

JOÃO FERNANDES JÚNIOR

**APLICAÇÃO DE PROCESSO DE ETIQUETAGEM A EDIFICAÇÃO ESCOLAR
PADRÃO DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Monografia apresentada à Banca Examinadora do Curso de Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído do Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para a obtenção do título de Especialista
Orientador: Prof. Roberta Vieira Gonçalves de Souza

Universidade Federal De Minas Gerais Escola De Arquitetura

Belo Horizonte - Brasil

2012

FICHA CATALOGRÁFICA

F363a

Fernandes Júnior, João.

Aplicação de processos de etiquetagem à Edificação Escolar Padrão do estado de Minas Gerais [manuscrito] / João Fernandes Júnior. - 2012. 49 f. : il.

Orientadora: Roberta Vieira Gonçalves de Souza.

Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Escolas – Edifícios – Belo Horizonte (MG). 2. Conforto térmico. 3. Edifícios – Engenharia ambiental – Belo Horizonte (MG). 4. Qualidade ambiental. 5. Normas técnicas (Engenharia). I. Souza, Roberta Vieira Gonçalves de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 720.47

RESUMO

O presente trabalho segue uma abordagem conforme o Método Indutivo, dado que partindo de dados particulares chega-se a uma verdade geral: a Certificação da Edificação Escolar Padrão 3 Pavimentos (PE-3Pav) do Departamento de Obras Públicas do Estado de Minas Gerais (DEOP-MG). O procedimento monográfico aqui presente consiste na aplicação do Método Prescritivo para etiquetagem do sistema de envoltórias da edificação com base no Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), bem como a verificação e adequação aos níveis de desempenho da NBR 15575, partes 1, 4 e 5.

Palavras-chave: Edificação Escolar Padrão, Desempenho Térmico, Etiquetagem, RTQ-C, NBR 15575

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 PROBLEMA	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.3 JUSTIFICATIVA	15
1.4 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA	16
2 CONCEITOS GERAIS	18
2.1 PADRÕES ESCOLARES	18
2.2 NBR 15575.....	23
2.3 RTQ-C: REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS	26
3 DESENVOLVIMENTO	30
3.1 PE-3PAV: NOVA ARQUITETURA.....	30
3.2 PE-3PAV: ESTUDO DAS ENVOLTÓRIAS.....	32
TRANSMITÂNCIAS PAREDES.....	33
TRANSMITÂNCIAS COBERTURAS	35
ABSORTÂNCIAS PAREDES	36
ABSORTÂNCIAS COBERTURAS	37
3.3 PE-3PAV: PROCESSO DE ETIQUETAGEM	37
4 RESULTADOS.....	40
5 CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS.....	42
APÊNDICE A – PROJETO ARQUITETÔNICO	44
APÊNDICE B – BRISES DE PROTEÇÃO SOLAR	46

APÊNDICE C – TRANSMITÂNCIAS TÉRMICAS.....	48
APÊNDICE D – ABSORTÂNCIA SOLAR	51
APÊNDICE E – VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DO ICENV	53
APÊNDICE F – EQUAÇÕES E CÁLCULO DO ICENV	58

1 INTRODUÇÃO

A Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais apresenta unidades padrões de edificações escolares para a construção das novas escolas que são cotidianamente edificadas em todo o Estado de Minas Gerais. Em razão da obsolescência frente às normas construtivas vigentes e da necessidade de adequação aos novos e contemporâneos moldes do sistema educacional, os Padrões Escolares existentes estão passando por um processo de revisão e adequação dos projetos, lançando novíssimas possibilidades às futuras Escolas Estaduais mineiras.

1.1 Problema

Arquitetar uma edificação é dotá-la de conceitos que fazem uma adequada relação dela com o meio em que está inserida, situação esta que se perde ao se adotar um projeto de edificação padrão. A padronização de uma edificação escolar a ser multiplicada por todo um Estado é uma solução que demanda alternativas que venham a viabilizar e minimizar eventuais problemas de adaptação a climas e terrenos diversos.

Para o Governo de Minas Gerais, o projeto de uma edificação padrão implica em vantagens quanto aos processos de construção, licitação e viabilização do edifício, dado que possibilita uma maior agilidade nos mencionados processos. Assim sendo escolas, centros de saúde, penitenciárias ou delegacias setoriais apresentam projetos padrão que se multiplicam por todo o Estado.

Minas Gerais é um estado de consideráveis proporções, possui 7 das 8 Zonas Bioclimáticas segundo a NBR15220-3, e, evidentemente uma escola implantada na cidade de Montes Claros apresenta distintas necessidades daquela que a ser implantada em Maria da Fé no sul do Estado; municípios com microclimas contrastantes e contrários. O comportamento térmico da edificação padrão deve ser capaz de suportar os contrastes e proporcionar condições de conforto ideal a seus usuários.

1.2 Objetivos

Este trabalho toma como meta o estudo do Projeto Padrão Escolar 3 Pavimentos (PE-3Pav), um dos Padrões Escolares da Secretaria da Educação, de modo a garantir sua adequada implementação por toda Minas Gerais frente as variações climáticas existentes e adequado atendimento à NBR15575 (Edifícios Habitacionais – Desempenho, partes 1 a 6, ABNT-CB02) que entrará em vigor no próximo ano (segundo o jornal virtual <https://paraconstruir.wordpress.com>) a meta é que o Projeto Padrão seja realmente aplicável e eficiente enquanto arquitetura. Uma vez que o projeto ainda não está finalizado, as ponderações e resultados obtidos poderão ser apropriadas nas soluções adotadas na arquitetura, realmente contribuindo para a concretização dos resultados pretendidos.

Buscando um marco que represente e apure os conceitos aplicados no projeto, o PE-3Pav será ainda submetido ao processo de Etiquetagem Nacional de Conservação de Energia (ENCE) do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) segundo a regulamentação do RTQ-C: Requisitos Técnicos de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. A meta é atingir a etiqueta parcial de envoltória nível A para a totalidade dos municípios mineiros.

O objetivo desta pesquisa é então alcançar uma arquitetura de qualidade, que atenda as condicionantes de desempenho com reconhecida eficiência energética traduzida no projeto de um edifício que além de ter a função de produzir o conhecimento venha a ser traduzido como uma ideal manifestação do conhecimento devidamente aplicado.

1.3 Justificativa

Segundo a Eletrobrás, “no Brasil o consumo de energia elétrica nas edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas, é bastante significativo. A tendência de crescimento estimada é ainda maior, devido à estabilidade da economia, aliada a uma política de melhor distribuição de renda. Isto permite o acesso da população aos confortos proporcionados pelas novas tecnologias. Soma-se a isto, a elevada taxa de urbanização e a expansão do setor de serviços. Calcula-

se que quase 50% da energia elétrica produzida no país sejam consumidas não só na operação e manutenção das edificações, como também nos sistemas artificiais, que proporcionam conforto ambiental para seus usuários, como iluminação, climatização e aquecimento de água.” (fonte: <http://www.elektrobras.com/elb/procel/main.asp?TeamID=%7BA8468F2A-5813-4D4B-953A-1F2A5DAC9B55%7D>)

A necessidade de se repensar o consumo e a demanda energética são assuntos recorrentes na mídia nos dias atuais: consciência e coerência deixaram de ser apenas atitudes humanas e vem se tornando atitudes legais a serem seguidas e respeitadas com o advento da Norma Brasileira de Desempenho NBR15575 ou a Norma Brasileira de Desempenho Térmico das Edificações, NBR 15220 (Desempenho Térmico de Edificações, Rio de Janeiro, ABNT, 2003). O processo de certificação e etiquetagem do consumo de energia apresenta proporções globais com os renomados sistemas LEED, AQUA, BREEAM e HQE dentre outros. A certificação configura-se como medida atrativa que vem incrementando e polarizando o mercado da construção civil. No Brasil, o Programa Brasileiro de Etiquetagem PBE, do INMETRO em parceria com a ELETROBRÁS, a muito conhecido pela etiquetagem de eletrodomésticos, vem desde 2009 lançando vertentes neste setor: em novembro de 2012, já há 44 edificações etiquetadas de acordo com o RTQ-C (<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabelas-comerciais.pdf>). O fazer arquitetônico atual adquiriu novos horizontes na medida em que o ato de projetar deve absorver as contemporâneas demandas de consciência ambiental.

O presente trabalho vem revelar um estudo de caso arquitetônico: uma edificação padrão para escolas públicas no estado de Minas Gerais, cuja meta é a obtenção de um projeto que apresente um bom comportamento frente as adversidades climáticas das diversas cidades e zoneamentos bioclimáticos em que vier a ser implantada.

1.4 Estrutura da Monografia

Esta Monografia acolhe, no Capítulo 2, uma explanação sobre os Padrões Escolares hoje edificados no Estado de Minas Gerais e uma exploração do

referencial de literatura normativo NBR15575 (ABNT, 2008) e RTQ-C (BRASIL, 2010; BRASIL, 2012).

O Capítulo 3 traz o desenvolvimento do trabalho: apresenta um novo projeto de Padrão Escolar, transcreve as escolhas de projeto avaliadas, estudadas e efetivadas de modo a obter uma edificação com melhor características térmicas em Minas Gerais, características estas que serão claramente evidenciadas junto ao Capítulo 4: Resultados, e, criticamente avaliados no Capítulo 5: Conclusão.

Nos Apêndices estão presentes materiais complementares de forma a fundamentar, comprovar e ilustrar todo o conteúdo que fora exposto no corpo principal deste trabalho.

2 CONCEITOS GERAIS

2.1 Padrões Escolares

O Estado de Minas Gerais é o quarto maior estado brasileiro, concentra 853 municípios e uma população que excede os 19 milhões de habitantes segundo o Censo 2010 (<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=31&dados=1>). A educação em Minas Gerais é eventualmente motivo de orgulho dos seus gestores, particularmente da Secretaria de Estado de Educação (SEE), setor responsável pelo planejamento, direção, execução e controle das ações setoriais educacionais em todo o Estado: em 2011 o IDEB (Índice de Desenvolvimento da Educação Básica) colocou Minas como primeira colocada nacional, com índices equiparados a países desenvolvidos. (<https://www.educacao.mg.gov.br/imprensa/noticias/3392-ideb-2011-minas-gerais-tem-a-melhor-educacao-basica-do-pais>).

A SEE aponta estatísticas consideráveis: “Do total de aproximadamente cinco milhões de alunos da educação básica em Minas Gerais, 4,7 milhões (90%) estudam em escolas públicas. Na rede estadual de ensino estão matriculados 2,4 milhões de alunos – 1,3 milhão matriculados no ensino fundamental e 719 mil no ensino médio. Os outros estudantes – aproximadamente 300 mil – estão matriculados no Programa de Ensino Profissionalizante (PEP) e na Educação de Jovens e Adultos (EJA). Em relação ao número de escolas, são 3.762 (Censo Escolar 2011) unidades escolares, presentes em 851 dos 853 municípios, que oferecem ensino fundamental e médio. O Estado tem o maior número de escolas de ensino fundamental (1ª a 9ª série) e foi o primeiro Estado do país, a assegurar, a partir de 2004, o ingresso de crianças aos seis anos na escola” (SEE 2012).

A SEE é parte de um órgão governamental, e, como tal, é regida pela lei 8.666, de 21 de junho de 1993, que estabelece normas para licitações e contratos da Administração Pública. Em Minas Gerais há um setor especial para gerir, fiscalizar e executar as obras públicas de todo o estado, o DEOP-MG: Departamento de Obras Públicas do Estado de Minas Gerais, que, conseqüentemente vem a lidar diretamente com a Secretaria de Estado da Educação e demais secretarias do governo, como por exemplo a Secretaria de Estado da Saúde ou a Secretaria de Estado de Defesa Social.

Visando atender as demandas da Educação Estadual, o DEOP e a SEE há anos trabalham juntos na promoção da educação, seja na aquisição de produtos, seja na construção de novas edificações ou eventuais reformas e processos de *retrofit*. No intuito de se agilizar os processos construtivos e otimização de custos ao governo estadual, vieram a ser desenvolvidos inúmeros Padrões Escolares, que, são implantadas conforme as particularidades das demandas ou condicionantes locais. Um Padrão Escolar consiste numa edificação que é multiplicada inúmeras vezes pelos diversos municípios mineiros: com os projetos executivos prontos, o Estado licita apenas os projetos de implantação da futura escola, agilizando e equacionando os prazos contratuais. O orçamento da Edificação não varia, apenas sofre reajustes em função da implantação e condicionantes do terreno, o que possibilita uma gestão financeira mais viável.

A SEE possui 4 tipologias de Padrões Escolares que são multiplicadas pelas terras Mineiras:

Casa-Escola: pequena unidade normalmente implantada em zonas rurais ou indígenas em remotas localidades, caracteriza-se por pequenas dimensões e concentra no máximo 3 salas de aula com capacidade reduzida de alunos. (Figura 1)



Figura 1: Casa Escola

Fonte: DEOP/MG – outubro/2012

Padrão Escolar 4/98: edificação de 2 pavimentos e partido H este padrão acolhe tipologias que concentram 8, 10, 12, 14 e 16 salas de aula. A rigidez de sua arquitetura demanda terrenos de amplas dimensões para sua implantação, mas, apesar disso, é um dos padrões mais implantados em todo o Estado, dado que atende a uma maior demanda de alunos. (Figuras 2 e 3)



Figura 2: Padrão Escolar 4/98, E. E. Norberto de Almeida Rocha, Rio Pardo de Minas, MG
Fonte: DEOP/MG – outubro/2012



Figura 3: Padrão Escolar 4/98, E.E. Monsenhor João Florisval Montalvão, Januária, MG
Fonte: DEOP/MG – outubro/2012

Padrão 5/2000: edificação modular de apenas um pavimento e blocos autônomos que se associam livremente de modo formar uma escola conforme demanda local. Sua arquitetura possibilita maior flexibilidade de implantação em terrenos acidentados. Capacidade limitada a 7 salas de aula (Figura 4).



Figura 4: Padrão Escolar 5/2000, E.E. Prof. Batistinha, Januária, MG

Fonte: DEOP/MG – outubro/2012

Padrão 3 Pavimentos: partido longitudinal, esta edificação de 3 pavimentos acolhe um total de 12 salas de aula. Trata-se de um modelo menos implantado dado que seu projeto atual não possui uma equação saudável entre o plano de necessidades e o orçamento da construção, tornando muitas vezes inviável a implantação da mesma. (Figuras 5 e 6)



Figura 5: Escola Padrão 3 Pavimentos, E.E. Jardim Ipê, Governador Valadares, MG
Fonte: DEOP/MG – outubro/2012



Figura 6: Escola Padrão 3 Pavimentos, E.E. Jardim Ipê, Governador Valadares, MG
Fonte: DEOP/MG – outubro/2012

Além das Edificações dos núcleos didáticos, há ainda tipologias para Quadra Poliesportiva Coberta e Vestiários, que, associados ao Padrão irão gerar uma Escola Completa.

Os projetos dos Padrões Escolares da SEE vieram a ser desenvolvidos em momentos variados, logo, acabaram por se tornar obsoletos frente às demandas educacionais e atendimento às normas vigentes. Como exemplo pode-se mencionar o Padrão 4/98: projetado inicialmente em 1998, em 2005 veio a sofrer revisão por

conta de alterações nas normas de determinados padrões construtivos e, hoje, encontra-se obsoleto quanto às questões de acessibilidade universal ou aos novos métodos de aprendizagem – em 1998 não se pensava que as aulas seriam ministradas com computadores ou mídias digitais. Assim sendo, em 2012, DEOP e SEE resolveram promover uma atualização e revisão dos seus Padrões Escolares visando compatibilizar as mudanças no ambiente escolar com as necessidades contemporâneas da escola para o exercício de uma educação de qualidade, tornando a escola não apenas um espaço que alunos habitam e frequentam sistematicamente, mas sim um ambiente pleno e integrado à sua formação acadêmica e social.

2.2 NBR 15575

Em 2013 está previsto para entrar em vigor a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15575 - Desempenho Térmico e Luminoso de Edifícios - documento que vem a tratar das questões de desempenho das edificações residenciais com base no conforto e exigências dos usuários quanto ao sistemas nele presentes, independente dos materiais empregados.

Os requisitos e critérios avaliados para o conforto dos usuários são Segurança, Habitabilidade, Sustentabilidade e Nível de Desempenho. Apesar da Norma estar direcionada para edificações de uso residencial, servirá de base e referência para este estudo monográfico de edificação educacional uma vez que ainda não há outro referencial normativo.

A parte 1 da Norma, que traz os Requisitos Gerais, vem a tratar dentre várias temáticas, do Desempenho Térmico da Edificação: uma edificação deve considerar o zoneamento bioclimático a que pertence, atendendo aos requisitos do mesmo em conformidade com a NBR15220-3 os requisitos a serem atendidos pela norma 15.220 são diferentes da NBR 15.575 e portanto o que deve-se seguir é o zoneamento mas não os requisitos térmicos . Na NBR 15.575 o atendimento aos requisitos pode se dar de forma Normativa, por Simulação Computacional e por Medição em protótipos construídos. O objetivo é que a edificação atinja no mínimo, dentre os desempenhos possíveis (Mínimo, Intermediário e Superior), o

desempenho Mínimo. Assim sendo, o método utilizado neste trabalho para avaliação dos requisitos desta Norma será o procedimento Simplificado Normativo, que deverá avaliar limites de transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT) e absorvância térmica (α), que devem ser inferiores aos máximos definidos pela norma para desempenho mínimo, assim como as áreas mínimas para ventilação e sombreamento é requisito para quartos na NBR 15575.

Segundo a NBR15575-4, as vedações verticais externas devem apresentar um desempenho térmico mínimo para o ideal conforto dos usuários. Para que este conforto seja atingido é necessário o atendimento à índices em conformidade com a Tabela 1, na próxima página.

Como a norma não é direcionada aos edifícios de uso educacional, as áreas de iluminação e ventilação exigidas pela norma não se aplicam. O projeto concebido para o edifício escolar aqui estudado seguiu normas específicas da Secretaria de Estado de Educação para a definição destes parâmetros, que, tomou como base, o Código de Edificações de Belo Horizonte.

Tabela 1: Comportamento Térmico das Vedações Externas segundo NBR15575

Transmitância térmica U W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
^a α é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Fonte: Extraído da NBR 15575-4

Para o sistema de coberturas da edificação, a NBR15575-5 determina parâmetros a serem seguidos conforme a Tabela 2 abaixo:

Tabela 2: Comportamento Térmico das Coberturas segundo NBR15575

Transmitância térmica (U) W/m ² K				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
U ≤ 2,30	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FV	U ≤ 1,5 FV
α é absorvância à radiação solar da superfície externa da cobertura. NOTA O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-2.				

Fonte: Extraído da NBR 15575-5

A Tabela 2 traz as absorvâncias e transmitâncias limites com base numa nova variável, o Fator de Ventilação, que seria estipulado pela NBR15220, onde não consta qualquer menção a tal variável. Como a NBR15575 está em processo de finalização e revisões esta questão não será avaliada.

2.3 RTQ-C: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

O RTQ-C é um procedimento que a Eletrobrás em conjunto com o INMETRO veio a desenvolver para a etiquetagem de edifícios no sistema Procel; ele especifica os requisitos técnicos, bem como os métodos para classificação de edificações comerciais, públicas ou de serviços quanto à sua eficiência energética, numa escala gráfica conforme a figura 7. Existem cinco níveis de eficiência obtidos, que variam de A (mais eficiente) a B, C, D e E (menos eficiente).



Figura 7: Níveis de Eficiência das Edificações segundo RTQ-C

Fonte: extraído do Manual do RTQ-C

O Regulamento esclarece que deve ser considerado um desafio a procura efetiva por níveis mais elevados de eficiência energética das edificações. O RTQ-C analisa três distintos sistemas do edifício para que o mesmo venha a ser etiquetado com uma etiqueta global do edifício: Envolvória, Iluminação e Condicionamento de Ar. Os sistemas podem ser analisados em separado a fim da obtenção de uma etiqueta parcial de cada sistema, devendo a envoltória ser sempre etiquetada. Além da análise dos mencionados sistemas, o RTQ permite pontuação extra na classificação geral da edificação por bonificações quando o edifício faz uso de energia solar, uso racional de água ou sistemas de cogeração de energia.

Assim como a NBR 15575 o RTQ coloca pré-requisitos obrigatórios aos sistemas analisados. Independente dos sistemas a serem avaliados, a edificação objeto de estudo deve apresentar uma metragem mínima de 500 metros quadrados de área útil e, particularmente ao sistema de Envolvórias, estabelecem-se como pré-requisitos, valores mínimos de Transmitância Térmica (U) e máximos de Absortância (α), e no caso das paredes há pré-requisitos relativos à Capacidade Térmica (CT) para as ZBs 7 e 8, conforme Tabelas 3 e 4, em função do Zoneamento Bioclimático e Níveis de Eficiência Energética.

Tabela 3: Requisitos de Transmitância Térmica de Paredes Externas para distintos Níveis de Eficiência Energética e Zonas Bioclimáticas

Zonas Bioclimáticas	$U_{PAR A}$ (W/m ² K)	$U_{PAR B}$ (W/m ² K)	$U_{PAR C e D}$ (W/m ² K)
ZB 1 e 2	1,0	2,0	3,7
ZB 3 a 6	3,7		
ZB 7 e 8	2,5 W/m ² K, para $C_T < 80$ kJ/m ² K		
	3,7 W/m ² K, para $C_T > 80$ kJ/m ² K		

Fonte: extraído do Manual do RTQ-C

Tabela 4: Requisitos de Transmitância Térmica de Coberturas para distintos Níveis de Eficiência Energética e Zonas Bioclimáticas

Zonas Bioclimáticas	$U_{COB A}$ (W/m ² K)		$U_{COB B}$ (W/m ² K)		$U_{COB C e D}$ (W/m ² K)	
	Ambientes Condicionados	Ambientes não condicionados	Ambientes Condicionados	Ambientes não condicionados	Ambientes Condicionados	Ambientes não condicionados
ZB 1 e 2	0,5	1,0	1,0	1,5	2,0	
ZB 3 a 8	1,0	2,0	1,5	2,0		

Fonte: extraído do Manual do RTQ-C

Uma vez calculados e conhecidos os pré-requisitos, para se proceder à determinação do nível de Eficiência Energética do edifício é preciso calcular o ICenv: Índice de Consumo da Envoltória. Cada Zoneamento Bioclimático apresenta duas distintas equações para o cálculo de ICenv; a escolha da equação a ser aplicada tem como base a área de projeção da edificação (Ape), para valores inferiores ou superiores a 500m². O cálculo de ICenv leva em consideração uma série de variáveis que considera a forma do edifício, distintas áreas e parâmetros, metragens e conceitos vastamente explorados no RTQ-C. Abaixo estão elucidadas, resumidamente, as variáveis aplicadas as variadas equações de ICenv:

- ICenv: Indicador de Consumo da envoltória (adimensional);
- Ape: Área de projeção do edifício (m²);
- Atot: Área total construída (m²);
- Aenv: Área da envoltória (m²);

- Apcob: Área de projeção da cobertura (m²);
- AVS: Ângulo Vertical de Sombreamento;
- AHS: Ângulo Horizontal de Sombreamento;
- FF: Fator de Forma, (Aenv/ Vtot);
- FA: Fator Altura, (Apcob/ Atot);
- FS: Fator Solar;
- PAFt: Percentual de Abertura na Fachada total (adimensional);
- PAFo: Percentual de Abertura na Fachada Oeste (adimensional);
- Vtot: Volume total da edificação (m³).

Uma vez obtido o indicador de Consumo (ICenv) da edificação, refaz-se os cálculos com uma revisão de valores (Tabela 5) para a obtenção de ICmax (Indicador de Consumo Máximo) e ICmin (Indicador de Consumo Mínimo).

Tabela 5: Parâmetros do ICmax e ICmin

Parâmetros do ICmax				Parâmetros do ICmin			
PAFt	FS	AVS	AHS	PAFt	FS	AVS	AHS
0,60	0,61	0	0	0,05	0,87	0	0

Fonte: elaborado pelo autor com base no Manual do RTQ-C

Os limites ICmax e ICmin representam o intervalo dentro do qual a edificação proposta deve se inserir. O intervalo é dividido em 4 partes (i), cada parte se refere a um nível de classificação numa escala de desempenho que varia de A a E. Assim, com i calculado, calculam-se os limites para cada nível, de acordo com as equações fornecidas na Figura 8 e obtem-se, finalmente, a classificação da edificação quando se comparar o ICenv obtido anteriormente.

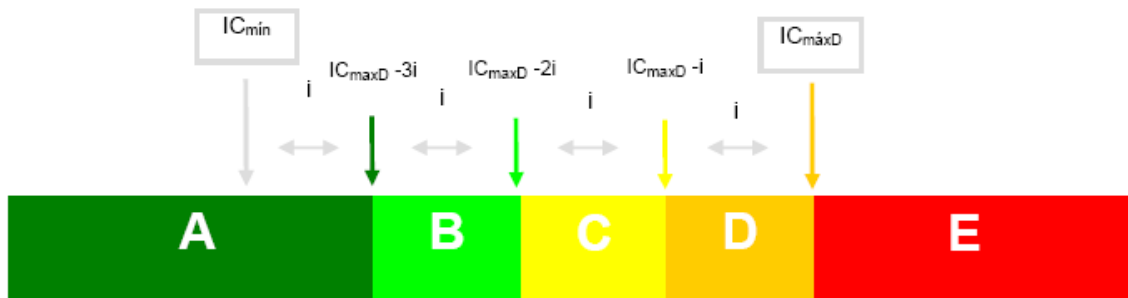


Figura 8: Limites dos intervalos dos Níveis de Eficiência
Fonte: extraído do Manual do RTQ-C

Calcular o IC_{env} permite desenvolver envoltórias mais eficientes na medida em que geram um menor impacto no consumo e desempenho da edificação. Há que salientar que há outras considerações importantes no processo de cálculo:

- Se $AHS > 45^\circ$, usa-se $AHS=45^\circ$
- Se $AVS > 45^\circ$, usa-se $AHS=45^\circ$
- Se $PAFo > 1,2PAFt$, usa-se $PAFo$
- Se $A_{pe} < 500m^2$ e $FF < FF_{max}$, usa-se FF
- Se $A_{pe} < 500m^2$ e $FF > FF_{max}$, usa-se FF_{max}
- Se $A_{pe} > 500m^2$ e $FF < FF_{min}$, usa-se FF_{min}
- Se $A_{pe} > 500m^2$ e $FF > FF_{min}$, usa-se FF
- O Fator de Forma (FF) apresenta distintos valores de FF_{min} e FF_{max} segundo a Área de Projeção da Edificação (A_{pe}) e o Zoneamento Bioclimático em que está inserida a edificação, conforme ilustrado no Quadro 1:

Quadro 1: Limites de Fator de Forma por Zona Bioclimática

Zona Bioclimática	$A_{pe} < 500m^2$	$A_{pe} > 500m^2$
	Fator de forma máximo	Fator de forma mínimo
1	0,60	0,17
2 e 3	0,70	0,15
4 e 5	0,75	Livre
6 e 8	0,48	0,17
7	0,60	0,17

Fonte: extraído do Manual do RTQ-C

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 PE-3Pav: Nova Arquitetura

Dentre os Padrões Escolares do Estado de Minas Gerais já previamente identificados o estudo será focado sobre o Padrão Escolar 3 Pavimentos. O novo projeto do Padrão PE-3Pav trabalhou uma arquitetura também com partido longitudinal assim como sua antiga versão. Visando um atendimento mais versátil da demanda o projeto acolhe distintas capacidades de alunos: se edificado apenas o Módulo Principal acolhe um total de 10 Salas de Aula; se acrescido pelo Módulo Ampliação, a capacidade aumenta em duas Salas de Aula e um Laboratório. O Primeiro Pavimento concentra o setor administrativo, recreio coberto, cozinha e áreas de serviços. Os pavimentos superiores se dedicam as atividades didáticas propriamente ditas: o Segundo Pavimento acolhe 4 Salas de Aula, Biblioteca e Laboratório de Informática e o Terceiro Pavimento apresenta outras 6 Salas de Aula e Laboratório. A interligação entre os pavimentos se dá por uma solução agrupada de rampas e escadas que fazem o fluxo entre os pavimentos de forma mais fluida e livre. Áreas técnicas, sanitários e prumadas hidráulicas num único bloco geram uma inteligente solução para a distribuição das instalações e tubulações. No **Apêndice A** pode ser conferido o Projeto Arquitetônico da edificação.

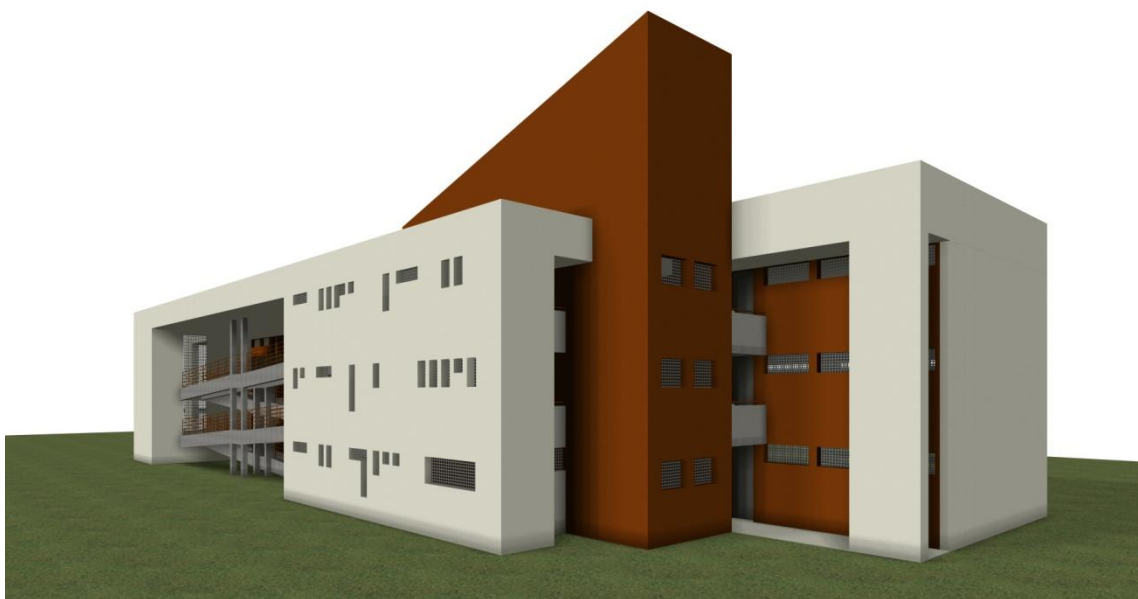


Figura 9: Simulação do novo Padrão PE-3Pav
Fonte: Elaborado pela empresa Grupo Arquitetos e Urbanistas Ltda.



Figura 10: Simulação do novo Padrão PE-3Pav
Fonte: Elaborado pela empresa Grupo Arquitetos e Urbanistas Ltda.



Figura 11: Fachada Crítica do PE-3Pav
Fonte: Elaborado pela empresa Grupo Arquitetos e Urbanistas Ltda.

A edificação buscou usufruir dos recursos naturais disponíveis, objetivando uma arquitetura que trouxesse uma maior Eficiência Energética e um comportamento térmico ideal para seus usuários. Iluminação Natural foi buscada através da utilização de amplas aberturas. Ventilação Natural cruzada nos núcleos didáticos será uma constante, dadas aberturas posicionadas em paredes opostas, oferecendo uma ideal troca do ar interno. Fez-se uso de mecanismos de Gestão e Economia de Água: serão utilizados sistemas de descarga com caixa embutida e torneiras de acionamento automático com temporizador. Haverá Aproveitamento das

Águas Pluviais: captadas pelas coberturas as águas serão conduzidas a um reservatório inferior para a irrigação de jardins e higienização dos pátios. A Iluminação Artificial será projetada de maneira a agir de forma complementar à iluminação natural, com linhas de comando independentes e paralelas às aberturas. Visando ainda a redução do consumo da energia elétrica da edificação, foi utilizado Sistema de Aquecimento Solar para a água destinada aos chuveiros dos vestiários de funcionários e cozinha.

Trabalhar com uma edificação padrão implica em não ter domínio sobre sua implantação, logo, trabalhar a insolação e ventilação do prédio segundo as condicionantes locais se torna crítico. Buscando melhorar esta situação a arquitetura do prédio propôs o uso de brises na fachada mais solicitada, de modo a reduzir a incidência solar crítica direta nos ambientes durante seus períodos de utilização. O estudo dos brises veio a considerar Minas Gerais e suas amplas dimensões: foram verificadas as opções para as latitudes 14°Sul na austral Montalvânia, até 22°Sul em Extrema, a cidade mais setentrional do Estado. Apesar da variação considerável de latitude, o estudo dos brises apresentou pouca variação para as duas cidades, assim sendo, adotou-se uma latitude média a título de padronização do padrão a ser executado. Conforme pode ser aferido no **Apêndice B**, a escolha pela quantidade de brises e sua angulação varia conforme a orientação da fachada frente aos quadrantes identificados como Norte, Sul, Leste e Oeste. Foi verificado que, em virtude da solução arquitetônica adotada, se a orientação da fachada crítica se der para o azimute de 170° a 190°, o uso dos brises está dispensado, esta economia se configura como um estímulo à adequada implantação da futura edificação.

3.2 PE-3Pav: Estudo das Envoltórias

A escolha dos materiais e componentes do PE-3Pav tomou como premissa o uso de materiais simples, de conhecimento apropriado e difundido e que estivessem de acordo com os Pré-Requisitos estabelecidos pelo RTQ-C e NBR15575. Desta forma, entender e controlar o comportamento térmico das envoltórias da edificação é a condicionante inicial a ser estabelecida neste estudo de etiquetagem proposto. As Tabelas 6 e 7 abaixo vem a transcrever o comportamento térmico desejado para as

envoltórias da edificação conforme os zoneamentos bioclimáticos. Para tanto estão sendo considerados a Transmitância Térmica (U) e a Absortância da radiação solar (α):

Tabela 6: Comportamento das Paredes Externas

ZON. BIOCL.	RTQ-C		NBR 15.225				NBR 15.220	
	U	α	U	α	U	α	U	α
ZB1	1	-	$\leq 2,5$	-	$\leq 2,5$	-	$\leq 3,00$	-
ZB2	1	-	$\leq 2,5$	-	$\leq 2,5$	-	$\leq 3,00$	-
ZB3	3,7	$\leq 0,5$	$\leq 3,7$	$\leq 0,6$	$\leq 2,5$	$> 0,6$	$\leq 3,60$	-
ZB4	3,7	$\leq 0,5$	$\leq 3,7$	$\leq 0,6$	$\leq 2,5$	$> 0,6$	$\leq 2,20$	-
ZB5	3,7	$\leq 0,5$	$\leq 3,7$	$\leq 0,6$	$\leq 2,5$	$> 0,6$	$\leq 3,60$	-
ZB6	3,7	$\leq 0,5$	$\leq 3,7$	$\leq 0,6$	$\leq 2,5$	$> 0,6$	$\leq 2,20$	-
ZB7	2,5 a 3,7	$\leq 0,5$	$\leq 3,7$	$\leq 0,6$	$\leq 2,5$	$> 0,6$	$\leq 2,20$	-

Fonte: Elaborado pelo autor com base no RTQ-C, NBR 15.225 e NBR 15220. Para o RTQ-C foram utilizados os limites para nível A e, nas demais, o desempenho mínimo exigido.

Tabela 7: Comportamento das Coberturas

ZON. BIOCL.	RTQ-C		NBR 15.225				NBR 15.220	
	U	α	U	α	U	α	U	α
ZB1	1	0,5	$\leq 2,3$	-	$\leq 2,3$	-	$\leq 2,00$	-
ZB2	1	0,5	$\leq 2,3$	-	$\leq 2,3$	-	$\leq 2,00$	-
ZB3	2	0,5	$\leq 2,3$	$\leq 0,6$	$\leq 1,5$	$> 0,6$	$\leq 2,00$	-
ZB4	2	0,5	$\leq 2,3$	$\leq 0,6$	$\leq 1,5$	$> 0,6$	$\leq 2,00$	-
ZB5	2	0,5	$\leq 2,3$	$\leq 0,6$	$\leq 1,5$	$> 0,6$	$\leq 2,00$	-
ZB6	2	0,5	$\leq 2,3$	$\leq 0,6$	$\leq 1,5$	$> 0,6$	$\leq 2,00$	-
ZB7	2	0,5	$\leq 2,3$	$\leq 0,4$	$\leq 1,5$	$> 0,4$	$\leq 2,20$	-

Fonte: Elaborado pelo autor com base no RTQ-C, NBR 15575 e NBR 15220. Para o RTQ-C foram utilizados os limites para nível A e, nas demais, o desempenho mínimo exigido.

Transmitâncias Paredes

O Padrão Escolar PE-3Pav será edificado em estrutura de concreto convencional, com vigas e pilares moldados *in loco*. Para a vedação optou-se pela utilização de tijolos cerâmicos de 19cm de espessura, revestidos externamente com reboco e pintura e, internamente, com gesso corrido aplicado diretamente sobre os tijolos, conforme Figura 12.

Com base na NBR 15220 parte 2 foram feitos os cálculos de modo a compreender o comportamento térmico das envoltórias, cálculos estes que podem ser verificados no Apêndice C. A Composição 1 (argamassa + tijolo + gesso) gerou o seguinte resultado:

Composição 1: $U_{par}=1,93 W/M^2K$

A Transmitância Térmica acima obtida, conforme indica a Tabela 6, atende a todos os Zoneamentos segundo as NBR15220 e NBR15.225, e, atende parcialmente à demanda apenas dos Zoneamentos 3 a 7 segundo o RTQ-C. A Tabela 8 ilustra este resultado de forma mais clara:

Tabela 8: Resultados dos Cálculos da Composição 1

ZON. BIOCL.	RTQ-C		NBR 15.225				NBR 15.220	
	U	α	U	α	U	α	U	α
ZB1	1	-	$\leq 2,5$	-	$\leq 2,5$	-	$\leq 3,00$	-
ZB2	1	-	$\leq 2,5$	-	$\leq 2,5$	-	$\leq 3,00$	-
ZB3	3,7	0,5	$\leq 3,7$	$\leq 0,6$	$\leq 2,5$	$> 0,6$	$\leq 3,60$	-
ZB4	3,7	0,5	$\leq 3,7$	$\leq 0,6$	$\leq 2,5$	$> 0,6$	$\leq 2,20$	-
ZB5	3,7	0,5	$\leq 3,7$	$\leq 0,6$	$\leq 2,5$	$> 0,6$	$\leq 3,60$	-
ZB6	3,7	0,5	$\leq 3,7$	$\leq 0,6$	$\leq 2,5$	$> 0,6$	$\leq 2,20$	-
ZB7	2,5 a 3,7	0,5	$\leq 3,7$	$\leq 0,6$	$\leq 2,5$	$> 0,6$	$\leq 2,20$	-

Fonte: Elaborado pelo autor com base no RTQ-C, NBR 15575 e NBR 15220. Para o RTQ-C foram utilizados os limites para nível A e, nas demais, o desempenho mínimo exigido.

Para os Zoneamentos 1 e 2 o insatisfatório resultado nos leva a criar uma nova opção de envoltória, a Composição 2, que, acrescida de um isolante feito de Madeira e Isopor será submetida a novos cálculos. Os Zoneamentos Bioclimáticos 1 e 2 tratam-se das cidades com temperaturas mais baixas, onde é desejável um maior isolamento térmico da construção. Como exemplo estão as cidades de Itajubá, São Lourenço e Poços de Caldas no Sul do Estado. A composição 2 gerou o resultado abaixo

Composição 2: $U_{par}=0,91 W/M^2K$

O resultado atende, portanto, aos requisitos dos Zoneamentos 1 e 2, que demandam valores máximos de $U=1,0 \text{ W/M}^2\text{K}$.

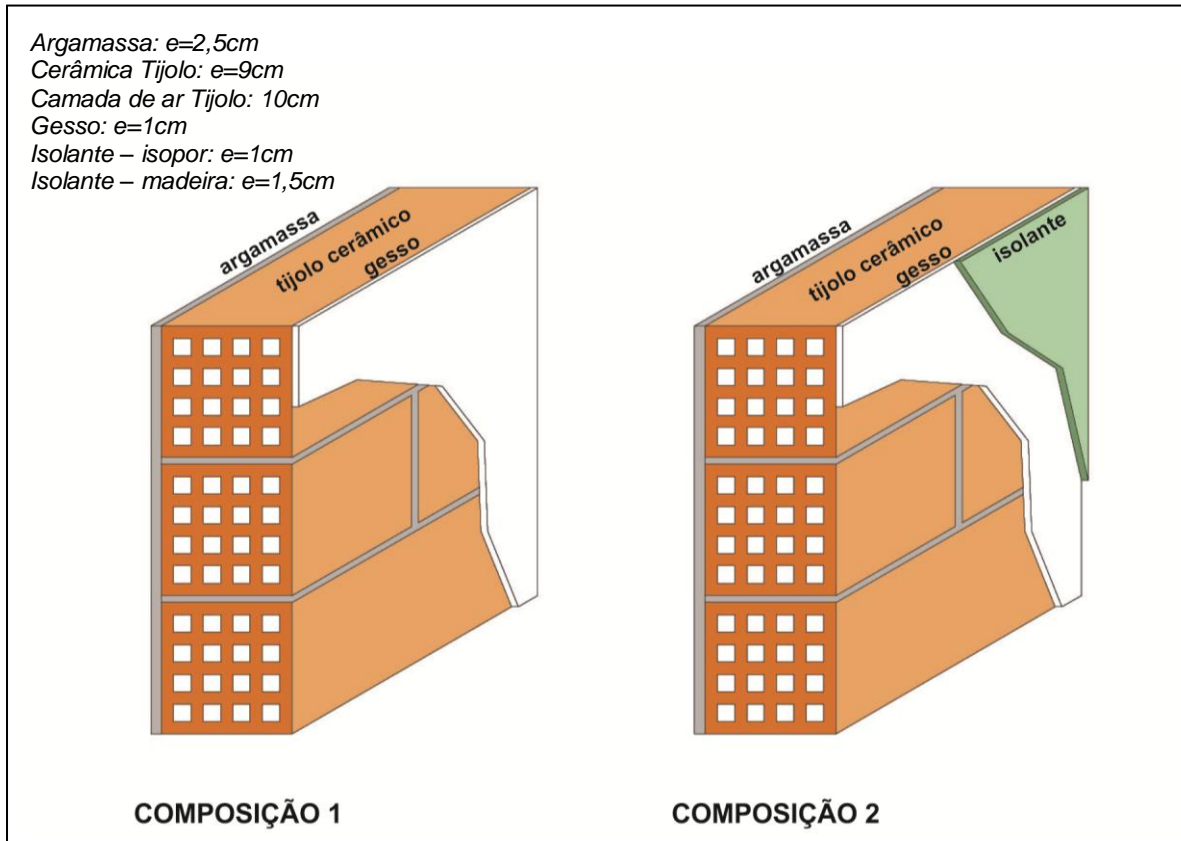


Figura 12: Composição das Paredes - Fonte: Elaborado pelo autor

O isolante proposto para os Zoneamentos 1 e 2 pode vir a se tornar de fácil e viável implantação na medida em que um painel de madeira e laminado melamínico se tornam apropriados e de bom uso a suporte das atividades didáticas como lousa ou mesmo base para fixação de cartazes. A manutenção ou substituição não requer investimentos significativos e pode facilmente ser apropriado pela escola.

Transmitâncias Coberturas

Uma vez conhecido o comportamento térmico das paredes externas, procedimento semelhante deve ser feito para as coberturas da edificação. As coberturas do PE-3Pav serão de laje maciça de concreto revestidas com gesso

corrido na face interna. Acima da laje, colchão de ar e telhado com telhas tipo sanduíche (núcleo didático) e telhado de fibrocimento (bloco de circulação e sanitários), conforme pode ser verificado no Projeto Arquitetônico no Apêndice A. Procedidos os devidos cálculos (Apêndice C) obtêm-se:

$$U_{cob}=0,91 \text{ W/M}^2\text{K (valor médio)}$$

Comparando o valor da Transmitância obtida para o sistema de coberturas com os pré-requisitos ilustrados na Tabela 7, verifica-se que a edificação atende satisfatoriamente a todos os zoneamentos bioclimáticos do estado de Minas Gerais.

Absortâncias Paredes

O Padrão Escolar PE-3Pav vem trabalhando traçados característicos da arquitetura contemporânea, com a escala imponente de uma associação de volumes que juntos compõe um todo harmônico e equacionado. As materialidades eleitas levaram em consideração sua durabilidade, manutenibilidade e capacidade de reposição. As alvenarias serão revestidas em textura acrílica, nas cores palha em maior proporção, cinza médio e terracota. Concreto Aparente estará presente nos brises horizontais e alguns elementos estruturais como pilares e rampas.

Conhecidas as materialidades empregadas, para a obtenção dos valores de α seriam necessários proceder aos ensaios em laboratório especializado, o que não se aplicou neste trabalho acadêmico. Assim sendo, foram utilizados valores conhecidos de α (absortância) obtidos no banco de dados do Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética no Ambiente Construído (LABCON) da Escola de Arquitetura da UFMG e na Tabela B2, Anexo B, Parte 2 da NBR15220-3. O Apêndice D evidencia os cálculos envolvidos para a obtenção de α , que, satisfatoriamente, gerou o resultado elucidado abaixo:

$$\alpha_{par}=0,41 \text{ (valor médio)}$$

Constata-se, portanto, que a absorptância obtida para o PE-3Pav é satisfatório aos pré-requisitos de todos os zoneamentos bioclimáticos de Minas Gerais, conforme evidenciado na Tabela 6.

Absortâncias Coberturas

O satisfatório resultado de α obtido para as vedações verticais também se repete para as coberturas, conforme pode ser verificado no Apêndice D. Apesar do Fibrocimento possuir uma alta absorptância dada sua cor escura e mesmo escurecimento com o tempo, a área do mesmo é muito inferior à Telha Tipo Sanduiche utilizada no núcleo didático, onde o Alumínio Natural externo oferece bons índices para o balanço final abaixo indicado:

$$\alpha_{cob}=0,31 \text{ (valor médio)}$$

Conforme verificado junto à Tabela 7, o índice obtido atende aos pré-requisitos de todos os zoneamentos bioclimáticos do Estado.

3.3 PE-3Pav: Processo de Etiquetagem

O processo de etiquetagem do Padrão Escolar PE-3Pav será sob a ótica do Método Prescritivo do RTQ-C aplicado sobre o Sistema de Envoltórias, buscando uma etiquetagem parcial da edificação dados que não serão analisados Iluminação Natural ou Condicionamento de Ar. As bonificações possíveis presentes na edificação (aquecimento solar, sistemas de uso racional de água, reaproveitamento de águas pluviais) também não serão considerados na pontuação da ENCE.

Etiquetar a envoltória de uma edificação é premiar aquelas que melhor contribuem para o comportamento térmico da edificação, reduzindo seu consumo energético. As envoltórias analisadas, paredes externas e coberturas, seguirão o passo a passo exposto no RTQ-C, uma vez já atendidos previamente os requisitos

de Transmitância Térmica, Absortância e metragem mínima (500m²). Por se tratar de uma edificação padrão com possibilidades de implantação em todos os sete zoneamentos bioclimáticos do estado de Minas Gerais, serão aplicados os cálculos dos Índices de Consumo da Envoltória (ICenv) de todos estes zoneamentos. Além disso, saliente-se que foi considerada a pior orientação solar da edificação para os procedimentos de cálculo: a fachada mais envidraçada voltada para o oeste.

O procedimento inicial do processo de etiquetagem implica em conhecer e reconhecer as variáveis aplicáveis nas equações do ICenv. Conforme transcrito no item 2.3 deste trabalho, as variáveis estão abaixo elucidadas no Quadro 2 e, o Apêndice E, traz as memórias e cálculos referenciais.

Quadro 2: Variáveis aplicáveis às equações de ICenv

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	VALOR	UNID.
Ape	Área de projeção do edifício	513,77	m ²
Atot	Área total construída	1.541,31	m ²
Aenv	Área da envoltória	1.652,28	m ²
Apcob	Área de projeção da cobertura	513,77	m ²
AVS	Ângulo Vertical de Sombreamento	41,33	-
AHS	Ângulo Horizontal de Sombreamento	23,89	-
FF	Fator de Forma	0,38	-
FA	Fator Altura	0,33	-
FS	Fator Solar	0,87	-
PAFt	Percentual. de Abertura na Fachada total	0,19	-
PAFo	Percentual de Abertura na Fachada Oeste	0,16	-
Vtot	Volume total da edificação	4.392,73	m ³

Fonte: Elaborado pelo autor

Uma vez conhecidas as todas as variáveis, o cálculo do ICenv pode ser devidamente procedido para a obtenção da Etiqueta Parcial da Escola Padrão. Minas Gerais apresenta 7 dos 8 Zoneamentos Bioclimáticos estabelecidos pela NBR 15220-3. O Quadro 3 transcreve as equações utilizadas para o cálculo do ICenv segundo RTQ-C para edificações com Ape superior a 500 m². No Apêndice F estão contidas as planilhas utilizadas para o cálculo de ICenv.

Quadro 3: Zoneamentos Bioclimáticos e Equações de ICenv

ZONEAMENTO	EQUAÇÃO DE ICenv
ZB1	$10,47FA + 298,74FF + 38,41PAFt - 1,11FS - 0,11AVS + 0,24AHS - 0,54PAFt.AHS + 47,53$
ZB2 / ZB3	$- 14,14FA - 113,94FF + 50,82PAFt + 4,86FS - 0,32AVS + 0,26AHS - 35,75/FF - 0,54PAFt.AHS + 277,98$
ZB4 / ZB5	$511,12 FA + 0,92FF - 95,71PAFt - 99,79FS - 0,52AVS - 0,29AHS - 380,83.FA.FF + 4,27/FF + 729,20.PAFt.FS + 77,15$
ZB6	$- 160,36 FA + 1277,29FF - 19,21PAFt + 2,95FS - 0,36AVS - 0,16AHS + 290,25.FF.PAFt + 0,01.PAFt.AVS.AHS - 120,58$
ZB7	$- 69,48 FA + 1347,78FF + 37,74PAFt + 3,03FS - 0,13AVS - 0,19AHS + 19,25/FF + 0,04AHS/(PAFt.FS) - 306,35$

Fonte: Elaborado pelo autor com base no RTQ-C (BRASIL, 2010)

O processo de cálculo do ICenv permitiu que o projeto de arquitetura fosse manipulado, trabalhado e alterado com extrema facilidade e agilidade de modo acolher de modo mais satisfatório as exigências para se atingir um bom nível de classificação de acordo com o processo de etiquetagem. Resultados medianos num primeiro momento, por exemplo um C, puderam ser reavaliados e geraram um nível de classificação A com pequenas revisões arquitetônicas como a alteração dos vãos envidraçados, ou mudança do tipo de vidro ou ainda os ângulos de sombreamento proporcionado pelos brises. O Padrão PE-3Pav, para obter melhores resultados, foi submetido a uma revisão do dimensionamento dos brises horizontais e a um acréscimo de cobogós às janelas da circulação, recursos que melhoraram os resultados das equações ao trabalhar valores de PAFt, AVS e AHS.

4 Resultados

Projetar uma edificação que consiga certificação A do Procel é dotar a arquitetura de uma consciência ecológica com o mundo em que vivemos. Obter uma classificação nível A numa edificação padrão se torna mais importante na medida em que a multiplicação deste padrão implica na proliferação de uma arquitetura de qualidade. O Padrão Escolar aqui estudado foi submetido aos cálculos para processo de etiquetagem parcial de sua envoltória, cálculos que satisfatoriamente geraram a classificação A para todos os zoneamentos bioclimáticos de Minas Gerais. (Figura 13).

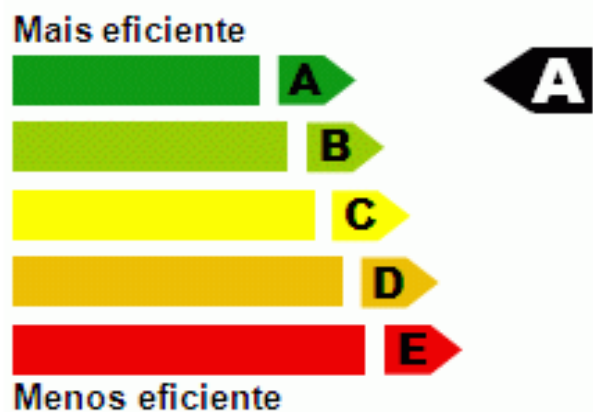


Figura 13: Etiqueta Obtida pelo PE-3Pav para todos os Zoneamentos

Fonte: Elaborado pelo autor

5 Conclusões

As edificações escolares padrão do estado de Minas Gerais em 2012 estão passando por um processo de revisão e requalificação dos seus projetos de forma a atender novas demandas normativas e atualizando-se frente aos contemporâneos métodos de produção do conhecimento no ambiente escolar. Dentre os padrões escolares existentes, o estudo de caso do Padrão Escolar PE-3Pav possibilitou avaliar sua arquitetura frente aos requisitos de desempenho e comportamento térmico da NBR15575 e RTQ-C. Atendidos os requisitos quanto ao comportamento de sua envoltória o projeto foi submetido ao processo de etiquetagem Procel. Traçada a meta de certificação A para todos os Zoneamentos Bioclimáticos de Minas Gerais, as soluções de arquitetura e escolhas de projeto foram reavaliadas, revisadas e adequadas para que satisfatoriamente o A provável se tornasse um A possível e, finalmente, um A palpável.

Referências

- ASSIS, Eleonora S., et al. — **PROJETO DE DOCUMENTO: Manual para Construções Sustentáveis dos Edifícios Públicos do Estado de Minas Gerais -** Convênio FUNDEP nº 14335 — Belo Horizonte: 2010 — 140 p.
- ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15215: Iluminação Natural.** Rio de Janeiro, ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações.** Rio de Janeiro, ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 5413: Iluminação de Interiores.** Rio de Janeiro, ABNT, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15287 : Informação e Documentação - Projeto de Pesquisa: Apresentação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S.R. **Manual de Conforto Térmico.** São Paulo: Nobel, 1988.
- INSTITUTO Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Requisitos Técnicos de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.** INMETRO – Portaria 372, setembro 2010.
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA — **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética e Etiquetagem de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos** — Brasília: 2010
- PROCEL EDIFICA – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (PROCEL EDIFICA).BITTENCOURT, L; CÂNDIDO, C. **Ventilação Natural em Edificações.** Rio de Janeiro, PROCEL EDIFICA, agosto 2010.

PROCEL EDIFICA – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (PROCEL EDIFICA).BARROSO-KRAUSE, C. **Desempenho Térmico e Eficiência Energética em Edificações**. Rio de Janeiro, PROCEL EDIFICA, agosto 2011.

PROCEL EDIFICA – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (PROCEL EDIFICA).LONARDO, L.L.B. **Eficiência Energética em Edifícios e Sustentabilidade no Ambiente Construído**. Rio de Janeiro, PROCEL EDIFICA, agosto 2011.

PROCEL EDIFICA – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (PROCEL EDIFICA).GONÇALVES, J.C.S.; VIANNA, N.S.; MOURA, N.C.S. **Iluminação Natural e Artificial** Rio de Janeiro, PROCEL EDIFICA, agosto 2011.

PROCEL EDIFICA – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (PROCEL EDIFICA). SIMÕES, F.M. **Acústica Arquitetônica**. Rio de Janeiro, PROCEL EDIFICA, agosto 2011.

(SEE 2012) –

Disponível em <[HTTP://www.educacao.mg.gov.br/institucional/apresentacao](http://www.educacao.mg.gov.br/institucional/apresentacao)>.

Acesso em 23 ago.2012.

DEOP-MG

Disponível em < <http://www.deop.mg.gov.br>>. Acesso em 15.nov.2012.

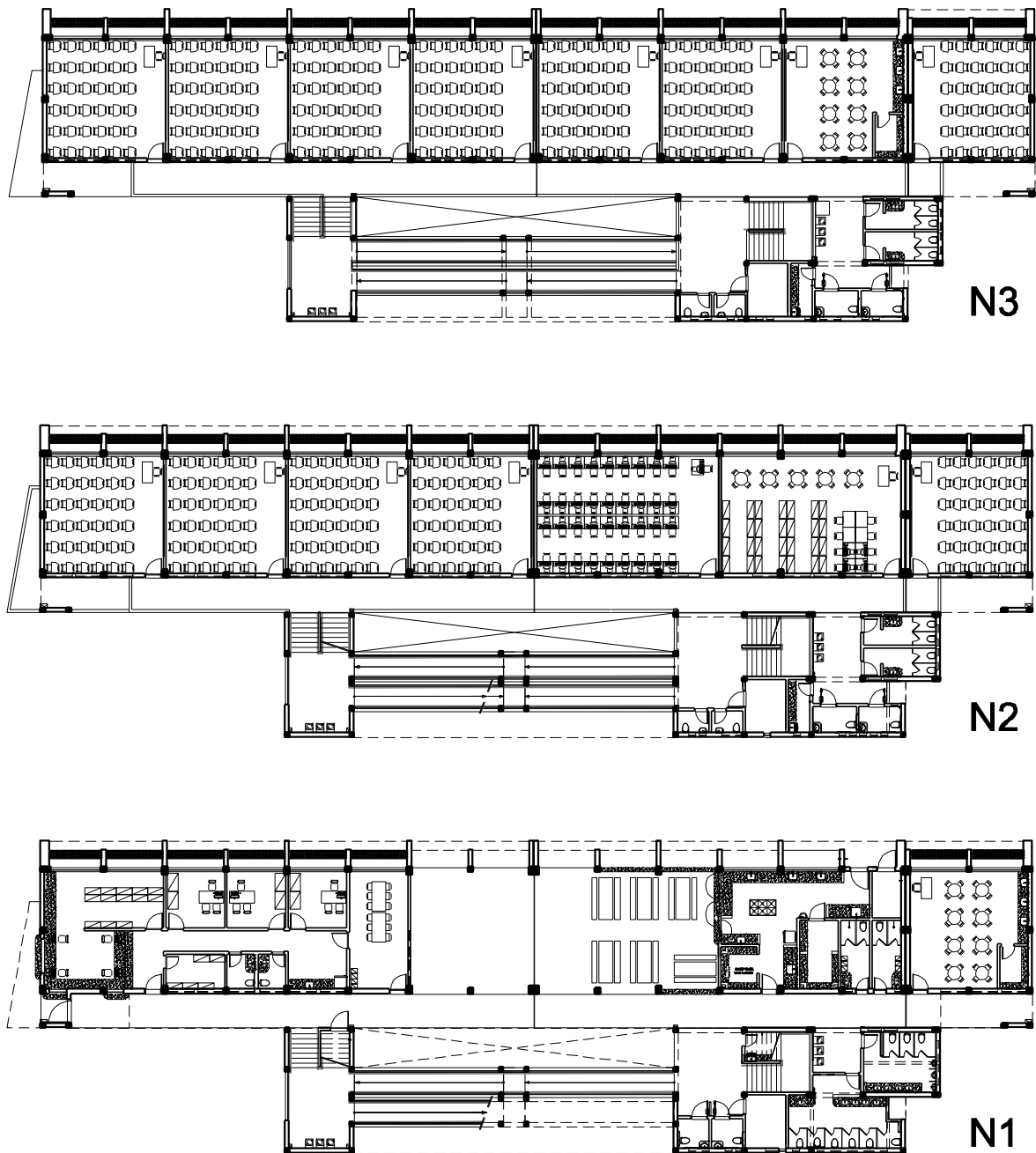
LABEEE

Disponível em < <http://www.labeee.ufsc.br/projetos/etiquetagem>>. Acesso em 15.nov.2012.

PROCEL ELETROBRAS

Disponível em < <http://www.procelinfo.com.br>>. Acesso em 10.set.2012.

APÊNDICE A – Projeto Arquitetônico



NÍVEL N3: 7 salas de aula e 1 laboratório

NÍVEL N2: 5 salas de aula, laboratório de informática e biblioteca.

NÍVEL N1: área administrativa, laboratório, recreio dos alunos, refeitório, cantina e serviços.

Figura 14 – Plantas de Layout da Escola Padrão PE-3Pav
 Fonte: Elaborado pela empresa Grupo Arquitetos e Urbanistas Ltda.

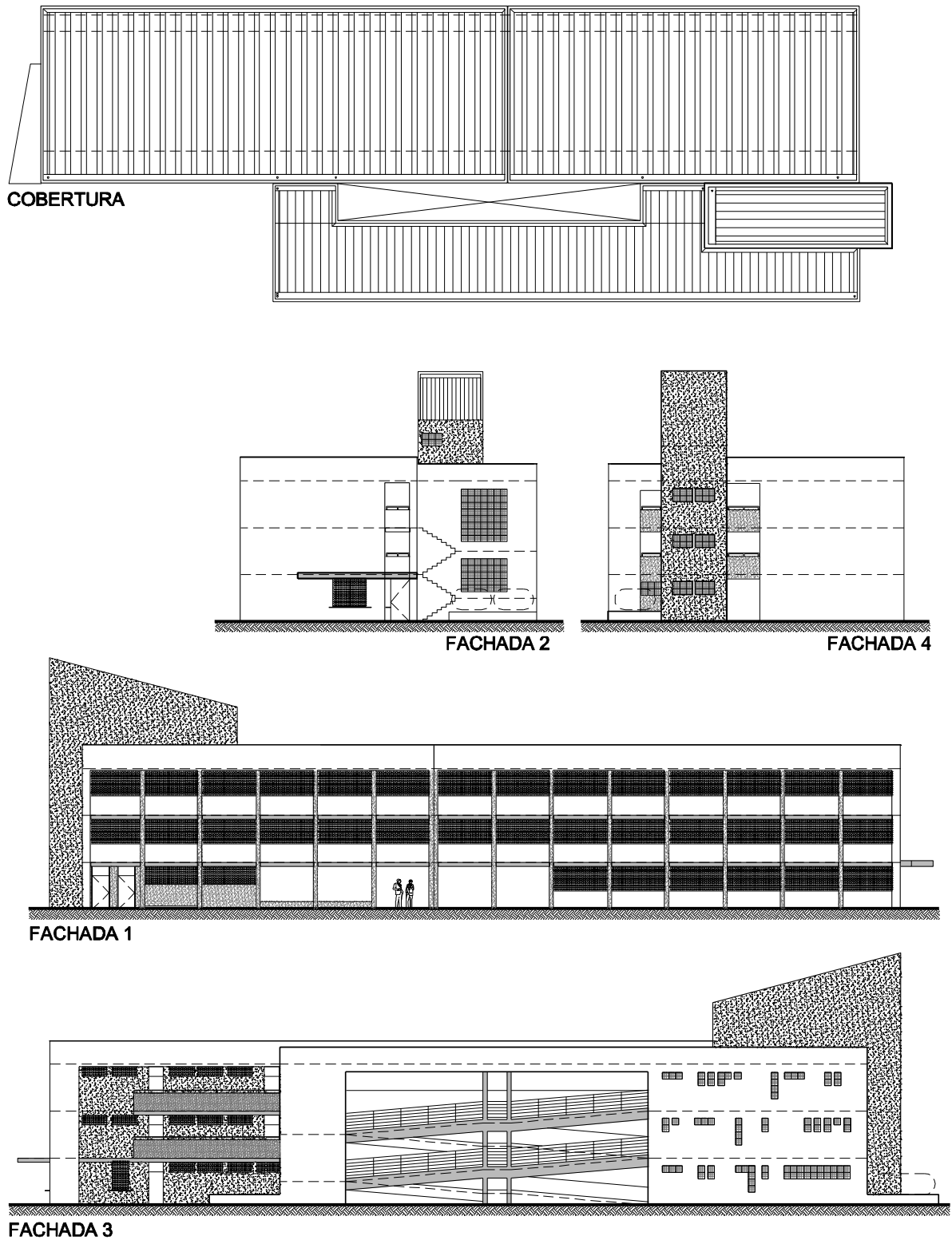


Figura 15– Planta de Cobertura e Fachadas da Escola Padrão PE-3Pav

Fonte: Elaborado pela empresa Grupo Arquitetos e Urbanistas Ltda.

APÊNDICE B – Brises de Proteção Solar

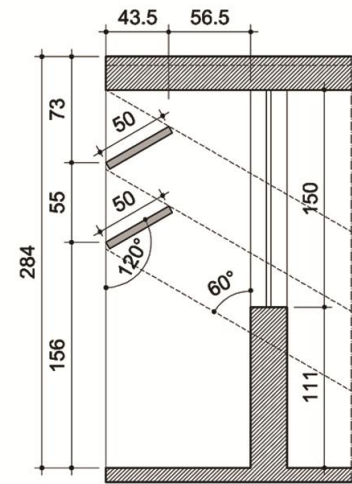
Os brises projetados para o Padrão Escolar 3Pav tiveram como ponto de partida uma premissa complicada a lidar: trabalhar a obstrução solar de uma edificação padrão que, pode, estar localizada nas mais diversas localidades e em distintas orientações. De modo a conseguir uma solução plural tomou-se como diretriz a orientação da fachada crítica, isto é, aquela com maior quantidade de vãos a receberem a devida proteção solar, segundo quatro distintos quadrantes:

- Norte: orientações entre 0 e 45,0° e de 315,1° e 360,0°
- Sul: orientações entre 135,10° e 225,0°
- Leste: orientações entre 45,10° e 135,0°
- Oeste: orientações entre 225,10° e 315,0°

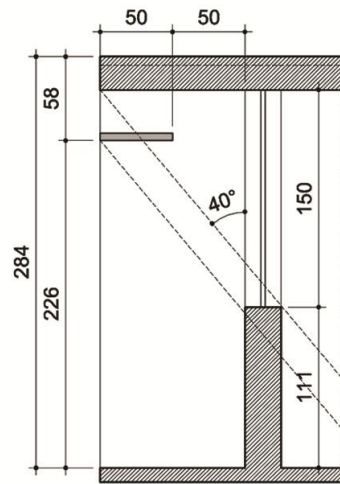
O estudo dos brises, conforme pode ser visto na página seguinte, buscou uma maior proteção entre 9 horas da manhã e 16 horas da tarde, trabalhando uma proteção integral durante o horário de funcionamento e períodos de insolação crítica. Não foi dispensada a consideração em períodos de aula mesmo durante o períodos típicos de férias dado que os calendários das escolas públicas estaduais estão, recorrentemente, desorganizados frente as greves escolares.

Minas Gerais apresenta ampla dimensões e variadas latitudes. O estudo dos brises verificou as latitudes mais extremas do estado, Montalvânia e Extrema, respectivamente 14°Sul e 22°Sul. Comparativamente verificou-se que a variação que estas latitudes geravam não eram de grande relevância a ponto de se adotar uma variação no brise, logo, foi adotado uma latitude média para efeito de cálculo.

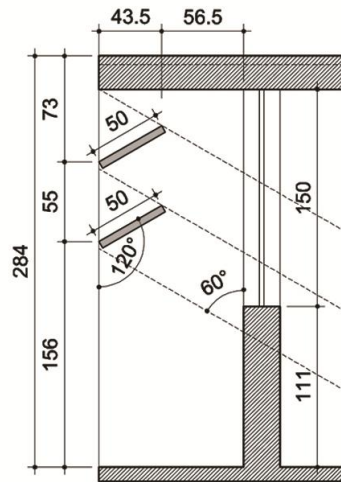
Os brises propostos são fixos, em concreto pré-moldado in locu, e sua angulação de proteção foi calculada conforme a orientação dos quadrantes da orientação da fachada crítica. Assim sendo, os quadrantes Norte e Oeste demandam uma maior quantidade de placas, enquanto que a orientação solar ao Quadrante Sul é a que demanda menor quantidade de brises, podendo mesmo dispensá-las em situações específicas (angulos entre 170° e 190°). Este parâmetro acaba por incentivar a implantação da escola segundo as orientações solares mais desejáveis na medida em que representa variação no orçamento que a mesma demandará (quantidade de brises).



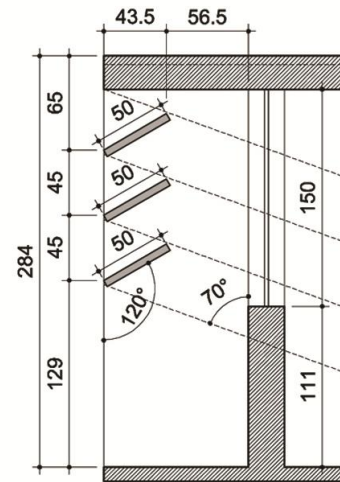
DET. BRISE NORTE
Orientação entre 315,1° e 45,0°



DET. BRISE SUL
Orientação entre 135,10° e 225,0°



DET. BRISE LESTE
Orientação entre 45,10° e 135,0°



DET. BRISE OESTE
Orientação entre 225,10° e 315,0°

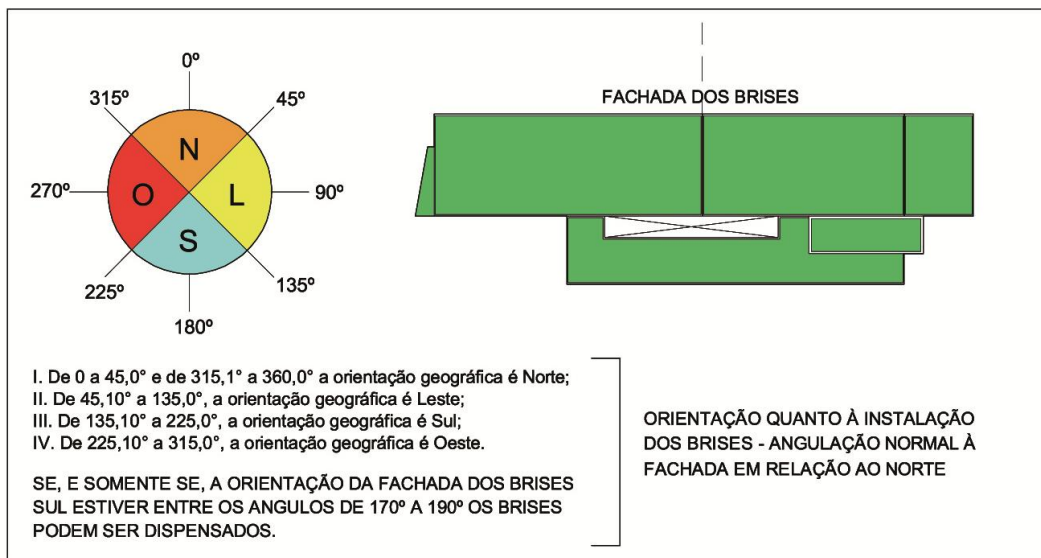


Figura 16: Detalhamento dos Brises
Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE C – Transmitâncias Térmicas

Transmitância Térmica (U), segundo o RTQ-C, é a “transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo.” Para se calcular as transmitâncias térmicas das envoltórias do padrão PE 3Pav foram adotados os parâmetros e métodos descritos na NBR 15220, e estão traduzidos nos Quadros a seguir. Para o ideal entendimento dos Quadros, esclarece-se que:

- e*= espessura do material componente
λ=condutividade térmica do material componente
R= resistência térmica
A= área de influência de cada material componente
RT= resistência térmica total
Rt= resistência térmica interna
Rse= resistência da superfície externa
Rsi= resistência da superfície interna
U= transmitância térmica
S= área da cobertura
 ? = fonte referencial de *λ*: tabelas da NBR15220

Quadro 4: Cálculo da Transmitância da Parede – Composição 1

PAREDE COMPOSIÇÃO 1: ARGAMASSA + TIJOLO + GESSO							
	e	λ	R = e / λ	R.mat= Σ	A		
ARGAMASSA	0,215	1,15	0,18695652	0,206956522	(0,19 + 0,01 + 0,39) x 0,01		
GESSO	0,01	0,5	0,02				0,0059
ARGAMASSA	0,025	1,15	0,02173913	0,23173913	(0,018 x 5) x 0,39		
TIJOLO	0,19	1	0,19				0,0351
GESSO	0,01	0,5	0,02				
ARGAMASSA	0,025	1,15	0,02173913	0,75673913	(0,025 x 4) x 0,39		
TIJOLO	0,09	1	0,09				0,039
AR	0,1	0,16	0,625				
GESSO	0,01	0,5	0,02				
RT =				Rse+Rt+Rsi			
Rt =				A1 + A2 + A3 / (A1/R1) + (A2/R2) + (A3/R3)			
Rt =				0,345559319			
Rse =				0,04			
Rsi =				0,13			
RT =				0,515559319			
U=				1/RT			
U=				1,939641014			

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 5: Cálculo da Transmitância da Parede – Composição 2

PAREDE COMPOSIÇÃO 2: ARGAMASSA + TIJOLO + GESSO + ISOPOR + MADEIRA					
	e	λ	$R = e / \lambda$	$R.mat = \Sigma$	A
ARGAMASSA	0,215	1,15	0,18695652		(0,19 + 0,01 + 0,39) x 0,01
GESSO	0,01	0,5	0,02	0,715577211	
ISOPOR	0,01	0,04	0,25		
MADEIRA - aglomerado leve	0,015	0,058	0,25862069		
<hr/>					
ARGAMASSA	0,025	1,15	0,02173913		(0,018 x 5) x 0,39
TIJOLO	0,19	1	0,19	0,74035982	0,0351
GESSO	0,01	0,5	0,02		
ISOPOR	0,01	0,04	0,25		
MADEIRA - aglomerado leve	0,015	0,058	0,25862069		
<hr/>					
ARGAMASSA	0,025	1,15	0,02173913		(0,025 x 4) x 0,39
TIJOLO	0,09	1	0,09	1,26535982	0,039
AR	0,1	0,16	0,625		
GESSO	0,01	0,5	0,02		
ISOPOR	0,01	0,04	0,25		
MADEIRA - aglomerado leve	0,015	0,058	0,25862069		
<hr/>					
RT =	Rse+Rt+Rsi				
Rt =	$A1 + A2 + A3 / (A1/R1) + (A2/R2) + (A3/R3)$				
Rt =	0,925114902				
Rse =	0,04				
Rsi =	0,13				
RT =	1,095114902				
U=	1/RT				
U=	0,91314619				

Fonte: Elaborado pelo autor

A Composição 2 virá a ser a opção utilizada para as paredes das escolas que vierem a ser implantadas nos Zoneamentos Bioclimáticos 1 e 2, característicos por apresentarem temperaturas mais baixas. Nos demais zoneamentos a opção apontada pela Composição 1 já garante um bom desempenho e atendimento aos requisitos da NBR 15575 e RTQ-C.

As coberturas propostas para o Padrão Escolar não apresentarão variação segundo zoneamento. A opção pela utilização de telhas tipo sanduíche e fibrocimento (esta em menor proporção) garantiram índices satisfatórios.

Quadro 6: Cálculo da Transmitância das Coberturas

COBERTURA DE TELHA SANDUICHE					
	e	λ	?	$R = e / \lambda$	$R.mat = \Sigma$
TELHA SANDUICHE (aluminio)	0,05	230	tabela B3	0,00	1,29878882
TELHA SANDUICHE (poliuretano)	0,03	0,03	tabela B3	1,00	
COLCHAO DE AR	0,55		tabela B1	0,21	
LAJE DE CONCRETO	0,12	1,75	tabela B3	0,07	
GESSO CORRIDO SOB LAJE	0,01	0,5	tabela B3	0,02	
Rt =	R.se +	R.mat +	R.si		
Rt =	0,04	1,30	0,17		
Rt =		1,51			
U1=	1/Rt				
U1=	0,662783				
ÁREA COBERTURA (S1)=	421,8				
COBERTURA DE TELHADO FIBROCIMENTO					
	e	λ	?	$R = e / \lambda$	$R.mat = \Sigma$
TELHADO FIBROCIMENTO	0,008	0,65	tabela B3	0,01	0,310879121
COLCHAO DE AR	0,4		tabela B1	0,21	
LAJE DE CONCRETO	0,12	1,75	tabela B3	0,07	
GESSO CORRIDO SOB LAJE	0,01	0,5	tabela B3	0,02	
Rt =	R.se +	R.mat +	R.si		
Rt =	0,04	0,31	0,17		
Rt =		0,52			
U1=	1/Rt				
U1=	1,919831				
ÁREA COBERTURA (S2)=	91,97				
PONDERANDO:	$S1U1 + S2U2 / S1 + S2$				
U COBERTURA=	0,887808				

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE D – Absortância Solar

A NBR 15220 aponta como Absortância à radiação solar (α), o “quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.” O RTQ-C aponta absortância solar como “uma propriedade do material referente a parcela da radiação absorvida pelo mesmo, geralmente relacionada a cor. Quanto maior a absortância, maior a parcela da energia incidente que se transforma em calor (radiação de ondas longas) após incidir sobre um material opaco”. Abaixo estão ilustradas as absortâncias obtidas para o Padrão PE 3Pav.

Quadro 7: Cálculo das Absortâncias das Paredes

CALCULO ABSORTÂNCIA (α) PAREDE							
cor / material	α	FACHADA 1	FACHADA 2	FACHADA 3	FACHADA 4	ÁREAS TOTAIS	PONDERANDO: AREA X α
cor pérola	0,32	201,40	122,50	101,20	92,40	517,50	165,6
cor cinza médio	0,42	16,90	0,00	28,50	0,00	45,40	19,068
cor terracota	0,74	0,00	0,00	268,20	28,01	296,21	219,1954
concreto natural	0,65	24,50	14,50	30,40	5,70	75,10	48,815
vidro incolor	0,06	199,20	3,40	1,70	0,00	204,30	12,258
		442,00	140,40	430	126,11	1138,51	464,9364
						LOGO: α /área fachada	
* NÃO FORAM CONSIDERADOS BRISES NA FACHADA 1						0,41	

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 8: Cálculo das Absortâncias das Coberturas

CALCULO ABSORTÂNCIA (α) COBERTURAS					
COBERTURA DE TELHA SANDUICHE			COBERTURA DE TELHA FIBROCIMENTO		
ÁREA	421,8		ÁREA	91,97	m2
A	0,2	(aluminio brilhante)	α	0,82	(fibrocimento)
ÁREA X α	84,36		ÁREA X α	75,4154	
α COBERTURA=	0,31				

Fonte: Elaborado pelo autor

Na páginas seguintes, as Figuras 17 e 18 vem a ilustrar a base de cálculo que permitiram gerar os Quadros 7 e 8 acima. As portas foram consideradas superfícies

opacas e as janelas obstruídas pelo volume das rampas e escadas foram consideradas vãos abertos.

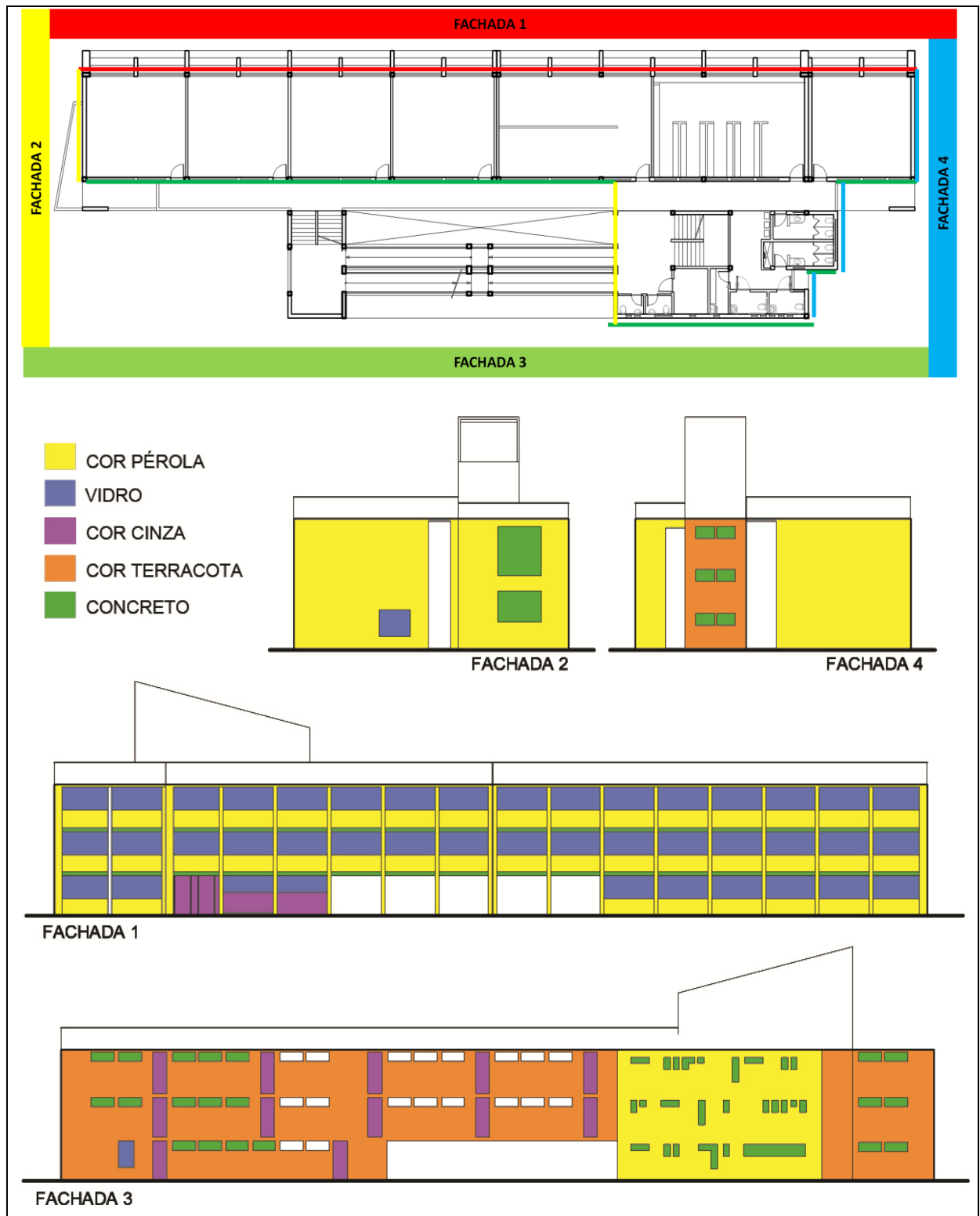


Figura 17: Diagrama esquemático dos materiais empregados nas fachadas

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE E – Variáveis para cálculo do ICenv

Apcob = Área de projeção da cobertura

$$A_{pcob} = 513,77 \text{ m}^2$$

(desconta-se beirais e circulações abertas)

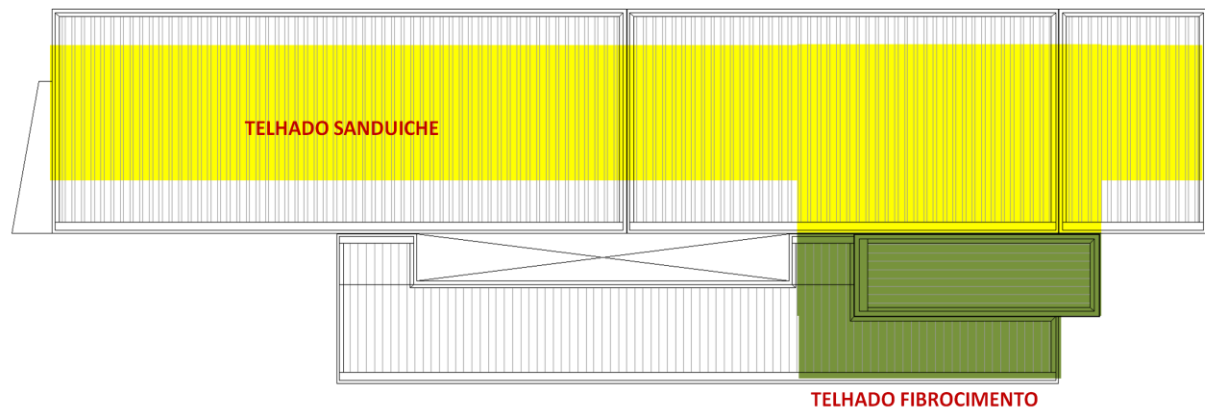


Figura 18: Diagrama esquemático para determinação de Apcob

Fonte: Elaborado pelo autor

Ape = Área de projeção do edifício

$$A_{pe} = 513,77 \text{ m}^2$$

(coincide com Apcob já que é um edifício de forma e andares regulares)

Atot = Área total construída

$$A_{pe} = 3 \times 513,77 = 1541,31 \text{ m}^2$$

(os andares são regulares a área total é a soma dos 3 pavimentos)

Aenv = Área da envoltória

$$A_{env} = 1652,28 \text{ m}^2$$

(a Área da Envoltória é a soma das áreas das fachadas e da área da cobertura)

Vtot = volume total

$$V_{tot} = 513,77 \times 3 \times 2,85 = 4.392,73 \text{ m}^3$$

(Volume delimitado pelos fechamentos externos do edifício (fachadas e cobertura), com exceção de pátios internos descobertos.)

FF = Fator de Forma

$$FF = 0,38$$

(razão entre área da envoltória (cobertura + fachadas) e volume do edifício)

FA = Fator de Altura

$$FA=0,33$$

(Razão entre a área de projeção da cobertura e a área total construída: A_{pcob}/A_{tot})

FS = Fator Solar

$$FS=0,87$$

(Dado de catálogo para vidro comum 4mm)

AHS = Ângulo Horizontal de Sombreamento

$$AHS = 23,89$$

(Ângulo medio da proteção solar por elementos verticais)

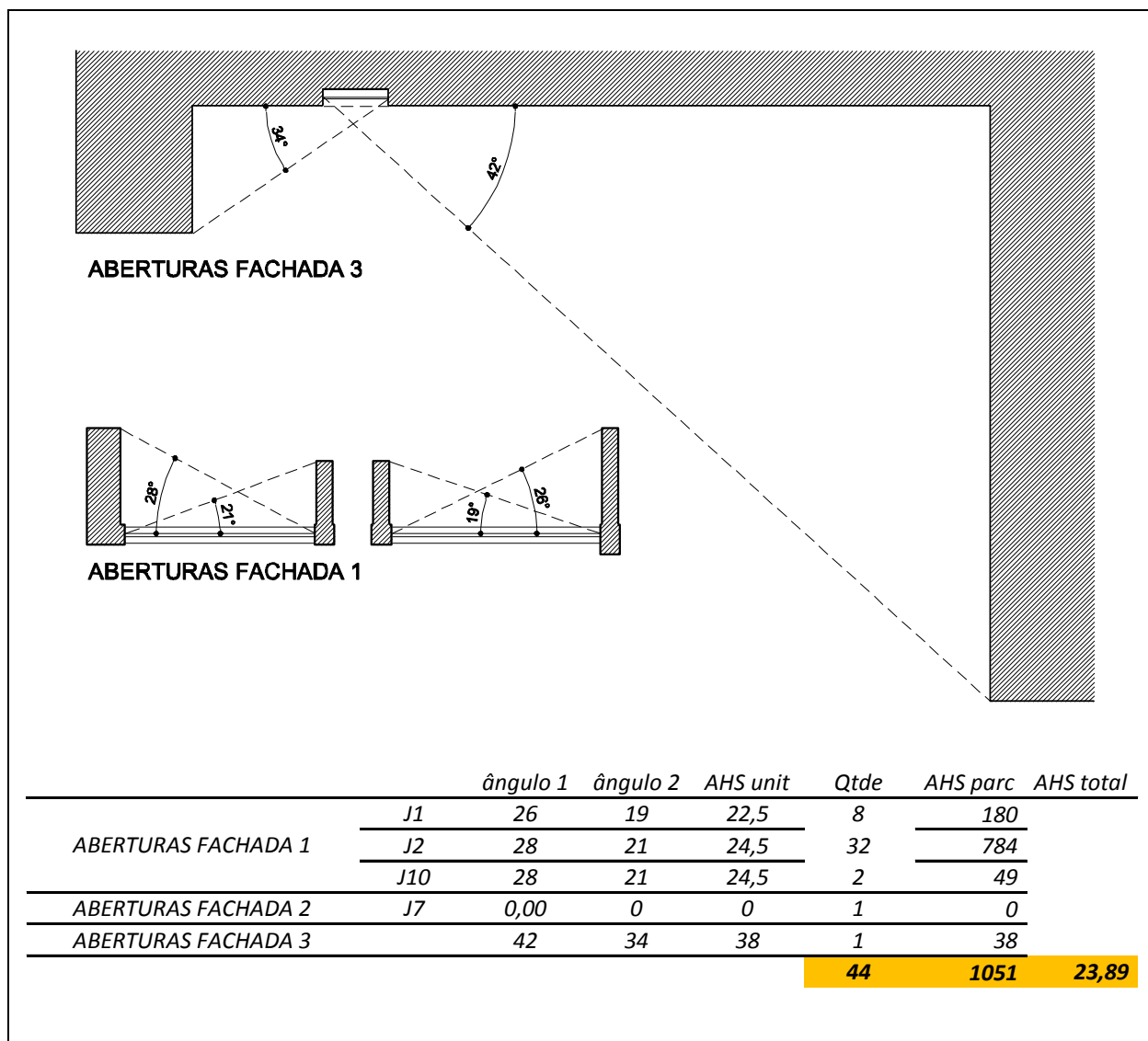


Figura 19 : Diagramas de cálculo AHS

Fonte: Elaborado pelo autor

AVS = Ângulo Vertical de Sombreamento

AVS = 41,33

(Angulo medio da proteção solar por elementos horizontais),,,

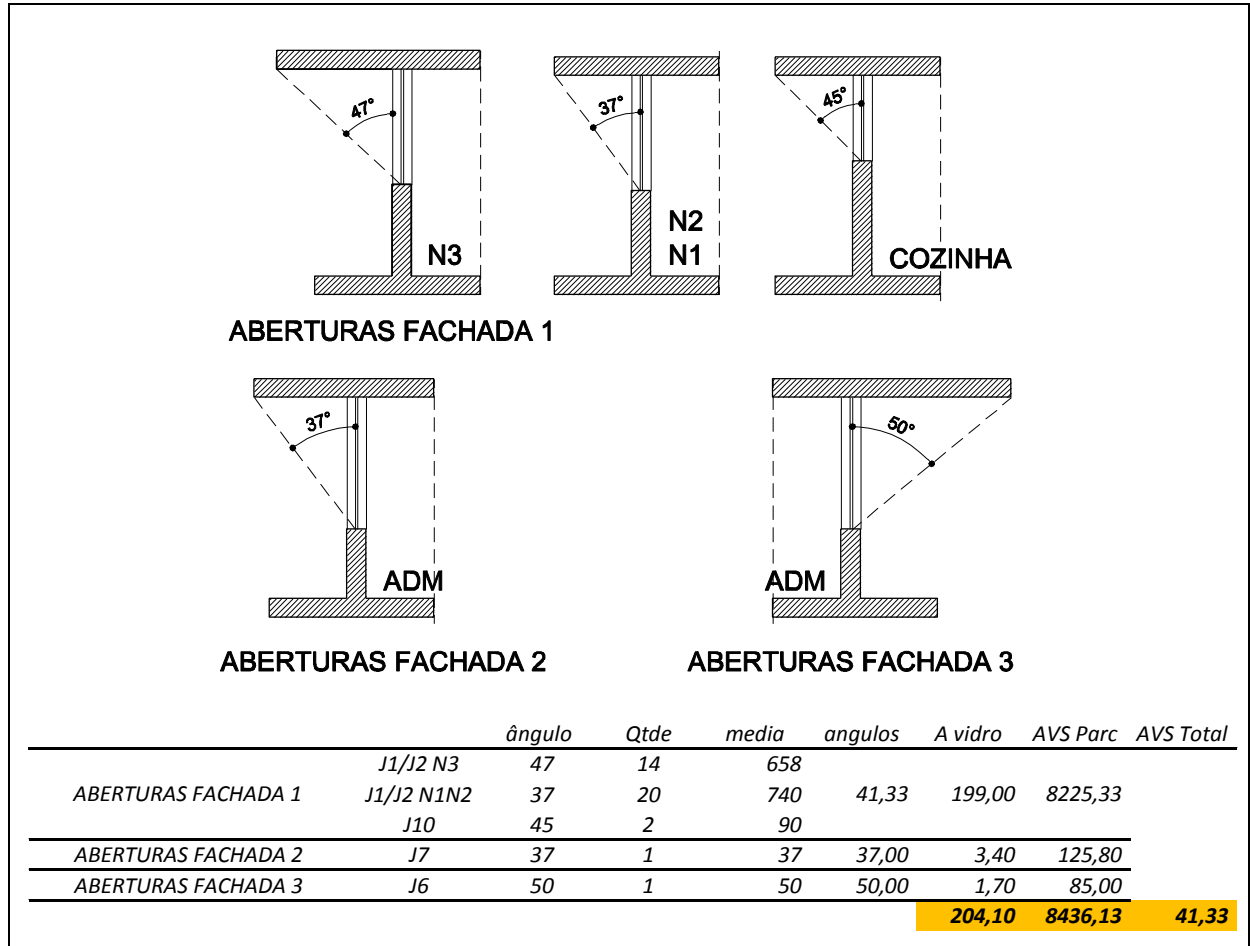


Figura 20 : Diagramas de cálculo AVS

Fonte: Elaborado pelo autor

PAFo= Percentual. de Abertura na Fachada Oeste

PAFt=0,16

(Conferir Quadro 9 – supondo pior orientação com Fachada 1 a oeste)

PAFt = Percentual. de Abertura na Fachada total

PAFt=0,19

Para encontrar o valor de PAFt, considerou-se que as áreas de aberturas são reduzidas uma vez aplicados os brises na fachada. Assim sendo, uma área de abertura inicial de 199m² na fachada 1 acaba por reduzir-se a 72m² quando utilizados os brises de concreto em suas janelas, à exceção da

janela da cozinha, que não terá brises. O Quadro 9 traz os cálculos de PAFt. Portas não foram consideradas aberturas, mas sim uma parte opaca da fachada. Foram descontadas as aberturas que são sombreadas / ofuscadas pelo volume da escada e rampas

Quadro 9: Cálculo de PAFt

	FAC.1	FAC.2	FAC.3	FAC.4
ÁREA ABERTURA	72,00	3,40	1,70	0,00
ÁREA FACHADA	442,00	140,40	430,00	126,11
PAFt	16,29%	2,42%	0,40%	0,00%
PAFt	19,11%			

Fonte: Elaborado pelo autor

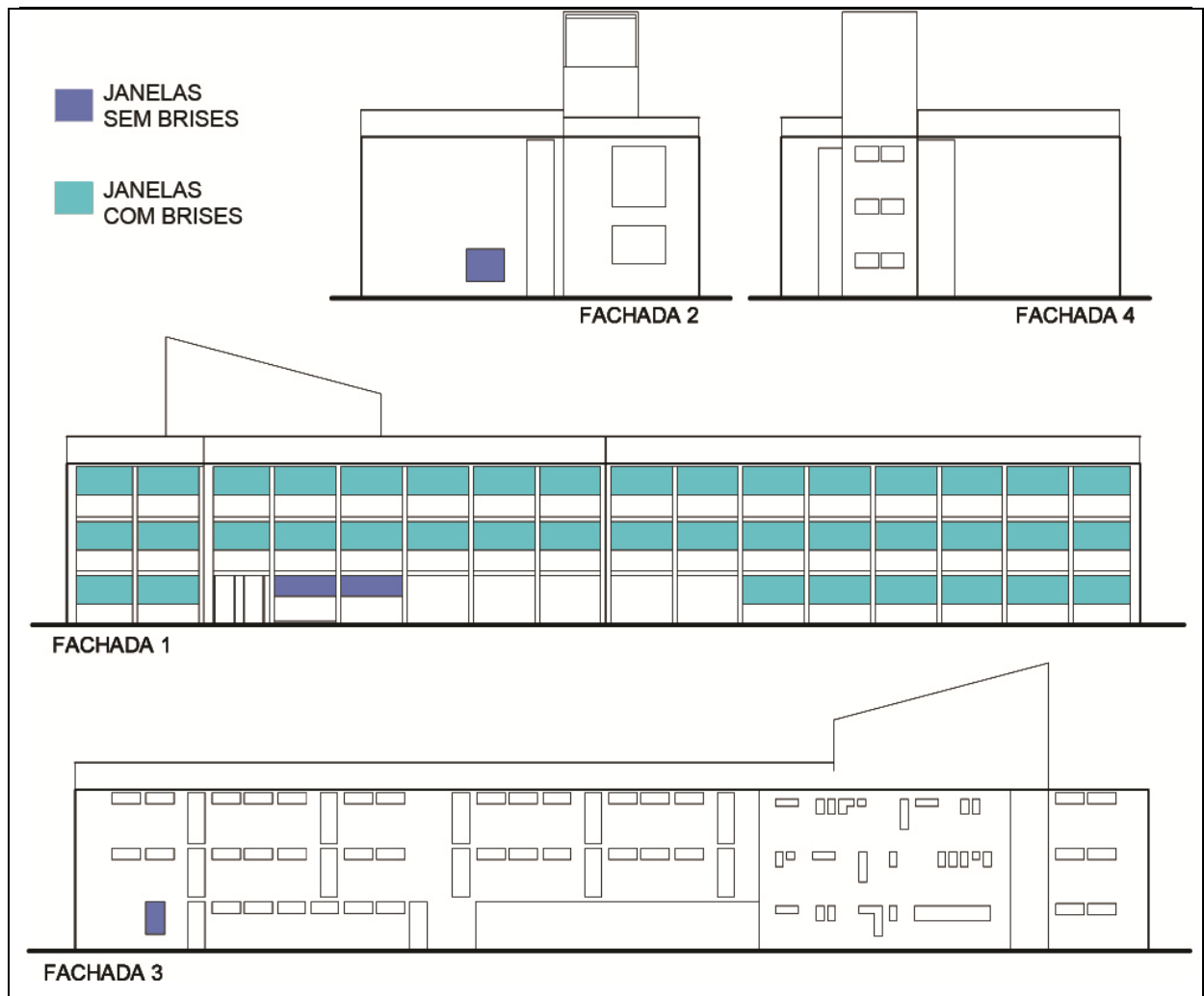


Figura 21: Relação das aberturas das fachadas

Fonte: Elaborado pelo autor

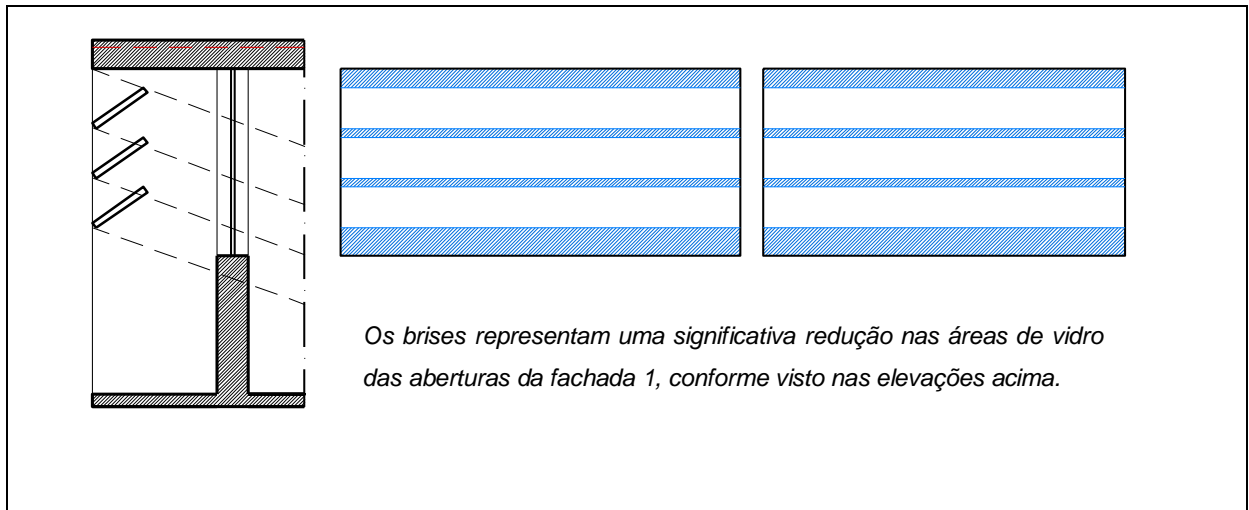


Figura 22: Esquema do brise utilizado na Fachada 1

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE F – Equações e cálculo do ICenv

Quadro 10 : Memórias de Cálculo de ICenv

		AVS	AHS	FA	FF	FS	PAFt
		41,33	23,89	0,33	0,38	0,87	0,19
IC min		0,00	0,00	0,33	0,38	0,87	0,05
IC max		0,00	0,00	0,33	0,38	0,61	0,60
ZB1	ÁREA Ape > 500m ²	ICenv= 10,47 FA + 298,74FF + 38,41PAFt - 1,11FS - 0,11AVS + 0,24AHS - 0,54PAFt.AHS + 47,53					
		ICenv= 168,46					
	FFmin=0,17	IC min= 164,34					
		IC max= 185,76					
		i=	(IC max - IC min)/4				
		i=	5,35				
	ETIQUETA	A	B	C	D	E	
A	Lim. Min.	-	169,71	175,06	180,41	185,77	
	Lim. Max.	169,70	175,05	180,40	185,76	-	
		Icmax-3i'	Icmax-2i	Icmax-i	Icmax		
ZB2 ZB3	ÁREA Ape > 500m ²	ICenv= - 14,14 FA - 113,94FF + 50,82PAFt + 4,86FS - 0,32AVS + 0,26AHS - 35,75/FF - 0,54PAFt.AHS + 277,98					
		ICenv= 139,78					
	FFmin=0,15	IC min= 142,13					
		IC max= 168,82					
		i=	(IC max - IC min)/4				
		i=	6,67				
	ETIQUETA	A	B	C	D	E	
A	Lim. Min.	-	148,82	155,49	162,16	168,83	
	Lim. Max.	148,81	155,48	162,15	168,82	-	
		Icmax-3i'	Icmax-2i	Icmax-i	Icmax		
ZB4 ZB5	ÁREA Ape > 500m ²	ICenv= 511,12 FA + 0,92FF - 95,71PAFt - 99,79FS - 0,52AVS - 0,29AHS - 380,83.FA.FF + 4,27/FF + 729,20.PAFt.FS + 77,15					
		ICenv= 198,59					
	FFmin=livre	IC min= 151,59					
		IC max= 360,06					
		i=	(IC max - IC min)/4				
		i=	52,12				
	ETIQUETA	A	B	C	D	E	
A	Lim. Min.	-	203,72	255,84	307,95	360,07	
	Lim. Max.	203,71	255,83	307,94	360,06	-	
		Icmax-3i'	Icmax-2i	Icmax-i	Icmax		
ZB7	ÁREA Ape > 500m ²	ICenv= - 69,48 FA + 1347,78FF + 37,74PAFt + 3,03FS - 0,13AVS - 0,19AHS + 19,25/FF + 0,04AHS/(PAFt.FS) - 306,35					
		ICenv= 234,30					
	FFmin=0,17	IC min= 233,14					
		IC max= 253,11					
		i=	(IC max - IC min)/4				
		i=	4,99				
	ETIQUETA	A	B	C	D	E	
A	Lim. Min.	-	238,15	243,14	248,13	253,12	
	Lim. Max.	238,14	243,13	248,12	253,11	-	
		Icmax-3i'	Icmax-2i	Icmax-i	Icmax		
ZB6 ZB8	ÁREA Ape > 500m ²	ICenv= - 160,36 FA + 1277,29FF - 19,21PAFt + 2,95FS - 0,36AVS - 0,16AHS + 290,25.FF.PAFt + 0,01.PAFt.AVS.AHS - 120,58					
		ICenv= 309,24					
	FFmin=0,17	IC min= 313,47					
		IC max= 362,18					
		i=	(IC max - IC min)/4				
		i=	12,18				
	ETIQUETA	A	B	C	D	E	
A	Lim. Min.	-	325,66	337,84	350,02	362,19	
	Lim. Max.	325,65	337,83	350,01	362,18	-	
		Icmax-3i'	Icmax-2i	Icmax-i	Icmax		

Fonte: Elaborado pelo autor