHAKRABARTY<sup>a</sup>, B.K. Optimal design of multifamily dwelling development systems. Building and environment, v.31, 1,p.67-74, jan, 1996

CHENG, L.Y. Quantificação de Variáveis Subjetivas do Projeto. Apostila do curso PCC-5015, POLI-USP. São Paulo, 1997.

CHVATAL et al. O projetista de edificação e a preocupação com o conforto térmico e conservação de energia em Campinas (SP). In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1997, Salvador, Anais. FAUUFBA/LACAM- ANTAC.1997. p. 393-396.

CHVATAL et al. A prática do projeto arquitetônico em Campinas, S.P., e diretrizes para o projeto de edificações adequadas ao clima. In: NUTAU 98, ARQUITETURA E URBANISMO: TECNOLOGIAS PARA O SÉCULO XXI, 1998, São Paulo, Anais, CD-ROM.

COMITÊ BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO CIVIL (CB-02) e COMISSÃO DE ESTUDO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES (CE-02:135.07). Projeto 02:135.07-003. Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. 1998, p.28.

CONSELHO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO. CEE N°10/97. Normas para elaboração dos estabelecimentos de Ensino Fundamental e Médio. São Paulo. DOE, 30/07/97

DÜLGEROGLU, Y Design Methods Theory & Its Implications for Architectural Studies. Design Methods: Theories, Research, Education and Practice, Califórnia, v.33;n.3; p. 2870-2879. Jul-Sep,1999.

EBEHARD, A.A.; O'DONOVAN, M. A critical review of the usefulness of microcomputer based design tools for passive solar design of low cost housing in developing countries. Building and Environment, v. 25, n°2, p111-115,1990.

ERDREICH, J. Classroom acoustic. Issuetrak : A CEFPI Brief on Educational facility issue, Arizona, p. 1-5. jun.1999.

EVBUOMWAN, N.F.O.; SILVALOGANATHAN S.; JEBB A. A survey of design philosophies, models, methods and systems. Journal of Engineering Manufacture, London, Proc. Instn.Mech. Engrs, v.210, n.B4,p301-320,1996.

FERNANDES, P. Integração das diretrizes energéticas no processo de concepção arquitetônica. In: Rio Vicente Del (Org). Arquitetura Pesquisa & Projeto. São Paulo: proEditores, 1998. Parte I, p.25-51.

FIXX, J. Guia completo da corrida. 4ª edição, Rio de Janeiro, Record, 1977

FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO (FDE). Catálogos de Ambientes – especificações da edificação escolar de primeiro grau. São Paulo, 1997, 65p.

FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO (FDE). Arquitetura escolar e política educacional: os programas na atual administração do Estado. São Paulo, 1998, 156p.

HANTINGS, S.R. Computer design tools for climate-responsive architecture. Solar and win technology (ed.A.A.M. Saygh), v. 6, nº4, p357-363, 1989.

JONES, J.C. Design Methods: seeds of human futures. Great Britain: A Wiley-Interscience Publication, 1980.407p.

JUTLA, R.S. An Inquiry into Design. Design Methods: Theories, Research, Education and Practice, Califórnia, v.30, nº1, p.2304-2308, 1996.

KOWALTOWSKI D.C.C.K.; LABAKI L.C. O projeto arquitetônico e o conforto ambiental: necessidade de uma metodologia. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1993, São Paulo. Anais, São Paulo, EPUSP/ANTAC, 1993, v.2, p 785-794.

KOWALTOWSKI et al. Relatório científico - projeto de pesquisa: Melhoria do conforto ambiental em edificações escolares de Campinas, S.P., FEC-UNICAMP, 2001.

KOWALTOWSKIC.C.K et al, Ambiente construído e comportamento humano: Necessidade de uma metodologia. In: ENTAC, VIII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2000, Salvador Anais, CD-ROM.

LANG, J.T. Designing for Human Behavior: Architecture and the Behavioral Sciences. USA: Dowden, Hutchinson& Ross,1987.

MATSUHASHI, K. Application of multi-criteria analysis to urban land-use planning. Austria, 1997, IIASA Report, disponível em < [www.iiasa.ac.at](http://www.iiasa.ac.at).> acesso em:26 abril. 2002

ORNSTEIN, S. W.; BORELLI, J. N. (coord.)(1996) O desempenho dos edifícios da rede estadual de ensino. O caso da Grande São Paulo. São Paulo: FAU-USP,1996.

PAPALAMBROS, P.Y.; WILDE, D.J. Principles of optimal design- Modeling and Computation. USA: Cambridge University Press, 1991.

PRATA et al. Uma ferramenta de avaliação da ventilação natural em projetos arquitetônicos. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO, 1997, Salvador, Anais, p. 211-215

ROWE, PETER G. Design thinking. 4.ed. USA: MIT Massachusetts Institute of Technology, 1992.

SÃO PAULO (estado). Secretaria de Estado da Saúde. Resolução SS-493– Norma técnica que dispõe sobre a elaboração de projetos de educação de 1° e 2° graus no âmbito Estado de São Paulo. Publicado em D.O.E., São Paulo, 08/09/1994, seção 1.

SCARAZZATTO,P.S. et al. The Dynamic of Daylight in Tropical Climates and its influence on Indoor Environment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDOOR AIR QUALITY AND CLIMATE, 7, 1996, Nagoya, Japan, Anais, CD-ROM.

SILVA V.G. (2000) Avaliação do desempenho ambiental de edifícios. Qualidade na construção. São Paulo, nº25, ano III, p 14-22, 2000.

SMITH, B.J.; PETERS R.J.; OWEN, S. (1983) Acoustics and noise control. New York: Longman, 1983.

STADLER W. E DAUER J. Multicriteria optimization in engineering: a tutorial and survey. In: Seebass, R. (editor) Structural Optimization: status and promise. progress on astronautics and aeronautics. USA: Manohar P. Kamat, 1992, p.209-244

SUH, N.P. Axiomatic design theory for systems. Research in engineering design, London, v. 10, p.189-209, 1998.

WONG N. H.; LAM K. P.; HENRY F. The use of performance-based simulation tools for building design and evaluation - a Singapore perspective. Building and Environment, v.35, p. 709-736, 2000.

## **Abstract**

Post Occupancy evaluations of school buildings in the State of São Paulo, Brasil have shown that many school present a series of problems especially related to environmental comfort. A review of local school design parameters is therefore necessary.

This research presents a method to evaluate and optimize school designs for the São Paulo State school system considering environmental comfort parameters. These parameters consist of design elements applied the preliminary design stage.

Existing designs and design methodologies were analyzed to formulate the parameter used in this. Preliminary design decision were considered to be crucial in important environmental comfort decisions.

The parameters of the evaluation-optimization method were qualified by experts of each area using questionnaires with semantic scale. This scale was quantified and variables of design were associates to the values.

The goal of the design evaluation and optimization was to maximize aspects of environmental comfort and to qualify existing design solutions. Thermal comfort was considered to be a function of solar orientation and ventilation of openings in classrooms. Acoustic comfort was considered to be related to the proximity of classroom to spaces with noisy activities. Natural lighting conditions in classroom was considered a function of the shape and solar orientation throughout openings in classrooms and

functional comfort was determined to be a function of proximity of specific environments, such as bathroom and recreational spaces to the classrooms.

The optimization method was applied to 35 school designs. Results showed that conflict exists between different environmental comfort parameters, optimization is thus an important means of evaluating designs. Therefore it is not possible to maximize the four comfort parameters at the same time, but one can find a set of non-inferior designs. In this case one design parameter is superior in value to others. The applied test showed the optimization method to be an important instrument in design evaluation and a design method tool.

**Key words:** design optimization, school building design.