

## **O uso de metodologia de projeto axiomático para a integração de aspectos de conforto ambiental no desenvolvimento de projetos para a tipologia escolar no Estado de São Paulo.**

**Valéria A. C. da Graça(1); Doris C.C.K.Kowaltowski(2); João R.D.Petreche (3)**

(1) Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo, R. Pedro Vicente,625. São Paulo  
CEP01109-010 fone/fax (11) 6763-7550

e-mail:valeria\_collet@uol.com.br

(2) UNICAMP, Dept. Arq. e Constr., C.P. 6021, Campinas, SP.

(3) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil, Depto. de Eng. de Construção Civil

### **RESUMO**

Os projetos arquitetônicos de escola da rede estadual de São Paulo são realizados pela Fundação de Desenvolvimento Educacional (FDE) através de projeto padrão ou através de contrato de serviços para projetos específicos. A partir destas diretrizes e mais ainda, da padronização dos ambientes o projetista organiza os espaços do projeto dentro de um determinado terreno considerando a legislação local vigente. A padronização gerou uma metodologia de avaliação baseada em *checklist* elaborado pela FDE que considera um projeto apto como àquele que atende as restrições, diretrizes e padronização dos catálogos. Observa-se que nem sempre um projeto que atenda esta metodologia de avaliação soluciona os problemas relacionados ao conforto térmico, acústico e visual, uma vez que esta avaliação é restrita a alguns temas. Nesta pesquisa assume-se que no desenvolvimento de um projeto de escola o conforto térmico, o acústico e o visual são prioritários e devem ser considerados como princípios de projeto, pois, a falha no projeto destes aspectos prejudica a aprendizagem que é a função principal de uma escola. Para tratar os diversos aspectos de conforto ambiental, considera-se que o projeto deve ser feito por uma equipe multidisciplinar e é proposto o uso da metodologia axiomática para apoiar projeto de engenharia mecânica, como uma possibilidade para o gerenciamento das informações da equipe de projeto. O uso desta metodologia permite verificar a influência de uma decisão de projeto em vários aspectos de conforto, salientando a necessidade de tomada de decisão considerando-se a otimização.

### **ABSTRACT**

School building design in the State of São Paulo, Brazil, is carried out under the supervision of the Fundação de Desenvolvimento Educacional (FDE), with imposed recommendations and a catalogue of construction components. Under such circumstances standard designs or stock plans have been substituted with individualized designs, developed by professional offices. Architects follow recommendations and due to the standard classroom configuration, the resulting designs can be called an organization of spaces on the available lot, which obey local bylaws. In this process a design is considered "good" if it obeys the FDE checklist of recommendations and component catalogue impositions and attends local regulations and codes. Observations have shown that this design method does not always result in projects, which attend fully environmental comfort (thermal, acoustic and visual) criteria. In this study we argue that comfort considerations should be priorities in the design process, since a lack of comfort may influence negatively learning, the primary educational activities and function of a school building. To deal with the diverse aspects of environmental comfort a multidisciplinary design team is recommended. Also, the axiomatic design method should be adopted to administer the information and communication of such a team. This methodology allows verification of influences of diverse design decisions over each other, in this case with emphasis on various aspects of comfort and decision-making can be optimized to obtain the best results among possible solutions.

## 1. INTRODUÇÃO

Nesta pesquisa, assume-se que no desenvolvimento de um projeto de escola o conforto térmico, o acústico e o visual são prioritários e devem ser considerados como fundamentos de projeto. A falha no projeto destes aspectos prejudica a aprendizagem, que é a função principal de uma escola como pôde ser verificado através de avaliação pós-ocupação realizado em (KOWALTOWSKI ET AL, 2001).

Para tratar os diversos aspectos de conforto ambiental, considera-se que o projeto deve ser feito por uma equipe multidisciplinar (arquitetos, engenheiros especialistas de conforto térmico, acústico e visual entre outros) e é proposto o uso da metodologia axiomática como uma possibilidade para o gerenciamento das informações da equipe de projeto. No estudo de caso simulam-se o gerenciamento de informações de aspectos de conforto ambiental.

A proposição básica da abordagem axiomática é que existe um conjunto fundamental de princípios que determinam uma boa prática de projeto, e que esta só pode ser refutada através de contra-exemplos que provem a falsidade dos axiomas. Os axiomas são declarações formais do que as pessoas sabem ou do conhecimento do que as pessoas fazem ou usam diariamente. Suh acredita que a hipótese de que o projeto não pode ser situado em bases científicas é desnecessária e incorreta, pois, na ausência de princípios ou axiomas, que possam ser utilizados como base ou referência, as decisões de projeto só podem ser realizadas em bases empíricas, o que impede a codificação e transmissão do conhecimento sobre o projeto (SUH,1990).

A abordagem axiomática vem de encontro ao objetivo desta pesquisa, que trata da importância de racionalizar o processo de projeto de modo a permitir uma melhor representação das decisões tomadas em aspectos de conforto ambiental, uma vez que a “promessa” do uso dos axiomas permite a codificação e a transmissão do conhecimento.

## 2. METODOLOGIA DE PROJETO AXIOMÁTICO

O processo de projeto se inicia com o reconhecimento de uma necessidade social que representa uma visão do problema. Este reconhecimento pode ser feito com a utilização de métodos e técnicas que incluem a avaliação pós-ocupação, a pesquisa de “mercado” junto aos usuários, a consulta a especialistas envolvidos com o problema, entre outros. Estes procedimentos geram uma série de informações que auxiliam no reconhecimento do problema e que são transformadas pelo projetista em requisitos funcionais que o objeto de projeto deve satisfazer.

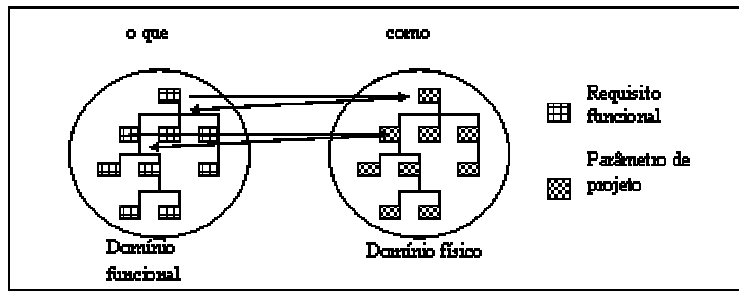
O termo requisito funcional (RF) trata das características e limites (tolerância<sup>1</sup>) que o projetista estipula para que o produto atenda às necessidades sociais. Este termo possui um significado específico na metodologia de projeto axiomático, é definido como o mínimo conjunto de requisitos independentes que caracterizam o objeto de projeto (SUH,1990).

A metodologia de projeto axiomático direciona o processo de tomada de decisão a partir do reconhecimento do problema, considerando o projeto como um processo iterativo de hierarquização, realizado com o mapeamento entre os requisitos funcionais e os parâmetros de projeto. A partir deste ponto o processo projetual é direcionado pelos axiomas de projeto.

Reconhece-se que os requisitos funcionais e os parâmetros de projeto podem ser decompostos de maneira hierárquica, iniciando-se com níveis genéricos de decisão em direção ao seu detalhamento, o que reduz a complexidade do processo uma vez que o projetista limita suas decisões a um número reduzido de requisitos funcionais por vez. A decomposição dos requisitos funcionais é feita passo a passo, isto é ao definir o requisito funcional (RF) em um determinado nível hierárquico, este só poderá ser decomposto quando for encontrada uma solução, um parâmetro de projeto (PP), que o satisfaça. Utilizando-se as denominações da metodologia de projeto axiomático diz-se que, o trabalho do projetista consiste em definir e decompor RFs e PPs de um dado nível hierárquico, “zigzagueando” (de maneira iterativa) entre os domínios funcionais e físico, conforme se verifica na figura 1.

---

<sup>1</sup> A tolerância caracteriza os limites aceitáveis de uma solução de projeto



**Fig. 1 Processo de projeto axiomático**

Este processo de decisão baseado no mapeamento entre requisitos funcionais e parâmetros de projeto e na hierarquização é direcionado por dois axiomas.

Axioma 1:

Mantenha a independência entre requisitos funcionais ou,

Em um projeto aceitável, a relação entre RF e PP deve permitir que o ajuste em um determinado PP para satisfazer o seu RF correspondente não afete outros requisitos funcionais.

Axioma 2:

Minimize o conteúdo da informação ou,

O melhor projeto possui funções desacopladas (respeita o axioma 1) e o menor conteúdo de informação.

O projeto definido como um processo de mapeamento entre os requisitos funcionais e parâmetros de projeto pode ser representado pela equação 1 ou 2, onde o vetor {RF} representa o conjunto de requisitos funcionais composto por m componentes, o vetor {PP} o conjunto de parâmetros de projeto composto por n componentes e [A] a matriz de projeto que indica os relacionamentos existentes entre os RFs e PPs e caracteriza o projeto em relação ao axioma da independência isto é, identifica se o projeto é acoplado, desacoplado ou desacoplável.

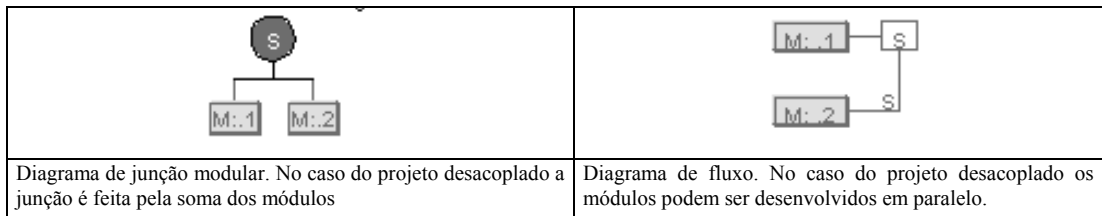
$$\{RF\} = [A] \{PP\} \quad \text{ou} \quad RF_i = \sum A_{ij} PP_j \quad \text{eq. 1}$$

$$\begin{Bmatrix} RF_1 \\ RF_2 \\ \vdots \\ RF_m \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{m1} & A_{m2} & \dots & A_{mn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} PP_1 \\ PP_2 \\ \vdots \\ PP_n \end{Bmatrix} \quad \begin{aligned} RF_1 &= A_{11}PP_1 + A_{12}PP_2 + \dots + A_{1n}PP_n \\ RF_2 &= A_{21}PP_1 + A_{22}PP_2 + \dots + A_{2n}PP_n \\ RF_m &= A_{m1}PP_1 + A_{m2}PP_2 + \dots + A_{mn}PP_n \end{aligned} \quad \text{eq. 2}$$

Os elementos da matriz podem ser representados pelo valor zero quando não existe nenhuma relação entre o requisito funcional m e o parâmetro n ou por outro valor quando existe essa relação. O projeto desacoplado possui os elementos da diagonal da matriz com valores grandes, o que indica uma relação forte com os parâmetros correspondentes e todos os outros elementos com valores iguais ou próximos a zero como se verifica na equação 3.

$$\begin{Bmatrix} RF_1 \\ RF_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{Bmatrix} \quad \begin{aligned} RF_1 &= aPP_1 \\ RF_2 &= bPP_2 \end{aligned} \quad \text{eq. 3}$$

Para facilitar a representação do projeto, a metodologia utiliza o diagrama de junção modular, que representa as junções dos módulos terminais de cada nível hierárquico, e o diagrama de fluxo, que representa a seqüência de desenvolvimento dos módulos de projeto, visualizados na figura 2. Os Módulos representam a relação existente entre os parâmetros de projeto e os respectivos requisitos funcionais em um determinado nível hierárquico; correspondem, portanto, à linha da matriz de cada requisito funcional. São considerados terminais quando não necessitam de uma maior decomposição.



**Fig. 2 Diagrama de junção e de fluxo do projeto desacoplado**

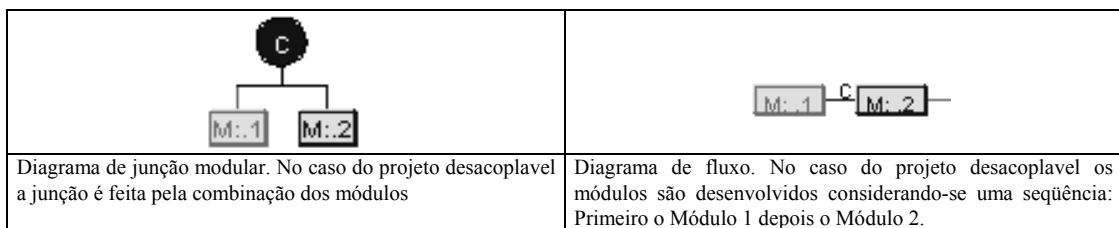
No projeto desacoplado cada requisito funcional terá apenas um parâmetro “controlador” definido com uma relação forte que permita o seu controle e poderá ter outros com um grau de relacionamento muito fraco (próximo a zero) de maneira que a alteração destes parâmetros mantenha o requisito dentro da tolerância especificada.

O projeto do tipo acoplado possui todos os elementos da matriz com valores grandes, o que indica a existência de relação forte entre todos os parâmetros e requisitos como se verifica na equação 4. Observa-se que o projeto do tipo acoplado viola o axioma da independência uma vez que se alterando qualquer parâmetro de projeto modificam-se todos os requisitos funcionais, de tal maneira que esta alteração viole a tolerância especificada para os requisitos.

$$\begin{cases} \text{RF}_1 \\ \text{RF}_2 \end{cases} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{cases} \text{PP}_1 \\ \text{PP}_2 \end{cases} \quad \begin{cases} \text{RF}_1 = a\text{PP}_1 + b\text{PP}_2 \\ \text{RF}_2 = c\text{PP}_1 + d\text{PP}_2 \end{cases} \quad \text{eq. 4}$$

Finalmente, o projeto do tipo desacoplável possui os elementos da matriz localizados na diagonal e os elementos situados acima ou abaixo da diagonal com valores diferentes de zero, ou seja, a matriz é triangular como se verifica na equação 5. Observa-se que o projeto do tipo desacoplável respeita o axioma da independência, desde que os ajustes sejam controlados por uma seqüência. Neste exemplo primeiro define-se o RF1 e depois o RF2 modificando-se apenas o PP2 o que não interfere com o RF1. Esta seqüência pode ser representada considerando-se os módulos terminais de projeto representados no diagrama de junção modular e o diagrama de fluxo, visualizados na figura 3.

$$\begin{cases} \text{RF}_1 \\ \text{RF}_2 \end{cases} = \begin{pmatrix} a & 0 \\ b & c \end{pmatrix} \begin{cases} \text{PP}_1 \\ \text{PP}_2 \end{cases} \quad \begin{cases} \text{RF}_1 = a\text{PP}_1 \\ \text{RF}_2 = b\text{PP}_1 + c\text{PP}_2 \end{cases} \quad \text{eq. 5}$$



**Fig. 3 Diagrama de junção e de fluxo do projeto desacoplável**

No projeto desacoplável um determinado requisito funcional poderá possuir diversos parâmetros com relacionamento forte e pelo menos um parâmetro “controlador” que permita o ajuste do requisito funcional correspondente dentro dos limites especificados. Este parâmetro controlador será o último a ser especificado, uma vez que o requisito funcional correspondente pode sofrer influência de outros parâmetros e que o controle só será efetivo quando os outros parâmetros associados já estejam definidos e não se modifiquem mais.

O axioma da independência racionaliza o projeto, uma vez que o projetista passa a identificar e representar a relação existente entre o requisito funcional e o parâmetro de projeto. Este processo

representado pela hierarquização dos domínios funcional e físico permite ao projetista identificar qual decisão está tomando e qual a consequência desta decisão para o projeto como um todo.

A metodologia de projeto axiomático supõe que existem diversos parâmetros e variações destes parâmetros físicos (soluções) que podem controlar um requisito funcional. Cabe ao projetista escolhê-los de modo a manter a independência. Assim, ao se deparar com um projeto acoplado, o projetista pode definir (escolher dentro das diversas opções) outros parâmetros de controle do requisito a fim de evitar uma situação de compromisso. Se isso não for possível, o projetista poderá unir as funções e seguir com a hierarquização optando-se por uma solução desacoplável ou desacoplada com o detalhamento do projeto em níveis hierárquicos inferiores. Supondo que realmente não seja possível se evitar uma situação de compromisso para algumas funções, faz-se necessário realizar a otimização destas a fim de encontrar soluções de compromisso em um determinado nível hierárquico, tendo o projetista que optar por um partido para seguir com o projeto através da metodologia axiomática.

### **3. ESTUDO DE CASO**

Procura-se, com o uso da metodologia axiomática, evitar a interferência de um parâmetro sobre outro. Quando não é possível evitar a interferência dos parâmetros em outros requisitos o processo passa a ser iterativo podendo-se recorrer a métodos de otimização.

Acredita-se que, embora diferentes projetistas definam de modo peculiar o conjunto de requisitos (funções) e desenvolvem diferentes parâmetros de projeto (variáveis), é possível delinear a importância (funções) de cada conforto e o que isto significa na incorporação física do projeto, portanto, são indicadas funções genéricas (requisitos funcionais) de cada conforto e diretrizes (parâmetros de projeto) para sua solução.

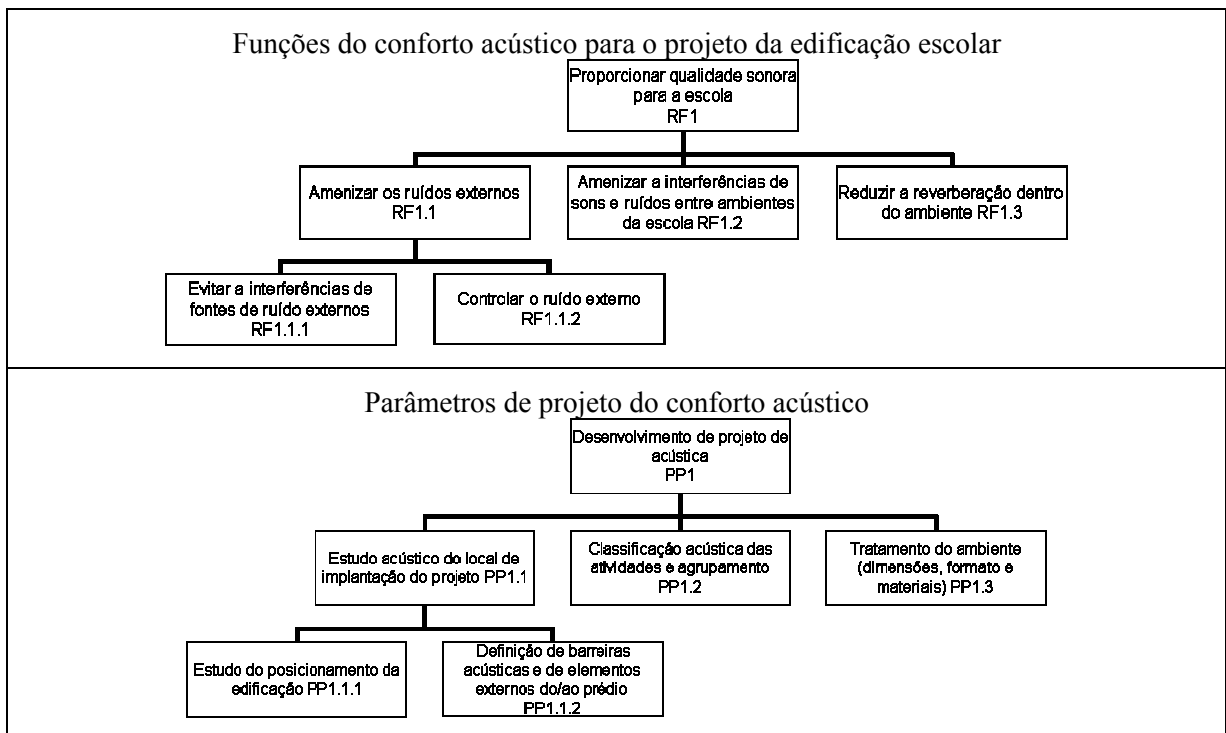
#### **3.1 - Funções e definições do conforto acústico**

Ao assumir que no desenvolvimento do projeto de escola o conforto acústico é uma prioridade para a formação de ambiente de educação, pois sua falta prejudica a aprendizagem, se coloca como função genérica proporcionar qualidade sonora para a escola (RF1) e se tem como parâmetro de projeto o desenvolvimento de projeto de acústica (PP1). A qualidade sonora ou desempenho acústico de uma escola está relacionado com a capacidade de proporcionar aos seus usuários condições adequadas para realizar normalmente suas atividades.

“Ao dar forma e volume aos espaços, o arquiteto tem como elemento básico de trabalho a superfície. As formas e materiais adotados têm influência no comportamento do som, determinando o desempenho acústico do ambiente...” (SOUZA, ALMEIDA E BRAGANÇA, 2003, P.34)

Nos estudos de avaliação pós-ocupação em escolas observa-se problemas acústicos fruto de ruídos do entorno do terreno (ruas com tráfego intenso), interferência de sons entre ambientes (salas de aula próxima ao pátio ou a corredor largo e extenso) e ruído interno e tempo de reverberação prolongado (KOWALTOWSKI ET AL 2001, ORNSTEIN E BORELLI, 1996). Destas avaliações pode-se definir as funções ou requisitos funcionais (RFs) para alcançar um bom desempenho acústico no projeto de escola conforme mapeamento da figura 4, onde se observa que:

- 1- Para satisfazer a função de amenizar os ruídos externos (RF1.1) o projetista terá que fazer o estudo acústico do local de implantação do projeto (PP1.1).
- 2- As sub-funções para a elaboração do estudo do local de implantação são evitar a interferências de fontes de ruído externo (RF1.1.1) e controlar o ruído externo (RF1.1.2) onde o projetista estará definindo, respectivamente, o posicionamento da edificação (PP1.1.1) e barreiras acústicas e elementos externos do/ao prédio (PP1.1.2).
- 3- Para amenizar a interferências de sons e ruídos entre ambientes da escola (RF1.2) deve-se classificar a acústica das atividades e agrupa-las (PP1.2).
- 4- Para reduzir a reverberação dentro do ambiente (RF1.3) deve-se prever o tratamento do ambiente considerando-se suas dimensões, formato e materiais (PP1.3)

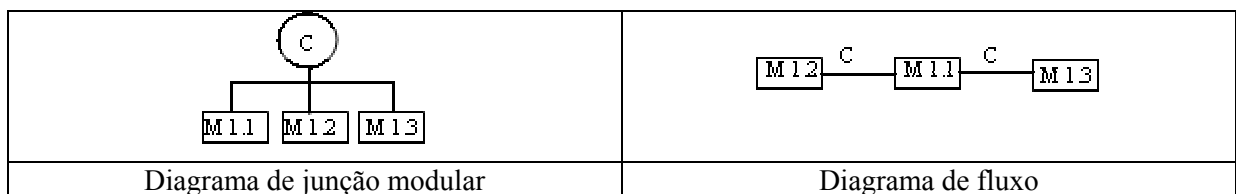


**Fig. 4: Funções e parâmetros de conforto acústico para escolas**

Considerando-se apenas o projeto de acústica tem-se: a matriz do primeiro nível hierárquico, visualizada na tabela 1, o diagrama de junção modular e o diagrama de fluxo da figura 5 que mostram que o PP 1.2 influencia fortemente todos os requisitos funcionais e por este motivo deve ser o primeiro a ser estabelecido.

**Tab. 1 Matriz de projeto do primeiro nível hierárquico para o projeto de acústica**

RF1.1	1	0.8	0	PP 1.1	$RF\ 1.1 = PP\ 1.1 + 0.8PP\ 1.2$
RF 1.2	0	1	0.3	PP 1.2	$RF1.2 = PP\ 1.2 + 0.3\ PP1.3$
RF1.3	0.6	0.8	1	PP1.3	$RF1.3 = 0.6PP1.1 + 0.8PP1.2 + PP\ 1.3$



**Fig. 5 Diagrama de junção e de fluxo do primeiro nível hierárquico do projeto acústico**

### 3.2 - Funções e definições do conforto térmico

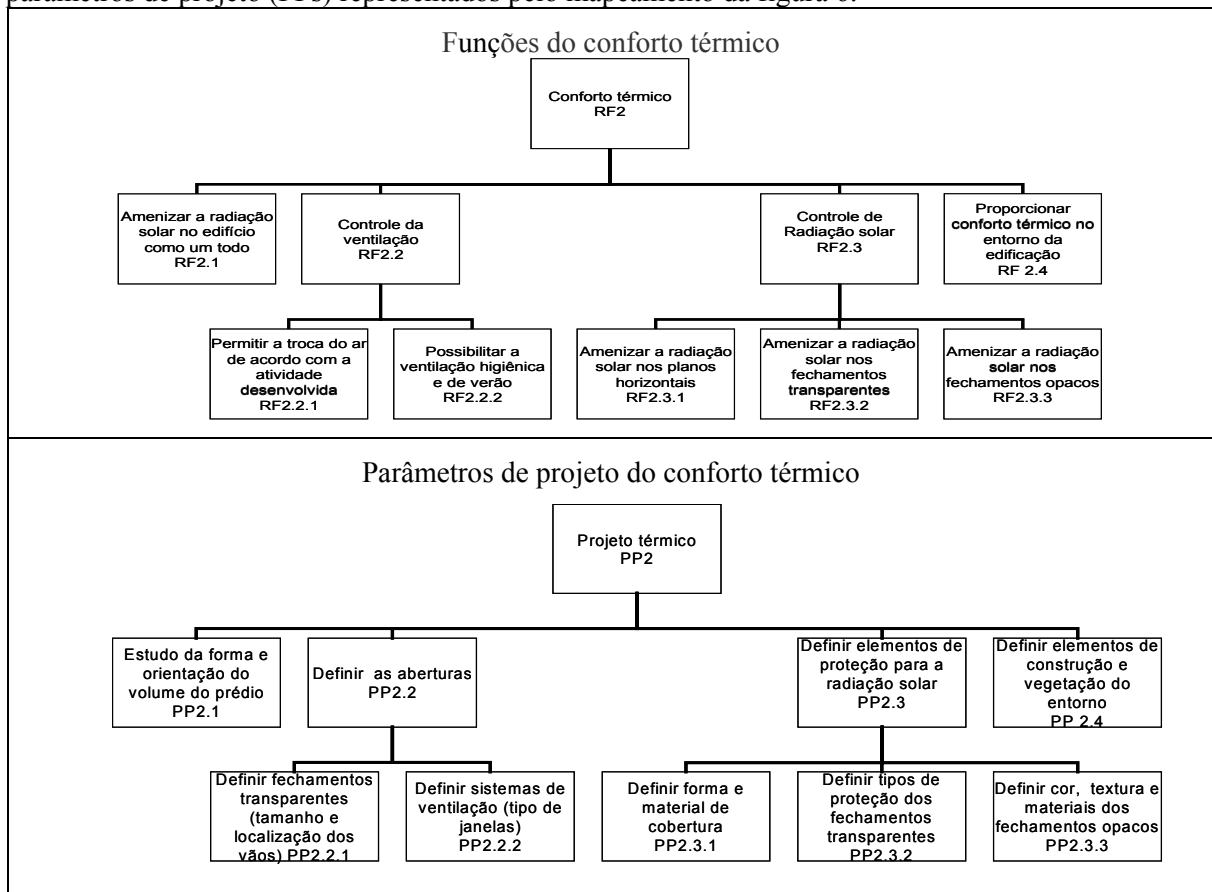
Ao assumir que no desenvolvimento do projeto de escola o conforto térmico é uma prioridade para a formação de ambiente de educação, se coloca como função genérica proporcionar conforto térmico para a escola e se tem como parâmetro de projeto (solução) o desenvolvimento de projeto de térmico. O conforto térmico de uma escola está relacionado com a capacidade de proporcionar aos seus usuários condições adequadas para realizar normalmente suas atividades, consoante Rivero tem-se que:

“...o conforto térmico das pessoas, que tem enorme influência em sua saúde e em seu rendimento, vai depender exclusivamente dos conhecimentos e da preocupação do arquiteto para conseguir um melhor comportamento térmico da envolvente.”“... (O calor não conhece barreiras e só é possível opor-lhe resistências de eficácia variável, mas nunca

impedir totalmente sua transmissão. Devemos imaginar que ao redor de nós ocorrem processos contínuos de transmissão de calor como produto das diferenças de temperaturas provocadas por fontes como radiação solar, o próprio corpo humano ou qualquer aparelho gerador de calor. (RIVERO, 1986 p.14, 15)

Nos estudos de avaliação pós-ocupação observam-se problemas referentes à orientação das salas de aula (leste ou oeste), temperaturas elevadas no período da tarde no verão nas salas de aula e temperaturas baixas no período de inverno, pátios com grande exposição ao vento e falta de proteção contra insolação, insolação direta sobre os usuários das salas de aula (KOWALTOWSKI ET AL 2001, ORNSTEIN E BORELLI, 1996). Não se pode esquecer no caso das escolas do período de funcionamento, da quantidade de alunos por classe, do tipo de atividade realizada.

Destes procedimentos e das avaliações pós-ocupação pode-se definir os requisitos funcionais (RFs) e parâmetros de projeto (PPs) representados pelo mapeamento da figura 6.

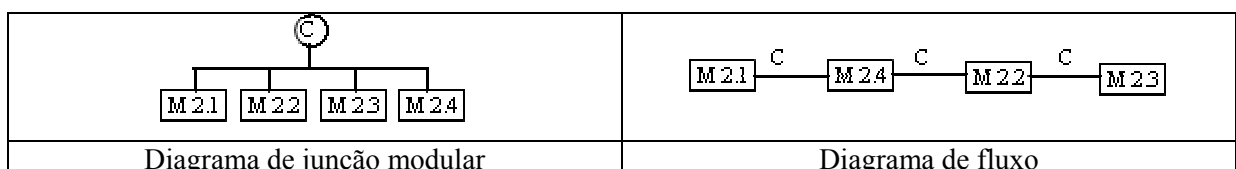


**Fig. 6 Funções e Parâmetros do conforto térmico.**

Considerando-se apenas o projeto de conforto térmico tem-se a matriz do primeiro nível hierárquico, visualizada na tabela 2, o diagrama de junção modular e o diagrama de fluxo da figura 7, que mostram que o PP 2.1 influencia fortemente todos os requisitos funcionais.

**Tab. 2 Matriz de projeto do primeiro nível hierárquico para o projeto de conforto térmico**

RF2.1	1	0	0	0	PP2.1	$RF2.1 = PP2.1$
RF 2.2	0.8	1	0.3	0.5	PP2.2	$RF2.2 = 0.8PP2.1 + PP2.2 + 0.3PP2.3 + 0.5PP2.4$
RF2.3	0.8	0.8	1	0.5	PP2.3	$RF2.3 = 0.8PP2.1 + 0.8PP2.2 + PP2.3 + 0.5PP2.4$
RF2.4	0.8	0	0	1	PP2.4	$RF2.4 = 0.8PP2.1 + PP2.4$



**Fig. 7 Diagrama de junção e de fluxo do primeiro nível hierárquico do projeto de conforto térmico**

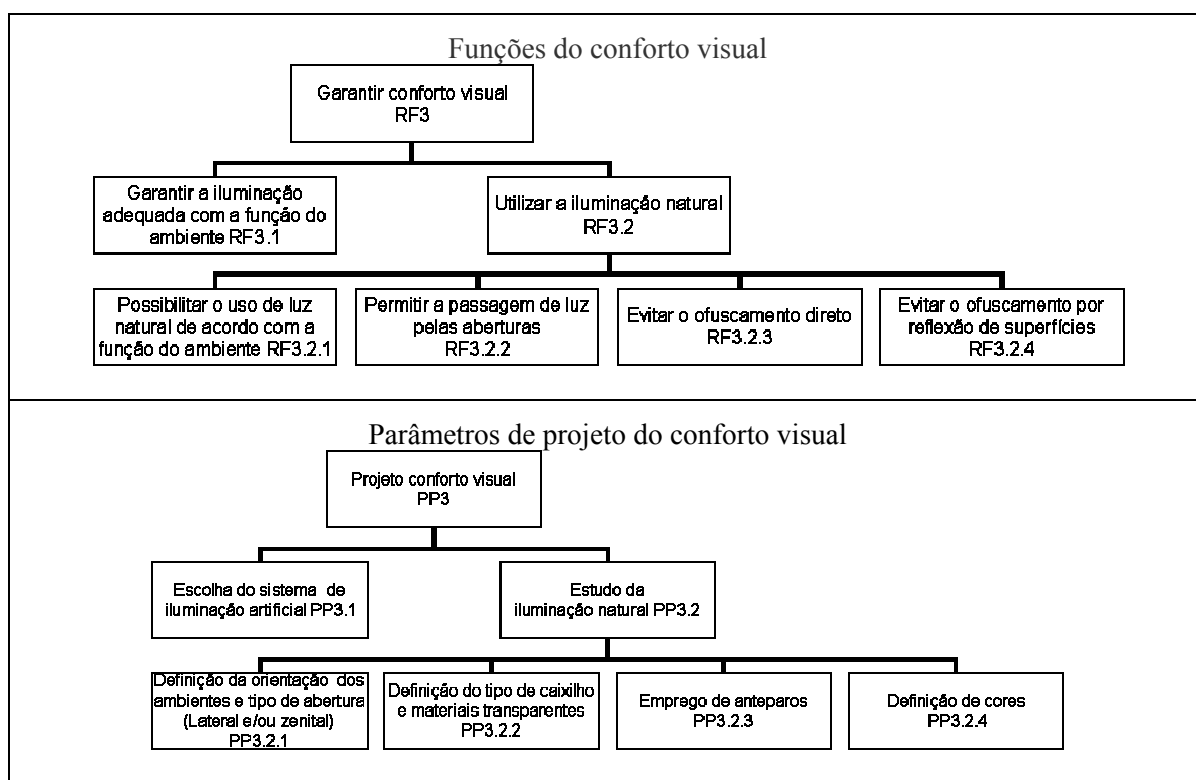
### 3.3 - Funções e definições do conforto visual

Ao assumir que no desenvolvimento do projeto de escola o conforto visual é uma prioridade para a formação de ambiente de educação, pois sua falta prejudica a aprendizagem, se coloca como função genérica proporcionar conforto visual para a escola e se tem como parâmetro de projeto (solução) o desenvolvimento de projeto de conforto visual.

A distribuição da luz no ambiente interno depende de um conjunto de variáveis: a disponibilidade da luz natural, as obstruções externas, o tamanho, a orientação, a posição e detalhes de projeto das aberturas, características óticas dos envidraçados, tamanho e geometria do ambiente e refletividade das superfícies internas (CB-02, 1999).

Nos estudos de avaliação pós-ocupação de escolas realizados em São Paulo, observa-se problemas de iluminação, fruto de: distribuição não uniforme da iluminação, nível de iluminação fora das recomendações, manutenção precária das lâmpadas, utilização padronizada de lâmpadas independente do tamanho da sala, iluminação natural insatisfatória e ofuscamento no plano de trabalho e lousa, (KOWALTOWSKI ET AL 2001, ORNSTEIN E BORELLI, 1996).

Destas avaliações e definições de conforto visual pode-se elencar as funções e parâmetros de projeto representados pelo mapeamento da figura 8. Considerando-se apenas o projeto de conforto visual tem-se a matriz do primeiro nível hierárquico, visualizada na tabela 3, o diagrama de junção modular e o diagrama de fluxo da figura 9, que mostram que o PP 3.2.1 influencia fortemente o RF 3.1 e por este motivo deve ser o primeiro a ser estabelecido. Após esta definição, se estabelece o PP.3.1

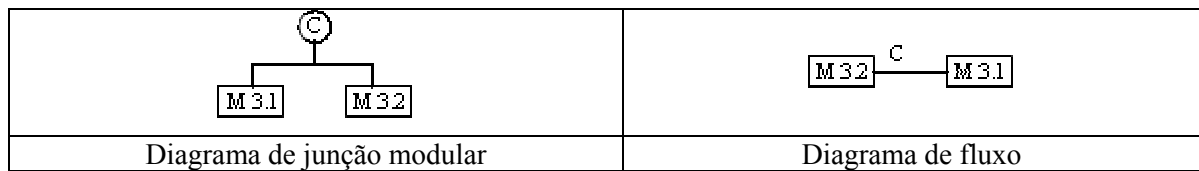


**Fig.8 Funções e Parâmetros do conforto visual.**

**Tab. 3 Matriz de projeto do primeiro nível hierárquico para o projeto de conforto visual**

RF3.1	1	1	PP3.1	RF3.1 = PP3.1 + PP3.2
RF 3.2	0	1	PP3.2	RF3.2= PP3.2





**Fig. 9 Diagramas do primeiro nível hierárquico do projeto de conforto visual**

### 3.4 União de funções e definições de aspectos de conforto ambiental

Considerando-se as funções e parâmetros apontados separadamente por cada área de conforto, observa-se que em alguns casos são utilizados os mesmos parâmetros embora para requisitos funcionais diferentes, como é o caso de:

- PP2.2.1 (definir fechamentos transparentes (tamanho e localização dos vãos)) e PP3.2.1 (definição de orientação dos ambientes e tipo de abertura (lateral ou zenital)).
- PP2.2.2 (definir sistemas de ventilação (tipos de janela)) e PP3.2.1 (definição de tipos de caixilho e materiais transparentes).
- PP2.3.2 (definir tipos de proteção dos fechamentos transparentes) e PP3.2.3 (emprego de anteparos).

Nestes casos a metodologia de projeto axiomático prevê duas possibilidades: 1- a união dos requisitos funcionais e a hierarquização posterior ou 2- troca de parâmetro controlador de algum dos requisitos funcionais. Nesta pesquisa considerou-se a união dos requisitos funcionais e das equipes de conforto para estas definições.

Representa-se a matriz de projeto na tabela 4, a equação de projeto na tabela 5, e o diagrama de fluxo na figura 10. Observa-se que o parâmetro controlador do RF 2.1 influencia várias funções. Esta função possui influência forte do PP1.2 que por sua vez, possui influencia fraca de outros parâmetros. Assim define-se primeiro o módulo 1.2 indicando-se restrições ou diretrizes aos PP1.3 e PP2.3.3. para definir depois o módulo 2.1. Após estas definições pode-se trabalhar em paralelo nos módulos 2.3.1. e 2.4.

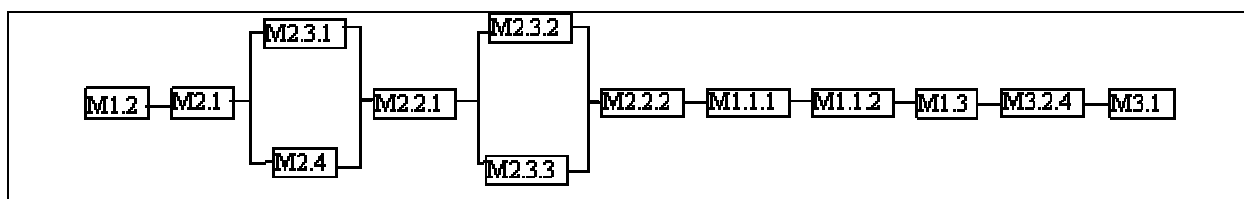
O processo segue até que se possa definir o ultimo módulo que neste estudo de caso é o 3.1 que trata do RF 3.1 garantir a iluminação adequada de acordo com a função do ambiente.

	PP1.1 estudo do posicionamento da edificação	PP1.2 definição de barreiras acústicas e de elementos externos do/ao prédio	PP1.2 classificação acústica das atividades e agrupamento de ambientes	PP1.3 tratamento do ambiente (dimensões, formato, materiais)	PP2.1 estudo da forma e orientação do volume do prédio	PP2.2.1 definir fechamentos transparentes (tamanho e localização dos vãos)	PP2.2.2 definir sistemas de ventilação (tipo de caixilho) e materiais transparentes	PP2.3.1 definir forma e material de cobertura	PP2.3.2 definir tipos de proteção dos fechamentos transparentes	PP2.3.3 definir cor, textura e materiais de fechamentos opacos externos	PP2.4 definir elementos de construção do entorno	PP3.1 escolha do sistema de iluminação artificial	PP3.2.4 definição de cores dos ambientes
RF 1.1.1 evitar interferência de ruídos externos	1	0	0.8	0	0.8	0.8	0.8	0	0	0	0	0	0
RF1.1.2 controlar o ruído externo	0.8	1	0.8	0	0.8	0.8	0.8	0	0	0	0	0	0
RF 1.2 amenizar interferência entre ambientes	0	0	1	0.3	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0
RF 1.3 reduzir a reverberação	0.3	0.6	0.8	1	0.8	0.8	0.8	0	0	0.3	0	0	0
RF2.1 amenizar a radiação solar do edifício com um todo	0	0	0.8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
RF 2.2.1 possibilitar a troca do ar e o uso da luz natural de acordo com a atividade desenvolvida	0	0.3	0	0	0.8	1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0	0
RF 2.2.2 possibilitar ventilação higiênica e de verão e a passagem de luz pelas aberturas	0	0.3	0	0	0.8	0.8	1	0.3	0.3	0.3	0.3	0	0
RF 2.3.1 amenizar a radiação nos planos horizontais	0	0	0	0	0.8	0	0	1	0	0	0	0	0
RF 2.3.2 amenizar radiação solar nos fechamentos transparentes e evitar ofuscamento	0	0	0	0	0.8	0.8	0	0	1	0	0	0	0
RF 2.3.3 amenizar a radiação solar nos fechamentos opacos	0	0	0	0	0.8	0.8	0	0.8	0	1	0.3	0	0
RF 2.4 proporcionar conforto no entorno da edificação	0	0.3	0	0	0.8	0	0	0	0	0	1	0	0
RF 3.1 garantir a iluminação adequada com a função do ambiente	0	0	0	0	0.8	0.8	0.3	0.3	0.8	0	0	1	0.8
RF 3.2.4 evitar ofuscamento por reflexão de superfícies	0	0.3	0	0.8	0.8	0.8	0	0	0.8	0	0.3	0	1

**Tab. 4 Matriz de projeto do estudo de caso**

RF1.1.1	PP1.1.1+0.8PP1.2+0.8PP2.1+0.8PP2.2.1+0.8PP2.2.2
RF1.1.2	0.8PP1.1.1+PP1.1.2+0.8PP1.2+0.8PP1.2+0.8PP2.1+0.8PP2.2.1+0.8PP2.2.2
RF1.2	PP1.2+0.3PP1.3+0.3PP2.3.3
RF1.3	0.3PP1.1.1+0.6PP1.1.2+0.8PP1.2+PP1.3+0.8PP2.1+0.8PP2.2.2+0.3PP2.3.3
RF2.1	0.8PP1.2+PP2.1
RF2.2.1	0.3PP1.1.2+0.8PP2.1+PP2.2.1+0.3PP2.2.2-0.3PP2.3.1+0.3PP2.3.2+0.3PP2.3.3+0.3PP2.4
RF2.2.2	0.3PP1.1.2+0.8PP2.1+0.8PP2.2.1+PP2.2.2+0.3PP2.3.1+0.3PP2.3.2+0.3PP2.3.3+0.3PP2.4
RF2.3.1	0.8PP2.1+PP2.3.1
RF2.3.2	0.8PP2.1+0.8PP2.2.1+PP2.3.2
RF2.3.3	0.8PP2.1+0.8PP2.2.1+0.8PP2.3.1+PP2.3.3+0.3PP2.4
RF2.4	0.3PP1.1.2+0.8PP2.1+PP2.4
RF3.1	0.8PP2.1+0.8PP2.2.1+0.3PP2.2.2+0.3PP2.3.1+0.8PP2.3.2+PP3.1+0.8PP3.2.4
RF3.2.4	0.3PP1.1.2+0.8PP1.3+0.8PP2.1+0.8PP2.2.1+0.8PP2.3.2+PP3.2.4

**Tab. 5 Equação de projeto do estudo de caso**



**Fig. 10 Diagrama de fluxo do estudo de caso**

#### 4. CONCLUSÃO

Esta pesquisa propôs o uso da metodologia de projeto axiomático para a integração de aspectos de conforto ambiental e considerou como estudo de caso o projeto de escolar. O uso da matriz de projeto e do diagrama de fluxo permitiu verificar a influência de funções e parâmetros de projeto nas três áreas de conforto consideradas (térmico acústico e visual). Observou-se a necessidade de união de equipes de conforto térmico e visual para definição de alguns parâmetros e uma seqüência de decisão, de modo que os parâmetros que influenciam diversas funções sejam definidos primeiro para se evitar retrabalho.

As definições de requisitos funcionais e parâmetros de projeto têm caráter pessoal, isto é, depende da equipe de projetistas, portanto não se deve considerar que esta é a única solução para o desenvolvimento do projeto.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CB-02 (Comitê Brasileiro de construção). (1999) CE-02:135.02 (Comissão de Estudo de Iluminação Natural de Edificações). *Iluminação natural - Parte 3: Procedimento de Cálculo para a Determinação da Iluminação Natural em Ambientes Internos*. disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/conforto/textos/iluminacao/t3-iluminacao/texto3il-0699.html> acesso em 01/06/2006
- KOWALTOWSKI D.C.C.K., LABAKI L.C., PINA S.A.M.G., RUSCHEL R.C., BORGES FILHO F.& BERTOLLI S.R.(2001). “Melhoria do conforto ambiental em edificações escolares de Campinas, SP”. Campinas: FEC-UNICAMP; 2001. UNICAMP, Campinas.
- ORNSTEIN S.W. & BORELLI J.N. (1996). *O desempenho dos edifícios da rede estadual de ensino, o caso da Grande São Paulo*. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo;.
- RIVERO R.(1986). *Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural*. Porto Alegre:D.C. Luzzatto,. 2º edição.
- SOUZA L.C.L., ALMEIDA M.G., BRAGANÇA L.(2003). *Bê-a-bá da acústica arquitetônica ouvindo a arquitetura*. Bauru, S.P. Unesp.
- SUH, N.P. (1990) *The principle of design*. New York: Oxford University Press.