

PUC MINAS
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO CONTINUADA - IEC
CURSO - GESTÃO DE PROJETOS DE ENGENHARIA E ARQUITETURA

TCC - TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ARTIGO

TÍTULO: ANÁLISE DE SOLUÇÕES ARQUITETÔNICAS PARA ESCOLAS PÚBLICAS EM ÁREAS DE BAIXA RENDA

ALUNO: MARCELO PALHARES SANTIAGO¹

ORIENTADOR: ANTÔNIO BERNUCCI

Resumo: Um país se constrói através da educação. Um dos elementos que interferem na qualidade do ensino é o espaço construído da escola. O artigo parte de uma análise e comparação entre dois modelos padrões de escolas públicas, com intuito de identificar as melhores práticas e definir parâmetros essenciais de soluções arquitetônicas e de engenharia para se projetar escolas públicas exemplares e com custo compatível com os orçamentos de estados e prefeituras. A análise leva em conta as decisões de projeto que interferem no custo do metro quadrado construído, custo do terreno e valor agregado. O foco são as escolas públicas a serem implantadas e localizadas em áreas degradadas e periféricas, onde a educação se faz mais necessária e onde projetos bem resolvidos e diferenciados tem maior capacidade de gerar impacto positivo no resultado da educação.

Palavras chave: gerenciamento, projeto, planejamento, arquitetura, engenharia, custo, orçamento, terreno, escola, favela;

¹ Arquiteto Urbanista, Diretor da Horizontes Arquitetura e Urbanismo
contato: pasamarcelo@gmail.com, marcelo@horizontesarquitetura.com.br

INTRODUÇÃO

“Começamos pelas escolas, se alguma coisa deve ser feita para “reformatar” os homens, a primeira coisa é “formá-los”. Lina Bo Bardi em Primeiro: escolas. Habitat, n°4, 1951

O principal instrumento para construção e desenvolvimento de um país é a educação de seu povo. O Brasil, apesar de atualmente se encontrar em momento de elevado desenvolvimento econômico, ainda apresenta baixo nível no desempenho escolar e altos índices de analfabetismo. Para resolver este problema, não há dúvidas sobre a importância de aumentar os investimentos públicos no setor da educação, visando ampliar o acesso da população à educação.

Neste contexto, a contribuição dos arquitetos e engenheiros se dá pelos projetos e construção de escolas. Existem diversos estudos que analisam a relação entre a qualidade da arquitetura escolar e o ensino. Estes estudos avaliam como a forma dos espaços, seus aspectos estéticos, dimensionamento, inter-relação de espaços, infraestrutura e equipamentos podem interferir positivamente ou negativamente no aprendizado. A pedagoga Tatiane Menezes Santana cita dois autores na obra *“A relação da arquitetura escolar com a aprendizagem”*, evidenciando a importância do projeto de arquitetura para a educação:

“Hélio de Queiroz Duarte ressalta que o projeto arquitetônico de uma instituição de ensino deve ser subordinado, em primeiro lugar, à criança. (...) Ele afirma que as escolas deveriam ser alegres e acolhedoras, não podiam, portanto, assemelhar-se a prisões com muros altos e janelas inacessíveis, realidade de alguns colégios brasileiros.”

“O educador Eduardo D’Amorim afirma que, Tudo na escola deve ser feito para educar. Tudo. Assim, a sujeira deseduca, o abandono deseduca, a desorganização deseduca. Por outro lado, a limpeza educa, a organização educa, as paredes educam, os quadros educam, as plantas educam. Por isso a estrutura física para mim é importante para a visualização da seriedade do processo e da concepção que se tem da escola.”

Sensações proporcionadas pela arquitetura como conforto bioclimático, facilidade de circulação, qualidade estética, dentre outros aspectos, são de extrema importância para proporcionar ambiente agradável e condições ideais para concentração e bom desenvolvimento escolar. As soluções arquitetônicas que proporcionam as qualidades acima são bastante estudadas e difundidas, apesar de nem sempre aplicadas.

O ideal seria que todo projeto de escola se baseasse nestes parâmetros que definem as qualidades espaciais e ambientais de um edifício. No entanto, os governos, em sua maioria, optaram por atacar o problema pela quantidade e não pela qualidade. As secretarias de educação estaduais desenvolveram projetos padrões que são replicados indistintamente em qualquer situação. Estes projetos padrões apresentam dois grandes problemas: primeiro não são adaptáveis às realidades sociais e físicas ambientais locais e, segundo, foram desenvolvidos com soluções que prezam mais a redução do orçamento do que a qualidade espacial.

Uma rápida análise do mercado mostra que as soluções para redução do custo que se estabeleceram como regras são a redução de áreas (prejudicando o conforto) e simplificação dos materiais de acabamento. Mas a redução de área nem sempre é a melhor maneira de reduzir custos, pois a relação de diminuição de custos e área não é direta, como se acredita. Além disso, a simplificação de materiais acarreta maiores custos de manutenção em longo prazo, e prejudica o desempenho geral do edifício.

Outro fator que tem influência no custo obra é o preço do terreno. Deveria ser prioridade levar educação à população de baixa renda, implantando escolas em áreas carentes. A proximidade da escola com a população evita investimentos elevados em transporte. Mas os governos optam por construir escolas em pontos afastados onde o terreno é mais barato, aumentando os custos públicos com transporte. Este ideal é dificultado pela escassez de terrenos centrais e conseqüente elevação dos preços, causada por uma somatória de fatores: 1-alteração nas leis de uso e diminuição de potenciais construtivos; 2-facilidade de crédito; 3-especulação imobiliária; 4- crescimento desordenado e ocupação irregular, deixando livres os terrenos em piores condições: formas irregulares, tamanhos reduzidos e topografia acidentada

Pouquíssimas vezes a redução de custos é feita através do estudo das formas e dimensões, provavelmente porque os arquitetos não são treinados para entender os custos das suas soluções geométricas. É a partir desta realidade que se torna essencial ao arquiteto se armar de técnicas e ferramentas que possibilitem conceber projetos criativos, entendendo o impacto de suas decisões.

Para sugerir algumas alternativas de avaliação de custo, será apresentada a seguir uma comparação entre dois projetos de escolas públicas que tem programas equivalentes. A comparação será desenvolvida com base em parâmetros desenvolvidos no livro “O custo das decisões arquitetônicas”, organizado pelo Engenheiro Juan Luis-Mascaró. As escolas são:

Escola 12 salas de aula padrão DEOP-MG (Rio Pardo de Minas-MG);

Escola 12 salas de aula padrão FDE-SP (Juiz de Fora-MG),

Na comparação serão avaliados os impactos no custo das soluções volumétricas, considerando, para efeito de estudo, que os dois exemplos tenham os mesmos materiais de acabamento. Para simplificar a análise e concentrar em dados econômicos, serão desconsideradas questões sobre a qualidade espacial de cada projeto.

APRESENTAÇÃO DAS ESCOLAS

PROJETO PADRAO ESCOLAR SC/98 12 SALAS – DEOP-MG

Escola E. Norberto de Almeida Rocha, Rio Pardo de Minas – MG (Projeto de implantação de escola padrão desenvolvido pela *Horizontes Arquitetura e Urbanismo*)

O site do DEOP e da Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais não apresentam nenhuma descrição sobre o projeto padrão, se limitando a descrever a metodologia de licitação e orçamentos para os projetos:

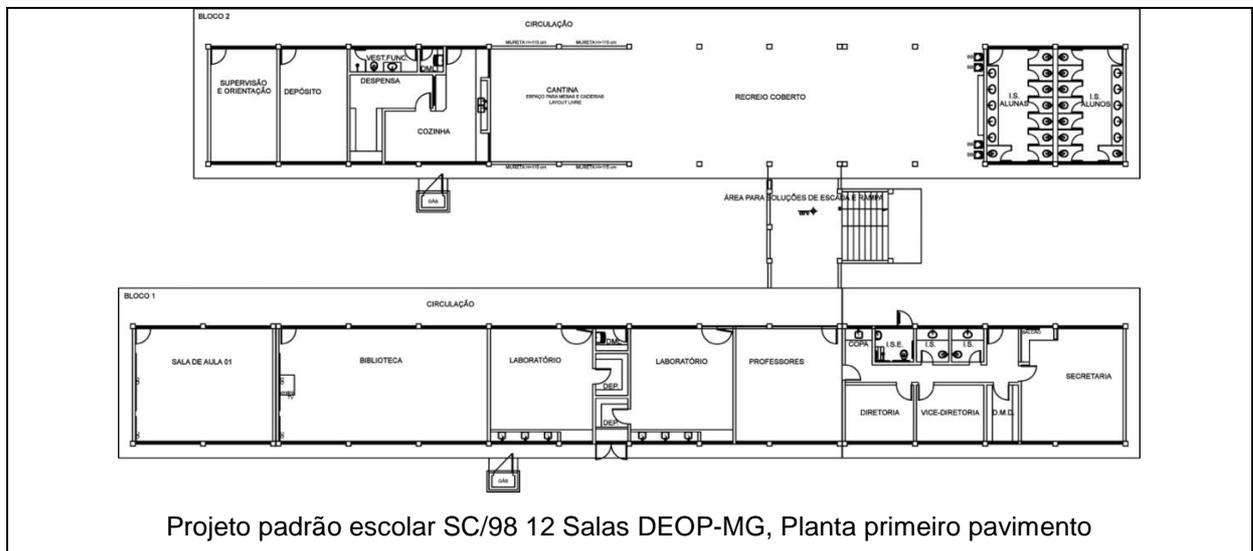
“A Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais mantém um programa de obras responsável pela construção, ampliação e reforma de prédios escolares tanto no âmbito da rede estadual quanto nas redes municipais de ensino. A construção e ampliação só ocorrem quando definidas pela Superintendência de Organização Educacional para atendimento à demanda verificada nas diferentes regiões do Estado.”

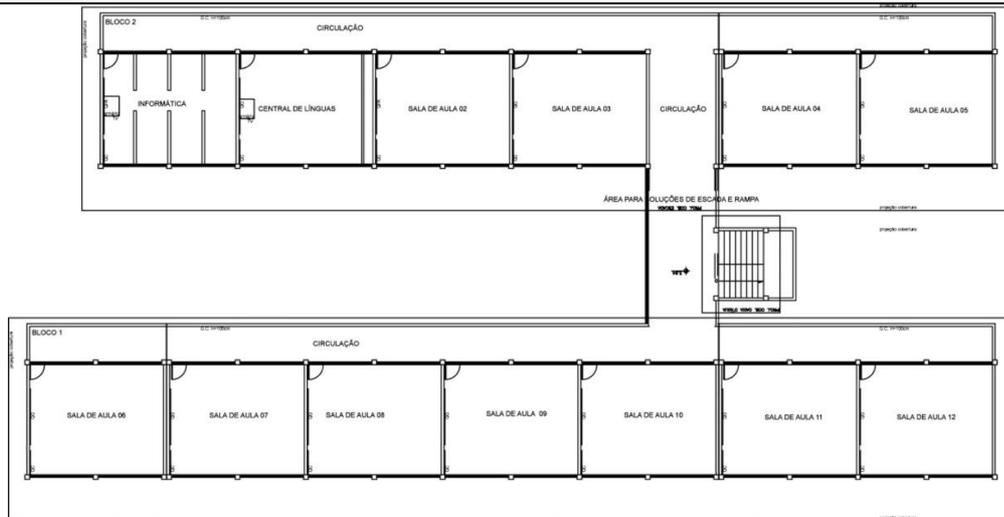
O projeto padrão das escolas do DEOP MG foi originalmente desenvolvido no ano de 1976. Durante os últimos 30 anos vem sendo repetidamente implantando em diversas cidades de Minas Gerais, recebendo pouquíssimas atualizações na solução padrão e sem grandes alterações para adaptação às realidades locais.

O projeto padrão contém basicamente três edifícios: escola, quadra e vestiário. O edifício de salas de aula é composto por dois blocos horizontais de dois pavimentos,

interligados por um bloco central vertical que contém escada, elevador e caixa d'água. Nestes dois blocos também ficam biblioteca, sala de computação, laboratórios e refeitório/cozinha. A circulação horizontal é resolvida através de dois corredores abertos, paralelos aos blocos de sala de aula. A cobertura de cada bloco é solucionada em duas águas de telhas cerâmicas. O sistema estrutural é de concreto armado moldado in loco e fechamento em alvenaria. A quadra coberta é resolvida com estrutura metálica e cobertura de telhas metálicas, arquibancada de concreto e fechamento em grade. O vestiário é independente, resolvido em estrutura convencional de concreto e fechamento em alvenaria, com cobertura de laje plana impermeabilizada.

A implantação do projeto padrão exige terrenos amplos para locação dos três blocos com afastamentos adequados entre blocos e divisas. Para manter acessibilidade entre os blocos, estes devem ser implantados em cotas de nível próximas, evitando desníveis que demandem a construção de arrimos e rampas. Neste modelo, a ocupação de terrenos com alta declividade é dificultada e encarecida.

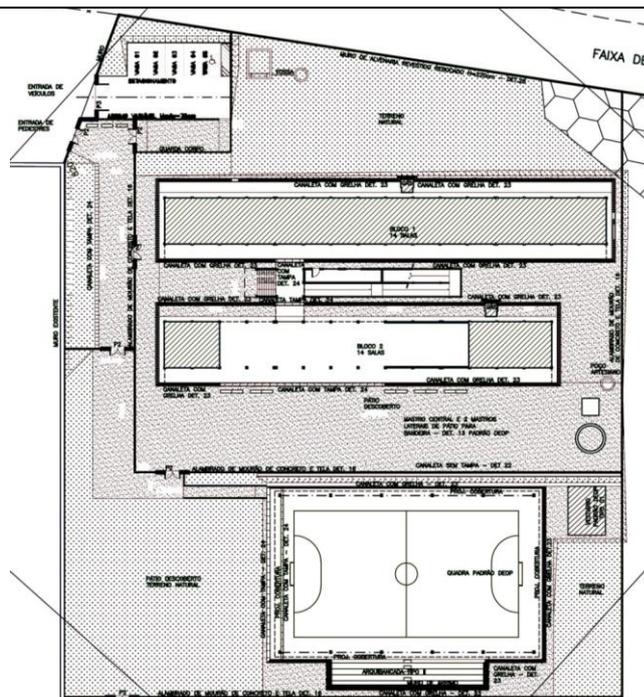




Projeto padrão escolar SC/98 12 Salas DEOP-MG, Planta primeiro pavimento



Escola Estadual Norberto de Almeida Rocha. Rio Pardo de Minas. Foto: Gil Leonardi/Secom MG



Escola Estadual Norberto de Almeida Rocha, Local: Rio Pardo de Minas
Projeto de implantação: Horizontes Arquitetura e Urbanismo

PROJETO ESCOLA DOM BOSCO - 12 SALAS

Juiz de Fora – MG (Projeto desenvolvido pela *Horizontes Arquitetura e Urbanismo*, seguindo os padrões da FDE-SP)

O site na internet da FDE (Fundação para o desenvolvimento da Educação do estado de São Paulo) apresenta em destaque alguns dos principais projetos arquitetônicos já construídos, e descreve a importância dos projetos para a qualidade de ensino. O site apresenta uma série de catálogos técnicos para download que servem de referência para desenvolvimento dos projetos. Esta preocupação em facilitar o acesso à informação demonstra a importância dada à infraestrutura:

“Os projetos de novos prédios escolares da FDE, desenvolvidos com a utilização do sistema pré-moldado de concreto, são referência na área e já obtiveram reconhecimento internacional pela sua qualidade, representado por premiações recebidas e por publicações estrangeiras da área de arquitetura que a eles deram destaque. (...) É importante ressaltar que o desenvolvimento do sistema de produção de novas escolas utilizado pela FDE representa a valorização dos espaços disponíveis às áreas pedagógicas e administrativas das unidades. Os novos prédios escolares valorizam também sua função social, representando uma escola aberta à comunidade que a envolve, com grandes áreas comuns e espaços abertos, como as quadras esportivas cobertas.

Pelo sistema adotado, é possível, também, garantir o estabelecimento de padrões de materiais e sistemas produtivos, o que representa melhor qualidade no resultado final das obras. Vale lembrar que a adoção de um sistema construtivo unificado, no caso o pré-moldado, não representa uma simplificação e padronização dos projetos. Cada nova escola dispõe de uma concepção original exclusivamente desenvolvida, utilizando soluções arquitetônicas e construtivas que garantem personalidade única a cada prédio.”

Na escola Dom Bosco, a prefeitura de Juiz de Fora abriu oportunidade para a equipe de projeto utilizar o sistema proposto pela FDE-SP. A escola foi resolvida em um bloco único com três pavimentos. O acesso é feito pelo pavimento intermediário onde ficam laboratórios, secretaria/administração, cozinha/refeitório, biblioteca, sala de computação e pátio coberto. No pavimento inferior ficam as salas de aula e no último pavimento ficam o vestiário e a quadra. A cobertura é única, em telha metálica. A circulação vertical é feita por dois blocos de escadas internos e por elevador. A circulação horizontal é feita por um amplo corredor central que também funciona como espaço de permanência. A estrutura é em pilares pré-fabricados de concreto, com fechamentos em alvenaria e brises metálicos. A solução verticalizada permite im-

plantação em terrenos pequenos e acidentados devido à sua forma compacta e possibilidade de apoio em estrutura suspensa.



PLANTA ESCOLA ENSINO FUNDAMENTAL

SUBSOLO

ÁREA TOTAL - 3130,20 m²

- 01. SALA DE AULA
- 02. SALA E REFORÇO
- 03. PLATAFORMA
- 04. SERVIÇO
- 05. DEPÓSITO
- 06. IS
- 07. IS PNE

PLANTA ESCOLA ENSINO FUNDAMENTAL

PAVIMENTO TÉRREO

ÁREA TOTAL - 1448 m²

- 01. COZINHA
- 02. DESPENSA
- 03. REFETÓRIO
- 04. PÁTIO COBERTO
- 05. SECRETARIA
- 06. IS
- 07. IS PNE
- 08. DIRETOR
- 09. ALMOXARIFADO
- 10. VICE DIRETOR
- 11. COORDENADOR
- 12. PROFESSORES
- 13. FUNCIONÁRIOS
- 14. INFORMÁTICA
- 15. SALA
- 16. PLATAFORMA
- 17. SERVIÇO
- 18. DEPÓSITO

PLANTA ESCOLA ENSINO FUNDAMENTAL

PAVIMENTO SUPERIOR

ÁREA TOTAL - 1448 m²

- 01. QUADRA
- 02. PLATAFORMA
- 03. ESCRITÓRIO
- 04. DEPÓSITO
- 05. IS
- 06. IS PNE

OS ÍNDICES DE COMPARAÇÃO

A forma mais simples de comparar o custo entre duas soluções seria desenvolver uma estimativa de custos completa para cada projeto e comparar o peso de cada componente no orçamento total. Isso só pode ser feito tendo em mãos os dois projetos básicos, e desenvolvendo um orçamento completo para cada solução. Obviamente esta metodologia não é prática, demanda tempo e inviabiliza a comparação entre mais de duas soluções. Inviabiliza também que as decisões em função do custo sejam tomadas durante o projeto.

Vários estudiosos, preocupados com estas dificuldades, se debruçaram sobre a questão em busca de metodologias comparativas que permitam a comparação dos custos durante a fase de projeto. Alguns destes estudos apresentaram como solução a utilização de índices matemáticos, definidos a partir de quocientes entre variáveis do projeto. O objetivo da utilização de índices é permitir a comparação de proporcionalidade, possibilitando realizar paralelos confiáveis entre soluções totalmente distintas. O arquiteto pode, assim, ter parâmetros para tomar decisões contínuas durante o desenvolvimento do projeto, levando em conta a combinação entre diversas alternativas e seus impactos no custo.

Um dos estudiosos deste assunto é o engenheiro civil Juan Luis Mascaró, organizador do livro "O custo das decisões arquitetônicas". Este livro apresenta índices que tornam viável comparar o desempenho econômico de edifícios com programa semelhantes, independente da diferença de suas áreas e materiais.

Mascaró organiza a análise de custos de acordo com variáveis que definem as formas geométricas dos edifícios, comparando a influência que cada um destes itens tem no custo final. Serão considerados os seguintes aspectos: 1-Influência da forma da planta/estrutura geométrica; 2-Comprimento x largura; 3-Influência da altura; 4-Influência da circulação (vertical e horizontal); 5-Índice de compacidade;

Durante qualquer projeto, o ideal é levar em conta todos os diversos fatores que compõe o custo dos edifícios. Na análise em questão, para simplificação, serão desconsiderados terraplanagens, fundações, materiais construtivos e equipamentos.

As terraplanagens e fundações serão ignoradas, pois seus custos dependem de variáveis independentes da forma do edifício, como tipo de solo e declividade. No caso dos materiais construtivos e equipamentos (instalações elétricas, cabeamentos, rede hidrossanitária, etc) será considerado que as escolas possuem os mesmos padrões de acabamento e mesma quantidade e tipo de instalações e equipamentos.

Desta forma, toda a comparação será concentrada nos parâmetros volumétricos do edifício, características que o arquiteto tem sob seu controle. Serão utilizados os dados indicados na tabela abaixo:

	Escola E. Norberto de Almeida Rocha - Padrão DEOP	Escola Dom Bosco - Padrão FDE
Numero de pavimentos	2	3
Volumes	2 cubos alongados (quadra e vestiários) 2 lineares (salas de aula)	Cubo alongado
Largura do prédio	Blocos de salas 8,25m Vestiário 8,77m Quadra 26m	22,10m
Comprimento do prédio	Bloco de salas 47,85m Vestiário 10,82m Quadra 34,45m	46,85m
Perímetro total	642,98m Considera todos os blocos	413,7
Área total	3153,20m ²	3106,15m ²
Área da cobertura	1902,07	1035,38m ²
Área dos planos verticais externos	2635,95m ²	2264,08m ²
Área total circulação	392,36m ²	455,8m ²
Largura circulação principal	2,05m	6,30m
Comprimento circulação principal	47,85m	46,85m
Área da circulação principal	98,09m ²	295,15m ²
Numero de escadas	1	2

COMPARAÇÃO

1. Influência da forma da planta / estrutura geométrica

Analisando a estrutura conceitual geométrica de um edifício, Mascaró afirma:

“Na maioria dos casos, do ponto de vista geométrico, o edifício é um conjunto de planos horizontais em interseção com outros planos verticais (...). Como esses espaços devem ter acessos, há de se prever um “mecanismo de chegada”, tanto no plano horizontal como no vertical, ao que habitualmente chamamos de “circulação” e que, tal qual os espaços úteis, deve se realizar com materiais e elementos construtivos. (...) Mas nem todos os planos verticais e horizontais têm os

mesmos custos: aqueles que envolvem o edifício normalmente são mais caros que os equivalentes internos. Por isso, é conveniente obter o volume necessário com a mínima superfície exposta ao exterior, não só pelo maior custo de construção mas também pelo custo de manutenção e uso. (...) o custo dos planos verticais externos chega, em muitos casos a ser de três a cinco vezes maior do que o dos verticais internos.”

Esta consideração inicial revela que o arquiteto deve concentrar seus esforços na redução de superfícies externas verticais (fachadas), mais do que nas horizontais (pisos). Neste sentido, a forma geométrica mais eficiente é a de uma esfera, seguida pelo cilindro e pelo cubo (ver tabela 1). As demais volumetrias tem menor eficiência à medida em que o comprimento fica maior em relação à largura.

Tabela III.1
Quantidades de paredes necessárias para envolver diversas formas geométricas de plantas de edifícios

Forma da Planta	Área (m ²)	Perímetro (m)	Relações	
			Perímetro - Área	Lado maior / Lado menor
Circular	100	35,44	0,35	-
Quadrada 10 x 10	100	40,00	0,40	1
Retangular	5 x 20	100	0,50	4
	4 x 25	100	0,58	6,25
	2 x 50	100	1,04	25
	1 x 100	100	2,02	100

Tabela 1 -

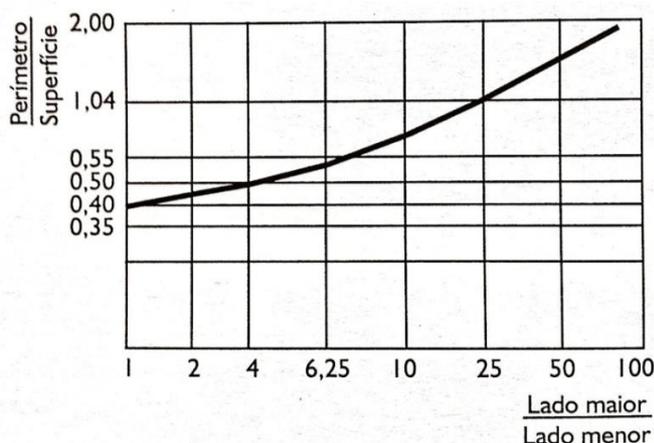


Figura 3.1: Quantidade de metros lineares de parede necessários para envolver uma superfície de 100m² em função da forma da planta.

Tabela 2 -

As duas tabelas a seguir (tabela 3 e tabela 4) demonstram os custos de construção da maneira convencional e a reorganização dos dados de forma. Na tabela reorganizada os custos foram concentrados a partir da sua forma geométrica, obtendo os seguintes valores aproximados para o custo total do edifício:

-planos horizontais 25%; planos verticais 45%; instalações 25%; canteiro de obras 5%.

Rubrica	Participação média (%)
Instalações Provisórias	2,60
Fundações	5,00
Alvenarias	8,00
Estrutura resistente	18,00
Cobertura	2,50
Instalações elétrica e telefônica	7,10
Instalações sanitária e gás	8,40
Pisos	6,84
Aparelhos sanitários	4,38
Aberturas	8,55
Revestimentos internos	9,50
Revestimentos externos	6,36
Pintura	5,48
Vidro	1,42
Acabamentos e limpeza da obra	1,42
Elevador	4,45

Tabela 2 - custos organizados de forma convencional

Classificação do elemento	Composição	Participação (%)
Elementos que formam os planos horizontais	Parte horizontal da estrutura e das fundações, telhado, pisos e parte horizontal dos revestimentos e da pintura.	26,79
Elementos que formam os planos verticais	Parte vertical da estrutura e das fundações, alvenarias, aberturas, revestimentos interno e externo, parte vertical da pintura.	44,84
Instalações	Elétrica, telefônica, hidráulica, gás, louças e metais e elevador	24,33
Instalações provisórias, limpeza da obra e outros trabalhos não considerados		4,02

Tabela 3 - custos organizados por composição geométrica

A tabela indica que a maior parte dos custos da construção se refere aos planos verticais. É comum pensar que uma redução de 10% de área construída representa redução equivalente no custo total. Isso não é verdade, já que a redução de uma porcentagem da área de plano horizontal, não representa a redução da mesma porcentagem dos demais componentes. Como a redução de superfícies não é proporcional, a redução do custo também não será. Em geral, segundo Mascaró, a diminuição de 10% na área causará uma redução aproximada de 4,7% do custo total (menos da metade da porcentagem diminuída). Da mesma forma, um aumento de 10% na área em geral, proporciona aumento de 5,7% nos custos.

Para os planos horizontais, os arquitetos têm poucas alternativas de projeto para redução de custo, pois a maior parte do custo destes planos é representada da estrutura de concreto, restando somente alternativas para mudança de materiais de acabamento. Já para os planos verticais existem diversas variações de materiais construtivos, além de diversas variações geométricas para composição das paredes internas e externas.

Sob estes pontos de vista a escola padrão FDE é mais eficiente, pois seus espaços são resolvidos em uma volumetria única e compacta, com apenas 4 faces externas (sem reentrâncias) e apenas uma superfície de cobertura. Em contraposição a escola padrão DEOP é fragmentada, composta por 4 volumes, com 16 faces externas (com reentrâncias) e 4 superfícies de cobertura.

2. Comprimento x Largura

Conforme apresentado na tabela 2, formas compactas e mais próximas do cubo são as mais eficientes. Quanto mais nos afastamos do cubo, no sentido de alongar a forma, menos eficiente fica a geometria e, conseqüentemente, mais caro seu custo final.

Quando se projeta um edifício em um terreno limitado estas variáveis têm pouco impacto, pois a forma do edifício acaba sendo definida pela forma do terreno. Já quando se projeta em terrenos maiores, ou quando se projeta edifícios padrões (que serão replicados em diversos terrenos), estas variáveis passam a ser importantes, pois a relação entre comprimento e a largura tem importância fundamental na composição do custo.

O índice comparativo de eficiência comprimento x largura é demonstrado pela fórmula $i=C/L$. No quadrado, a relação lado maior / lado menor é igual a 1. Quanto maior o índice, menos eficiente a relação da forma. Para os dois edifícios analisados os índices são os seguintes:

$$i_{DEOP \text{ BLOCO DE SALAS}} = 47,85 / 8,25 = \mathbf{5,8}$$

$$i_{DEOP \text{ VESTIÁRIO}} = 10,82 / 8,77 = \mathbf{1,23}$$

$$i_{DEOP \text{ QUADRA}} = 34,45 / 26 = \mathbf{1,325}$$

$$i_{FDE} = 46,85 / 22,10 = \mathbf{2,11}$$

A quadra e o vestiário do padrão DEOP apresentam índice c/L mais próximo do ideal (1=quadrado). No entanto, são ambientes pouco representativos no custo total da obra, pois o vestiário é muito pequeno e a quadra não apresenta subdivisões internas (paredes têm custo mais alto proporcionalmente). Comparando o padrão FDE com o bloco principal de salas do DEOP pode-se concluir que a escola padrão FDE é mais eficiente, pois sua planta é mais próxima do quadrado (índice 2,11), enquanto a escola padrão DEOP tem comprimento bastante maior que a largura (índice 5,8).

3. Influência da altura

Os custos de um edifício também sofrem variação em função da altura. Em Geral, quanto mais alto o edifício, menor seu índice de compacidade, conforme demonstrado na tabela 4 abaixo. Um edifício feito com mais pavimentos, terá maior custo para construção das fachadas que um edifício mais baixo, considerando que a área é constante.

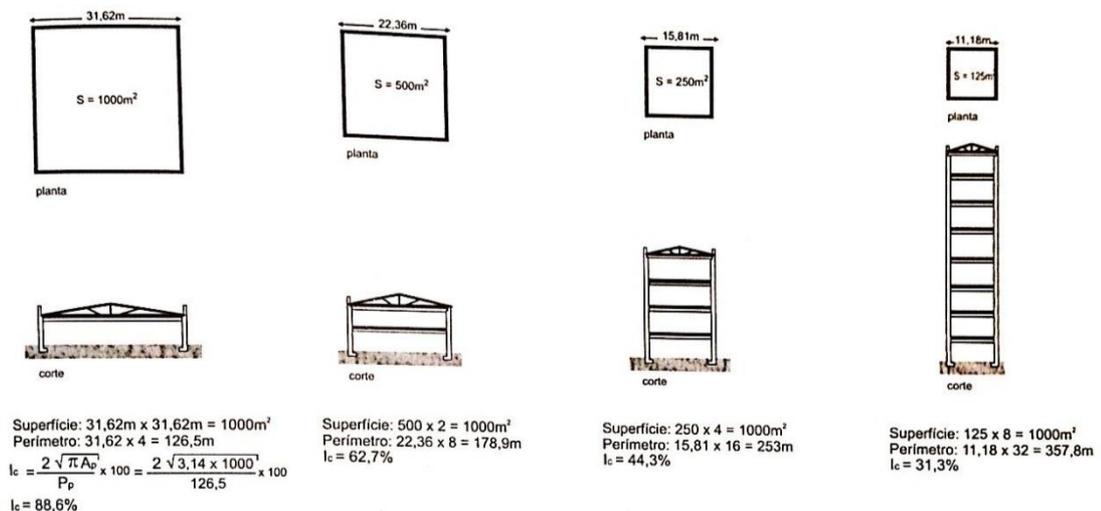


Tabela 4

No entanto, nem todos os custos aumentam em função do crescimento vertical. Alguns componentes da construção têm variação negativa na medida em que a altura aumenta. Segundo Mascaró, os principais fatores que têm influência nas variações de custo podem ser divididos em três grupos:

Incidência variável em relação à altura

- Fundações: A representatividade deste custo pode aumentar ou diminuir em função do tipo de solo e da solução estrutural utilizada.

Incidência decrescente em relação à altura

- Terreno: Quanto mais alto o edifício e maior sua área, maior diluição terá o custo do terreno no custo final da obra;
- Cobertura: a dimensão da cobertura permanece constante na medida em que o prédio fica mais alto, portanto, quanto mais alto, menor a influência do custo da cobertura no custo total;
- Movimento de terra: Quanto maior o edifício, mais diluído fica este custo pois os trabalhos em terra são os mesmos para qualquer altura de edifício. (considerando a mesma área em projeção).

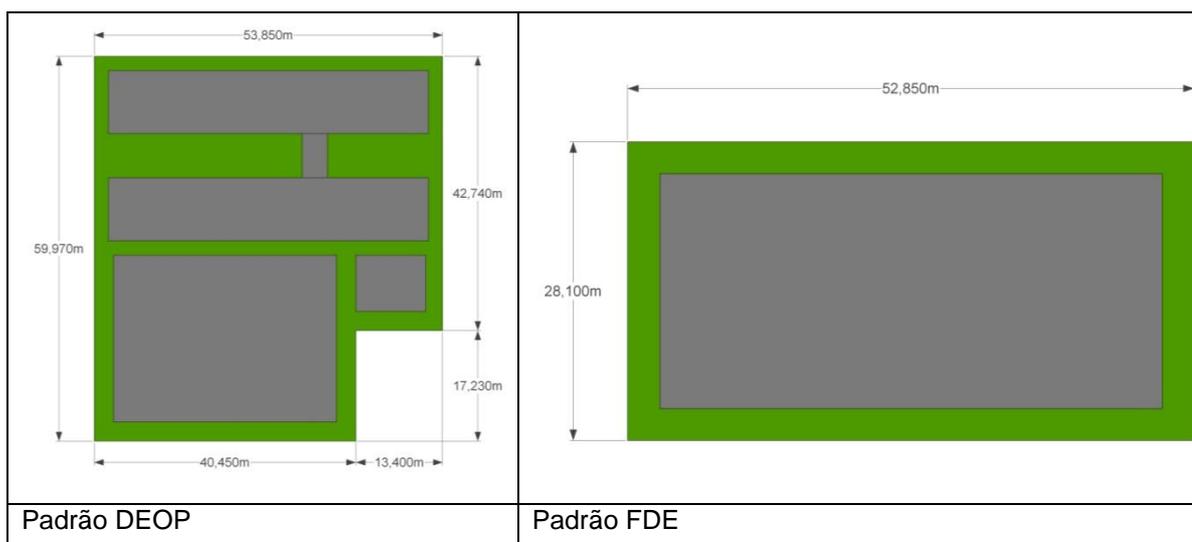
Incidência crescente em relação à altura

- Transporte dos insumos: Quanto mais alto o edifício, maiores os gastos com energia e necessidade de equipamentos para transportar verticalmente os materiais de construção;
- Duração da obra: quanto mais alto o edifício, maior será a duração da obra, aumentando custos com aluguel de equipamentos e mão de obra;
- Estrutura: quanto maior o edifício, mais pesado ele fica, aumentando os custos com sua estrutura de sustentação;
- Elevadores: quanto mais alto, maiores e mais rápidos precisam ser os elevadores e, conseqüentemente, mais caros;
- Mão de obra: quando existem pavimentos tipos, a produtividade da mão de obra aumenta na medida em que aumentam os pavimentos e a repetição dos serviços. No entanto, a partir de certa altura o desempenho e produtividade começam a baixar, devido aos grandes deslocamentos e maiores cuidados com segurança necessários em grandes alturas.
- Fachadas: para um edifício de superfície constante, quanto mais alto, mais caras serão as fachadas. O índice de compactidade diminui quando o prédio fica mais alto em relação à superfície de planta (tabela 4).

Como a diferença de altura entre os dois modelos estudados é pequena (2 pavimentos no modelo DEOP e 3 pavimentos no modelo FDE), pode-se considerar que a maior parte das variáveis sofrerá pouca influência. No entanto, a relação

da altura e compactidade do volume terá grande influência nas dimensões mínimas do terreno.

O esquema abaixo indica as áreas mínimas necessárias para implantação das duas escolas. O terreno mínimo para implantação do modelo DEOP tem 2.998,50m², enquanto o terreno mínimo para implantação do modelo FDE tem 1458,08m².



O desenho evidencia que a verticalização e a volumetria compacta do padrão FDE possibilitam implantação em terrenos menores. O padrão DEOP necessita de área duas vezes maior do que o padrão FDE. Este fato é importante para viabilizar implantação das escolas em zonas centrais, onde o custo do terreno é mais caro. Com uma solução que permite implantação em terrenos menores o padrão FDE terá custo do terreno mais diluído no custo da superfície. O modelo do DEOP, por se dividir em vários blocos e com menor altura, exige terrenos amplos e planos, encarecendo o custo relativo à altura. Fica demonstrado que a verticalização da FDE tornou sua solução mais eficiente em relação a estes componentes (terreno e altura).

4. Influência da circulação (vertical e horizontal)

Le Corbusier e Pierre Jeanneret, dois dos principais arquitetos do movimento moderno do início do século XX estudaram aprofundadamente as relações entre partes do edifício com seus custos. Na época, os dois já reconheciam a impor-

tância de se estudar bem a localização das circulações horizontais e verticais devido aos altos custos destes espaços, conforme citação de Mascaró:

“(...)constituem, a maioria das vezes, espaços estreitos e comprimidos, com relações de lado muito além dos 1:1 a 1:2 da maioria dos espaços de edifícios, relações que não é raro atingir 1:10 ou mais. Se lembrarmos como variam os custos dos espaços com relação aos lados, veremos como são caros esses corredores.”

Os corredores, por sua função de distribuir acesso aos espaços, costumam ter formas lineares. Normalmente se acredita que para diminuir os custos com a circulação deve-se diminuir sua largura. Mas os estudos de Mascaró indicam exatamente o contrário. Para diminuir os custos com a circulação devemos diminuir seu comprimento e não sua largura. Mascaró demonstra a seguir a relação de dimensão com o custo:

“A superfície de circulação diminuiu por 1/4, mas como o custo unitário por metro quadrado aumentou, o custo do sistema de circulação como um todo apenas diminuiu alguns pontos, algo como 1/10 ou 1/20; nestes casos o custo diminui entre três e seis vezes menos que a área. (...) A conclusão é óbvia: se temos circulação em excesso, não é reduzindo a largura que devemos resolver o problema e sim diminuindo o seu comprimento, e isto obriga a reestudar o partido arquitetônico, daí a pertinência do comentário de Le Corbusier e Jeanneret.”

Ainda sobre os custos dos corredores, Mascaró identificou os principais tipos de corredores e seus impactos nos custos:

“a) corredores laterais abertos, que são os mais econômicos, porém restritos a edifícios de altura moderada e climas quentes ou subtropicais;

b) corredores laterais fechados, que são os mais caros, os que deveriam, sempre que possível, ser evitados.

c) Corredores centrais, que possuem um custo intermediário, porém com o inconveniente de dificultar ou, até impedir a ventilação cruzada tão importante em climas quente-úmidos.”

O modelo aberto dos corredores padrão DEOP é mais barato que o modelo de corredor central do padrão FDE. No entanto, conforme demonstra o índice de compactidade abaixo, os corredores do padrão FDE são 3 vezes mais compactos que o padrão DEOP, atenuando o custo maior de sua solução fechada:

$iC=L/C$. No quadrado, a relação lado maior / lado menor é igual a 1.

$i_{DEOP}= 47,85 / 2,05 = \mathbf{22,92}$

$i_{FDE}= 46,85 / 6,3 = \mathbf{7,43}$

As escadas e elevadores também têm grande influência no custo final da obra. Como as duas escolas têm somente um elevador, este item não influencia a análise. Quanto às escadas, o padrão FDE possui 1 caixa de escada a mais do que o padrão DEOP, e suas escadas vencem um pavimento a mais. No cálculo a seguir demonstra-se que neste quesito o padrão DEOP é mais eficiente por Cada módulo de escada atender maior quantidade de área:

FDE: 2 caixas de escada x 3 andares = 6 módulos de escada para atender $3106,15\text{m}^2 = 3106,52/6 = \mathbf{517,75\text{m}^2 \text{ por módulo de escada}}$

DEOP: 1 caixa de escada x 2 andares = 2 módulos de escada para atender $1579,04\text{m}^2 = 1579,04 / 2 = \mathbf{789,52\text{m}^2 \text{ por módulo de escada}}$

5. Índice de compacidade

Para medir a relação entre paredes que envolvem o edifício (maior custo da obra) e a sua área construída foi definido por Mascaró o “índice de compacidade”. Este índice é uma relação entre superfície construída e perímetro, tendo as áreas e perímetros do círculo como parâmetro das proporções “ideais”.

Matematicamente o índice máximo (100%) é do círculo. Deve-se considerar que as tecnologias da construção encarecem a execução de paredes curvas, portanto o índice do círculo, na realidade, não representa o ideal. Segundo Mascaró, os planos curvos custam, em média, 50% mais que seus equivalentes retos. Além disso, formas com muitas arestas como pentágonos, hexágonos, etc., que teriam índices intermediários entre o círculo e o quadrado, também tem seu custo encarecido devido à complexidade de execução.

Considerando estes dados, a meta é atingir índice próximo ao do quadrado (88,6%), apesar de dificilmente este índice ser alcançado. Quanto mais próximo deste índice, menores os custos de construção. A tabela 5 indica como o custo de construção diminui na medida em que se atingem valores próximos de 88,6% e como voltam a subir na medida em que se aproximam do círculo.

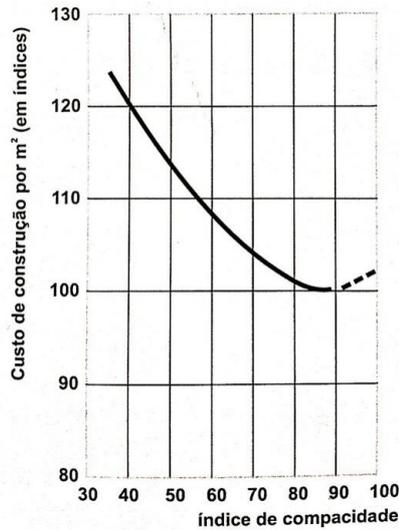


Tabela 5

A fórmula matemática para cálculo do índice de compacidade é a seguinte:

$$iC = \frac{2 \times \sqrt{S \times \pi}}{P}$$

iC = índice de compacidade, S = superfície total do edifício, $\pi = 3,14$, P = perímetro total

Mascaró indica no quadro abaixo como o índice de compacidade é menor quando o número de pavimentos aumenta e a superfície segue constante.

Com 01 planta



$S = 1000m^2$
 $L = 31,6m$
 $P = 126,49m$

$$iC = \frac{2 \sqrt{1000 \times 3,14}}{126,49}$$

$$iC = 88,62\%$$

Handwritten note: $n \times A_p = A_t$

Com 02 plantas



$S = 2 \times 500 = 1000m^2$
 $L = 22,36m$
 $P = 88,44m$

$$iC = \frac{2 \sqrt{2 \times 500 \times 3,14}}{88,44}$$

$$iC = 62,67\%$$

Com 03 plantas



$S = 3 \times 333,33 = 1000m^2$
 $L = 18,26m$
 $P = 73,03m$

$$iC = \frac{2 \sqrt{3 \times 333,33 \times 3,14}}{73,03}$$

$$iC = 51,17\%$$

Tabela 6

Segue cálculo para os edifícios estudados, utilizando o índice de compacidade:

$$iC_{DEOP} = 2 \times \sqrt{(3153,20 \times 3,14)} / 642,98 = 30,95\%$$

$$iC_{FDE} = 2 \times \sqrt{(3106,15 \times 3,14)} / 413,7 = 47,74\%$$

O cálculo do iC indica como a forma regular da escola Dom Bosco (FDE) é mais compacta e eficiente que o padrão DEOP. O resultado sugere eficiência 50% maior no padrão FDE, demonstrando como a volumetria bem planejada é importante quando se tem baixo orçamento disponível.

CONCLUSÃO

De acordo com a maior parte dos cálculos demonstrados acima a escola padrão FDE tem soluções volumétricas mais eficientes que o padrão DEOP. Os maiores impactos negativos do padrão DEOP se dão pelo baixo índice de compactidade (perímetro elevado em relação à área), corredores pouco compactos e pelo alto custo necessário para compra de terrenos amplos e planos, fator que dificulta implantação em áreas carentes e centrais das metrópoles.

O padrão DEOP, apesar de ter quase 40 anos, é considerado, pelo governo do estado de Minas, um modelo de baixo custo e fácil repetição por utilizar sistema construtivo convencional (concreto armado in-loco e fechamento em alvenaria) e de baixo padrão tecnológico. No entanto, além da baixa eficiência econômica de sua volumetria, demonstra a pouca preocupação com evolução tecnológica, capacitação da mão de obra e melhoria da qualidade espacial da escola.

Os cálculos indicados nesta análise são aproximações. Existem diversos outros índices que também podem ser usados neste tipo de comparação. No entanto, estes cálculos são bastante simples e podem ser feitos, sem dificuldade, a cada passo do projeto.

O conhecimento e uso destas ferramentas capacitam o arquiteto a compreender melhor a influência e impacto de cada solução projetada, permitindo que ele possa avaliar melhor as diversas soluções que surgem durante a fase de concepção. A importância deste estudo é demonstrar que o arquiteto que acumular o conhecimento dos índices de compactidade às suas habilidades técnicas, terá ampliada sua capacidade de tomar decisões gerenciais na fase de projeto.

BIBLIOGRAFIA

Publicações

MASCARÓ, Juan. **O custo das decisões arquitetônicas**. Edição 5. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Masquatro Editora, 2010. 192pg.

HERTZBERGER, Herman. **Lições de Arquitetura**. 1ª Edição. São Paulo. Editora Martins Fontes, 1196. 272p.

SANTANA, Tatiane Menezes. **A Relação da Arquitetura escolar com a aprendizagem**. In: IV COLÓQUIO INTERNACIONAL: "EDUCAÇÃO E CONTEMPORANEIDADE. Laranjeiras/SE. 2010. Colóquio Internacional.

Documentos não publicados - Projetos

DEOP-MG, Departamento de obras públicas do Estado de Minas Gerais. **Projeto Padrão escolar SC/98**. Arquivo digital dwg;

Horizontes Arquitetura e Urbanismo. **Projeto de implantação da Escola Estadual Norberto de Almeida Rocha**, Rio Pardo de Minas, MG. Arquivos digitais extensão dwg e jpg;

Horizontes Arquitetura e Urbanismo. **Projeto da Escola Dom Bosco**, Juiz de Fora MG. Arquivo digital extensão dwg;

Documentos em meio eletrônico

Novas Escolas, Padrão FDE. Fundação para o Desenvolvimento da Educação, Estado de São Paulo. Disponível em: <www.fde.sp.gov.br/PagesPublic/InternaProgProj.aspx?contextmenu=novaesc>. Acesso agosto de 2012;

Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais. Disponível em: <www.educacao.mg.gov.br/>. Acesso agosto de 2012;

GUERRA, Abilio. **Arquitetura e Estado no Brasil**. Revista Vitruvius. Disponível em: <www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/06.064/420>; Acesso agosto de 2012;

ANELLI, Renato Luiz Sobral. **Centros Educacionais Unificados: arquitetura e educação em São Paulo (1)**. Revista Vitruvius. Disponível em: <www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.055/517>; Acesso agosto de 2012;

SALOMON, Maria Helena Röhe. **Programa Favela-Bairro: construir cidade onde havia casa. O caso de Vila Canoa**. Revista Vitruvius. Disponível em: <www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/06.064/429>; Acesso agosto de 2012;

GIMENEZ, Luis Espallargas. **As quatro escolas do FDE em Campinas**. Revista Vitruvius. Disponível em: <www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/06.064/422>; Acesso agosto de 2012;

FDE-Escola Varzea Paulista. Disponível em: <www.archdaily.com.br/19508/fde-escola-varzea-paulista-fgmf/>; Acesso agosto de 2012;

Fotos **Escola Estadual Norberto de Almeida Rocha**. Governo do Estado de Minas Gerais. Disponível em: <www.flickr.com/photos/governo_de_minas_gerais/5730399732/in/photostream/> e <http://www.flickr.com/photos/governo_de_minas_gerais/5730399892/in/photostream/>. Acesso agosto de 2012;