

## capítulo 4

# **parâmetros para análise do COE-DF**

---

Após entendimento dos conceitos bioclimáticos, do conforto térmico, da eficiência energética e das experiências encontradas de outras legislações e pesquisas para revisões de códigos de obras de diversas cidades, este capítulo trata da influência desses fatores na arquitetura.

O objetivo é identificar as variáveis da edificação que influenciam no desempenho térmico-energético, para então definir os parâmetros a serem utilizados na avaliação do COE-DF.

Foram abordados aspectos desde a implantação até elementos construtivos e geometria dos ambientes.

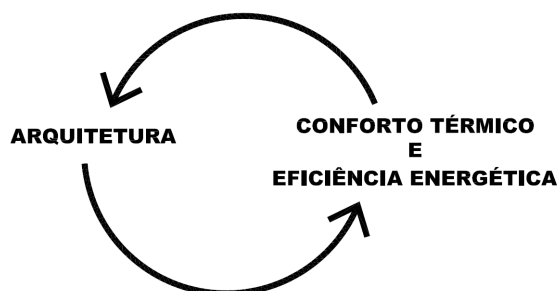
Por fim, são descritas as diretrizes para as edificações em Brasília, a partir da revisão bibliográfica de conforto térmico e eficiência energética, feita nos capítulos anteriores e da análise dos parâmetros.

## 4.1. A arquitetura e o desempenho térmico-energético

Como visto anteriormente, o conforto térmico e eficiência energética dependem de um bom desempenho bioclimático (capítulos 1 e 2), quer dizer quando a relação da arquitetura com os condicionantes ambientais considera os aspectos da escala urbana e as influências do entorno, uma vez que a edificação e meio urbano são indissociáveis e causam interferências mutuamente.

Os Códigos de Obra brasileiros, em sua maioria, precisam de revisões, frente à necessidade de atualização dos índices, formas de avaliação e parâmetros de análise da qualificação das edificações. Como visto no capítulo 3, já existem normas ABNT, algumas modelos para códigos com preocupação ambiental e pesquisas com propostas para revisão de códigos de várias cidades brasileiras, que podem servir de base teórica para diretrizes de revisão do COE-DF, com inserção de conceitos bioclimáticos, conforto térmico e eficiência energética

É fundamental entender que vários elementos da arquitetura influenciam no bom desempenho térmico e energético das edificações<sup>19</sup>. Ao mesmo tempo, durante o processo de projeção, esses mesmos elementos da arquitetura são influenciados pela necessidade de desempenho térmico e eficiência energética da edificação. Então, existe um ciclo de influência entre a arquitetura e o desempenho térmico-energético.



**Figura 20:** Ciclo de Influência simultânea entre a arquitetura e os conceitos termo-energéticos no processo de projeção

Levando em consideração as variáveis da arquitetura, primeiramente deve-se atentar para implantação da edificação, com a escolha do sítio do projeto, onde importam sua forma e orientação; tipo de solo, topografia, presença de massas de vegetação, massas de água, etc. É a relação da edificação com o entorno. Num segundo momento, a forma da edificação, onde aspectos como compacidade, porosidade, assentamento e esbeltez são fundamentais. Posteriormente, consideram-se os aspectos dos componentes da arquitetura, como materiais dos fechamentos opacos

<sup>19</sup> O desempenho térmico e energético está vinculado as características do clima e de conforto do usuário, como visto nos capítulos anteriores.

e transparentes, aberturas (iluminação natural e ventilação), protetores solares e a geometria dos ambientes.

A seguir é analisado cada parâmetro de forma específica, com base nos principais referenciais teóricos identificados.

#### **4.1.1. A implantação**

A escolha do sítio de implantação de uma edificação é fundamental para garantir o bom condicionamento bioclimático, e conseqüentemente sua eficiência energética. Vários aspectos relacionados ao sítio devem ser analisados como: declividade, altura, fator de reflexão da radiação, orientação, vegetação, exposição ao vento e ao Sol, umidade, barreiras naturais ou construídas, natureza da superfície, velocidade de drenagem e traçado urbano. (ROMERO, 2001 e OLGAYAY, 1963)

Os princípios para a implantação das edificações variam de acordo com o clima. No clima tropical de altitude existem grandes variações climáticas, pois se assemelha ao clima tropical úmido no período da chuva e ao clima tropical seco no período da seca.

Enquanto que no período da seca, durante o dia, deve-se proteger contra o calor excessivo, durante a noite, o desconforto é pelo frio. As condições de conforto são opostas para os dois períodos.

“Nas regiões de clima tropical de altura, as diretrizes para o desenho urbano não conseguem atender a todas as exigências; portanto, a forma e o desempenho das edificações são fundamentais, uma vez que o traçado não pode suprir todas as exigências da região”. (ROMERO, 2000, p. 110)

De forma sintética, para a autora, deve-se buscar controles diferentes para cada período:

<b>Quente-úmido</b>		Reduzir a produção de calor Incrementar o movimento do ar Reduzir a absorção de radiação Reduzir a absorção de radiação
	<b>Diurno</b>	Reduzir a produção de calor Incrementar o movimento do ar (sem pó) Aumentar a umidade Reduzir a absorção de radiação
<b>Quente-seco</b>	<b>Noturno</b>	Aumentar a umidade Atenuar as perdas de calor noturno

A localização não é tão estrita, mas devem-se considerar as necessidades de ganho de calor nas estações frias e proteção da radiação solar no verão. O clima é

ameno, e por isso não existem impactos em direções específicas. As cidades podem ter um arranjo mais livre.

Pode-se destacar em relação ao tipo de sítio:

- **Sítio côncavo:** predispõe localmente a formação de períodos climáticos extremados. Um vale é côncavo. Existe uma maior concentração de umidade neste tipo de terreno.
- **Sítio plano horizontal:** recebe potencialmente o sol livremente de obstruções durante todo o tempo.
- **Sítio plano inclinado:** dependendo da orientação do seu caimento, capta mais ou menos radiação;
- **Sítio convexo:** está mais exposto ao meio, conseqüentemente favorecendo o incremento das trocas térmicas – capta mais e emite mais as radiações sobre ele incidentes. A umidade tende a ser menor nesse tipo de sítio.

Quanto à morfologia do tecido urbano, o traçado deve também proteger contra a excessiva radiação diurna e atenuar as perdas noturnas. Para isso, recomenda-se um traçado compacto para diminuir a quantidade de superfície expostas à radiação solar e diminuir o resfriamento noturno das edificações.

A morfologia é extremamente importante quando se trabalha com o desenho urbano como forma de controle dos elementos do clima. “Mas poderia se pensar que um traçado compacto resolveria este problema, mas somente introduziria outro; eliminaria a ventilação, já que a massa de ar encontraria um obstáculo inicial que impeliria a ‘saltar’ por cima do espaço construído.” (ROMERO, 2000, p. 111)

A forma ideal, segundo a autora, é a do efeito pátio (côncavo) para aumentar a umidade do ar a partir do ar umedecido no interior do tecido urbano e permitir que este devolva ao exterior o ar já aquecido pela cidade. Um lago, nesta situação, se comporta como um elemento de controle térmico, como na implantação do Plano Piloto.

Para Romero (2000, p.88), um determinado espaço receberá além das radiações solares diretas e difundidas pela atmosfera, os raios solares refletidos pelas superfícies que o cercam (solo, paredes das construções vizinhas, etc), assim como modificações trazidas pelo microclima formado em torno dele.

Os materiais superficiais são de suma importância.



“Se a superfície do solo possui albedo baixo (úmido e escuro) e uma condutibilidade alta (a condutibilidade térmica dos materiais naturais decresce quando mais secos, menos densos e mais porosos), o clima resultante é suave e estável, uma vez que o excesso de calor é absorvido rapidamente e quando as temperaturas baixam é de pronto devolvido”. (ROMERO, 2000, p. 112)

Os tipos de solo e de vegetação presentes no sítio influenciam no calor transferido para a edificação:

- **Solos argilosos** são mais impermeáveis à água e, quando escuros captam e emitem mais radiações.
- **Solos arenosos** são mais permeáveis à água e absorvem menos e refletem mais as radiações.
- **A massa vegetal** atua enquanto forma e enquanto suas propriedades higrótérmicas.

A vegetação deve ser estudada em relação ao espaço urbano e seus efeitos sobre a circulação do vento na superfície e interior dos edifícios, pois pode ou não ser um elemento de barreira, dependendo da necessidade da edificação. Pode proporcionar sombra, quando necessário, e auxiliar na diminuição da temperatura, a partir do consumo do calor latente por evaporação.

A consideração da ventilação do espaço urbano em função da edificação é fundamental, pois pode remover o calor acumulado nas superfícies ou proteger sua edificação dos ventos indesejáveis.

As ruas para climas tropicais de altitude devem ser arborizadas e orientadas num sentido que permita obter sempre uma face sombreada e auxiliar a edificação e o pedestre. Não devem ser muito estreitas nem muito largas, e o tecido não deve ser tão compacto quanto nos climas quentes-secos, pois deve acelerar o resfriamento das edificações aumentando as perdas do calor ganhos durante o dia. (ROMERO, 2000)

É interessante que as ruas canalizem os ventos dominantes para obter as brisas necessárias no verão, porém a vegetação deve bloquear os ventos frios do inverno. As ruas e as áreas livres devem ser sombreadas com árvores de grande copa para canalizar as brisas de verão e reduzir a reflexão da radiação solar. Mas também deve permitir a entrada do sol no inverno. A ventilação também pode tornar-se desagradável em função das edificações que margeiam as ruas, pois se estas forem uniformes, contíguas e estritamente alinhadas, os ventos podem ser canalizados, como num

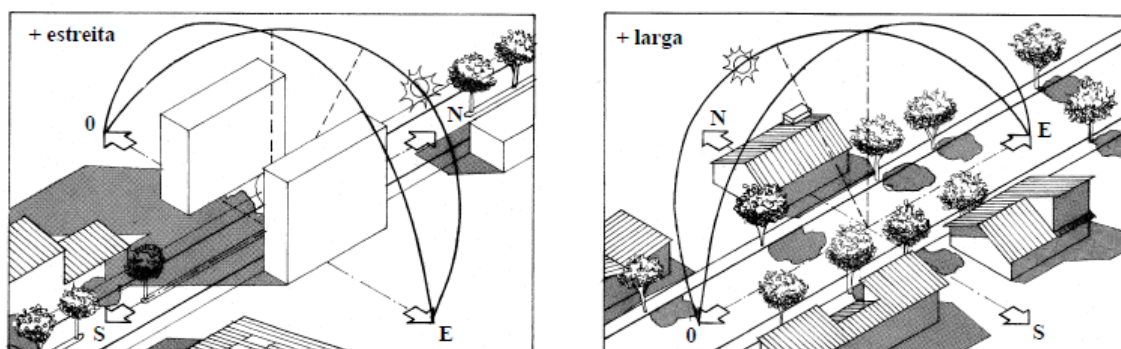
corredor, tendo a velocidade aumentada pela ausência de obstáculos, não penetrando nas edificações. (ROMERO, 2000)

Já nas ruas perpendiculares à direção dos ventos, deve-se tomar cuidado com a distância entre as edificações dos dois lados da rua e com a porosidade dos obstáculos a barlavento, de forma a evitar que as edificações a sotavento fiquem sem vento.

Frota e Schiffer (2003) recomenda que a malha urbana pode ser direcionada, prevendo que as ruas de maior largura sejam aquelas com direção Leste-Oeste, pois a inclinação dos raios solares ao longo do ano não atingirá com muito rigor as fachadas voltadas para essas ruas.

Já as ruas, com direção Norte-Sul, segundo as autoras,

“devem ser mais estreitas. O Sol, do nascer até o meio-dia, atingirá as construções voltadas para um dos lados dessas ruas e, após o meio-dia, as situadas no lado oposto. Se a largura da rua for suficientemente estreita em relação à altura das edificações, estas terão condições de se protegerem mutuamente da radiação solar direta, criando sombra nas ruas, para os pedestres e sobre as fachadas opostas.”  
(FROTA e SCHIFFER, 2003, p. 69)



**Figura 21:** Recomendação de orientação das ruas. Fonte: Frota e Schiffer (2003, p. 70)

Os lotes para o clima tropical de altitude, em relação ao tamanho e forma não exigem princípios rigorosos.

“Em geral deve-se permitir uma adequada ventilação e impedir uma excessiva radiação. A exigência para o conforto situa-se mais no alinhamento das edificações, quando, por exemplo, uma determinada rua canaliza os ventos predominantes. Um alinhamento que permita reentrâncias e saliências é aconselhável.”  
(ROMERO, 2000, p. 114)

Na formatação geral dos códigos de edificações, não existem definições sobre os aspectos da implantação como ventilação, vegetação, insolação, forma e orientação das ruas e lotes. Isto porque os códigos tratam de forma específica da edificação,

abordando apenas os afastamentos dentro do lote e altura da edificação, de forma isolada.

Mas como visto, para o bom desempenho térmico-energético, os aspectos da arquitetura devem ser pensadas em conjunto, desde a implantação no tecido urbano, até as características peculiares dos elementos próprios da edificação.

Na proposta de revisão do código de Mogi das Cruzes, o primeiro nível do estudo de conforto ambiental focou na relação da edificação com a vizinhança, obrigatório para todas as edificações, verificando a implantação do edifício, com o uso da Carta Solar<sup>20</sup>. (ver anexo 5)

Foram propostos recuos diferenciados para cada orientação, em função de dois critérios de insolação mínima de 1 hora nas fachadas durante o solstício de inverno (22 de junho), desde que isso fosse possível. As fachadas Sudeste (SE), Sul (S) e Sudoeste (SO) não podem receber sol no inverno em função da latitude onde se encontra o município, devendo-se evitar cômodos de permanência prolongada para nessas orientações;

Os recuos finais foram dados de acordo com a tabela (ver anexo 5), a partir do ângulo de proteção da fachada oposta. Ou seja, para se proteger a fachada norte, deve-se aplicar o recuo na fachada sul.

Devido à maior complexidade dos recuos propostos em relação aos códigos de obra tradicionais, foi solicitado pela prefeitura um estudo para verificar o seu impacto na densidade construtiva da cidade.

A pesquisa para o Código de Mogi das Cruzes mostrou a viabilidade de implantação de recuos em função da orientação solar para garantir um mínimo de acesso ao sol para as edificações. Na conclusão, a equipe levanta uma questão a ser discutida: o fato de que os recuos diferenciados podem gerar uma distribuição irregular de potencial construtivo, com alguns lotes apresentando maiores coeficientes de aproveitamento que outros, caso o envelope seja tomado como único parâmetro. Há uma grande possibilidade, segundo o estudo, de valorização dos terrenos com eixo NO-SE e SE-NO, bem como uma desvalorização de terrenos L-O e de lotes localizados no meio das quadras.

---

<sup>20</sup> A carta solar é uma forma de representar a trajetória aparente do sol durante o ano em projeção estereográfica (representação de objetos tridimensionais em um plano) sobre o plano do horizonte do observador, para a latitude considerada (FROTA E SCHIFFER, 2003).

Foi levantada também a questão da densidade construtiva, aspecto delicado devido à influência política dos construtores. No entanto, a Prefeitura julgou razoáveis as restrições, considerando-se os resultados atingidos.

Para um município com as proporções de Mogi das Cruzes (330 mil habitantes), a avaliação dos tipos de lotes e orientação é mais fácil, se comparado aos grandes centros urbanos, onde existe uma variabilidade morfológica muito maior. Nestas cidades, a legislação urbana se divide entre os códigos de obra e edificações e os planos diretores e normas.

Assim, a avaliação da implantação das edificações na busca por um bom desempenho bioclimático e energético só torna-se viável dentro de um estudo conjunto das legislações, que abranja desde a escala urbana, de cada tipologia de loteamento até a escala do edifício, com suas especificidades.

Em estudo realizado no Setor Industrial do Gama (RAII-DF), Fernandes e Silva (2009), na realização de uma análise bioclimática para o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV), verificou o seu desempenho ambiental e impactos gerados pela proposta de alteração de uso e aumento de potencial construtivo previstos na Lei Complementar nº 728, de 18 de agosto de 2006 (Plano Diretor Local do Gama – PDL) e na Lei Complementar nº 803, de 25 de abril de 2009 (Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal – PDOT) para as quadras QI 1 a QI 7 e Praça 1 do Setor Leste Industrial do Gama.

Segundo o Plano Diretor Local proposto, o Setor Industrial poderia ter seu uso alterado para residencial, com significativo aumento de densidade populacional e coeficiente de aproveitamento das edificações. Enquanto o cenário atual possui edificações de até 3 pavimentos, existia a proposta de vários cenários com aumento de densidade e coeficiente de aproveitamento, ao longo do tempo, com previsão de edificações de até 28 pavimentos, em 20 anos.

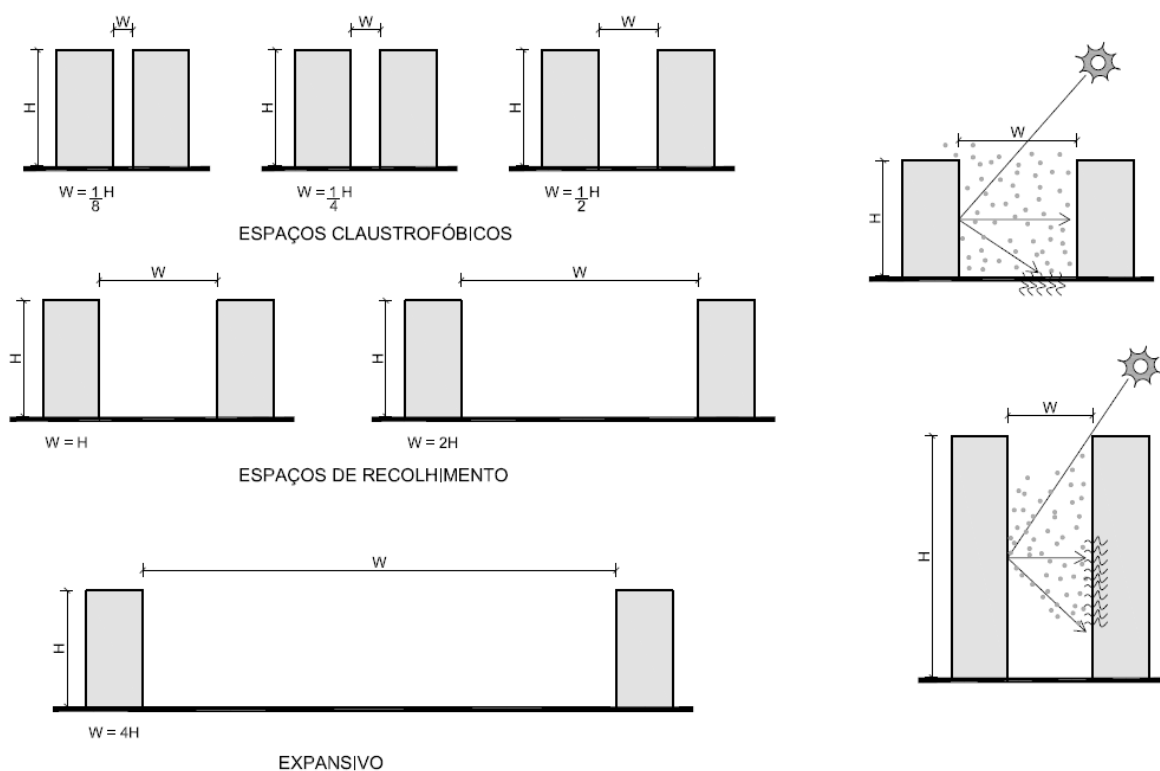
A proposta de alteração do setor, não modificou a morfologia e disposição dos terrenos, ou seja, a “reforma” urbana limitou-se a alteração de uso e adequação do sistema viário.

Mas os estudos de Fernandes e Silva (2009) demonstraram a partir de medições no local e simulações no software ENVI-met, que a alteração é inviável do ponto de vista bioclimático, perante os impactos ambientais gerados pelas novas edificações propostas.

“De forma geral as temperaturas aumentaram, a umidade e velocidade dos ventos abaixaram, características do aumento de massa edificada. Percebe-se que com o aumento do gabarito, (atualmente as edificações possuem em média altura de 2 pavimentos) a movimentação dos ventos é alterada, surgindo locais de sombra de ventos, assim como canalização, o que reforça a diminuição da umidade. Tais efeitos devem ser minuciosamente analisados, caso se opte pela implementação de mais edificações com grandes alturas no setor. (FERNANDES e SILVA, 2009)

Assim, as diretrizes bioclimáticas da pesquisa limitaram-se aos materiais, vegetação e permeabilidade do solo, nos espaços públicos e altura e afastamentos das edificações, uma vez que não poderia propor alteração na morfologia e orientação dos lotes e ruas. Caso fosse para um setor novo, certamente as propostas para adequação bioclimática seriam mais eficazes, visto da possibilidade de soluções em todos os aspectos.

Em análise da relação entre a altura dos edifícios e afastamentos propostos, percebe-se, no estudo do Setor Industrial do Gama, que o adensamento da área, com edifícios muitos altos, e muito próximos, criaria espaços urbanos claustrofóbicos, com problemas para receber a radiação solar e a ventilação. É o que vem acontecendo em várias cidades, inclusive no DF, como Águas Claras, Guará e Samambaia.

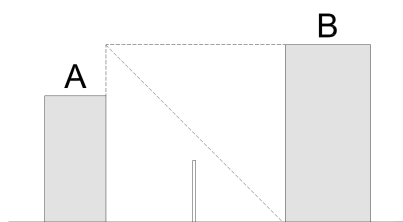


**Figura 22:** Relação entre altura e largura dos espaços entre os edifícios.  
 Fonte: Adaptado de Romero (2001, p.145)

Segundo Romero (2001, p. 90), “o impacto da incidência da radiação solar no clima próximo da Terra é proporcional à elevação dos edifícios e aos espaços entre eles, isto é, à proporção W/H dos espaços entre os edifícios.”

A densidade média, ou seja, com a proporção W/H próxima de 1, é a melhor para o conforto ambiental, pois a maior parte da radiação refletida incide em outros edifícios ou no solo é eventualmente absorvida a radiação que está próxima do nível do solo.

O IBAM/PROCEL (1997) recomenda que o mesmo raciocínio da relação W/H deve ser utilizado para a determinação dos afastamentos entre as edificações e também dos poços de ventilação e iluminação, para que se tenha no mínimo a incidência dos raios solares, pelo menos, duas horas diárias nos pontos mais inferiores das fachadas opostas internas.



**Figura 23:** Afastamento entre edificações. Considerar para h o gabarito máximo da área em questão. No exemplo apresentado, o prédio B corresponde a tal gabarito. Fonte: IBAM / PROCEL (1997, p. 63)

O Caderno de Encargos do Rio de Janeiro (CE-RJ, 2002) também faz referência à necessidade de proporção adequada para átrio interno, em função da insolação, para que a altura do edifício garanta no mínimo uma hora de insolação diária em cada uma das fachadas do átrio, desde o solo até o último pavimento, nos meses e orientações em que é possível haver incidência de radiação solar.

Para Brasília, os afastamentos para cada orientação deveriam ser avaliados a partir da Carta Solar, para atualização das NGBs específicas de cada setor e cidade, assim como o dimensionamento dos prismas para o COE-DF. (ver anexo 6)

Os prismas de ventilação e iluminação são determinados pelos códigos de obra, mas os afastamentos são temas pertinentes da Lei de Uso e Ocupação do Solo. O IBAM/PROCEL (1997) ressalta a importância de analisar os índices das legislações urbanas em perfeita sincronia com as disposições do Código de Obras, que no caso de Brasília, são as Normas de Edificação, Uso e Gabaritos (NGB)

Como visto no capítulo anterior, no Distrito Federal, são as Normas de Edificações e Gabarito (NGBs) e Planos Diretores Locais. (PDL) de cada setor ou cidade, que determinam de forma específica os afastamentos mínimos da edificação, as taxas de ocupação e construção, permeabilidade, coeficiente de aproveitamento, o número de pavimentos, a área verde, de forma geral, todos os parâmetros urbanísticos.

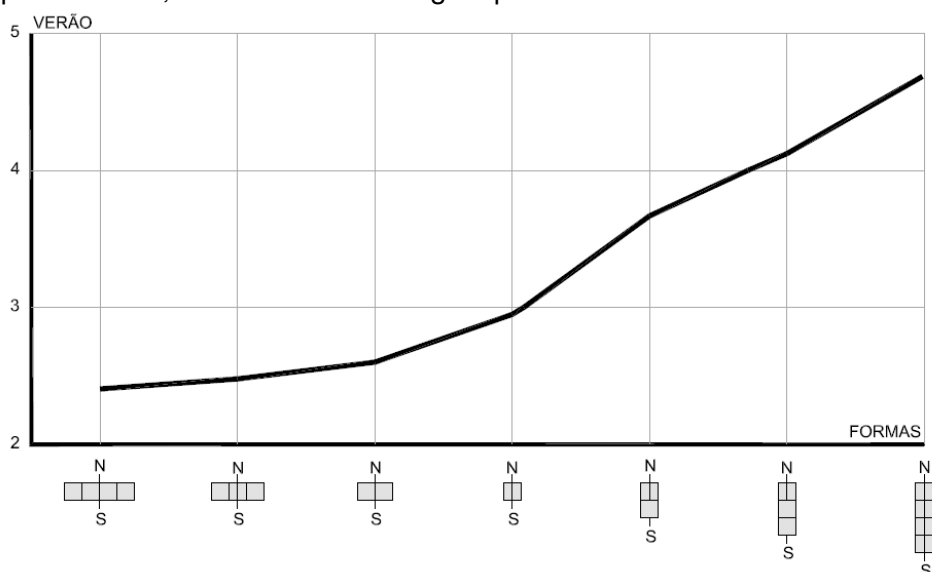
Assim, a inserção de conceitos bioclimáticos na implantação das edificações no DF, passa obrigatoriamente pela revisão simultânea do COE-DF e das NGBs.

#### 4.1.2. A forma

Segundo Serra (1989), a forma do edifício é o conjunto de características geométricas e volumétricas que ele pode ter e que é de certa maneira, seu definidor. Quando se considera a forma é importante o tratamento de seu volume, com suas proporções e seu aspecto exterior.

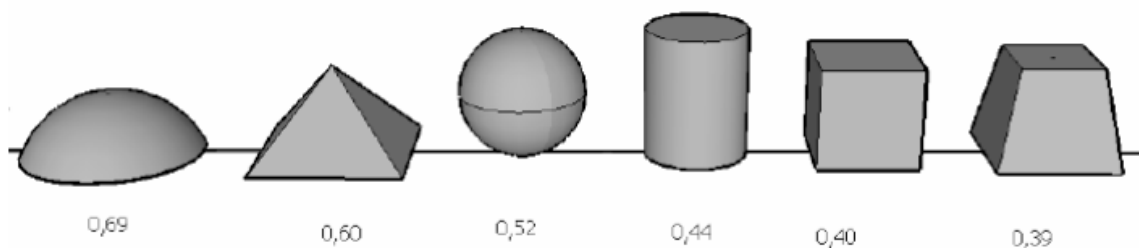
A forma arquitetônica pode ter grande influência no conforto ambiental em uma edificação e também em seu consumo energético. Isto acontece porque interfere diretamente sobre os fluxos de ar no interior e exterior, na quantidade de luz e calor recebidos.

Mascaró (1985) recomenda que a forma deve ser escolhida, então, em função da orientação disponível, de maneira a minimizar a carga térmica recebida e, conseqüentemente, o consumo de energia operante.



**Figura 24:** Variação de carga térmica recebida por um edifício em função de sua forma.  
Fonte: Mascaró (1985, p. 23)

A radiação solar que incide nas superfícies da edificação varia de acordo com a orientação e a época do ano. Assim, o mesmo volume de espaço interior pode ter formas diversas, apresentando comportamentos térmicos e luminosos diferentes. Quanto mais compactas sejam as formas, mais conservam o calor (quente ou frio) no seu interior. Quanto menos compactas, mais interagem com o meio, ganhando ou perdendo calor.



**Figura 25:** Forma dos Edifícios e Índices de Compactidade. Fonte: Oliveira (2006, p.6)

A pirâmide, a esfera e o cubo são formas clássicas de alta compactidade. Quanto mais o índice de compactidade (que parte da razão entre a área da superfície exterior e o volume da forma, subtraída da unidade) se aproximar de 0, menos conservação de energia propiciará a forma<sup>21</sup>. Quanto mais próximo de 1, maior conservação de energia. A forma com índice de compactidade maior é de maior compactidade relativamente a outras de menor índice.

As formas mais compactas, por possuírem menos áreas de superfície em relação a seu volume, trocam menos calor com o meio, deste modo, são mais conservadoras de energia. Conservam mais o frio, mas também, conservam mais o calor. É o caso da forma semi-esférica do iglu nas regiões geladas, mas, é também o caso das casas de barro semi-esféricas dos climas quentes secos encontradas em partes da África.

A introdução de aberturas permanentes e/ou com materiais translúcidos nas formas altera o seu desempenho térmico-energético. As aberturas permanentes podem diminuir a função conservadora de energia das formas mais compactas (por ação da ventilação) e aumentar sua função conservadora nas trocas térmicas das formas menos compactas, quando guarnecidas de material translúcido como o vidro ou os plásticos.

A superfície da base da forma assentada tende a ser neutra em termos de ganhos e perdas, devido à inércia térmica da terra. Deste modo, uma vez assentadas

<sup>21</sup> Mascaró (1985) ao se referir a forma bidimensional das plantas de edifícios. Lá o índice de compactidade empregado diz respeito à relação da forma bi-dimensional da planta com seu perímetro (uma linha). Aqui, abordamos o índice de compactidade da forma tridimensional, relacionando a Área de todas as superfícies de um edifício com o seu volume. (OLIVEIRA, 2006, p.6)



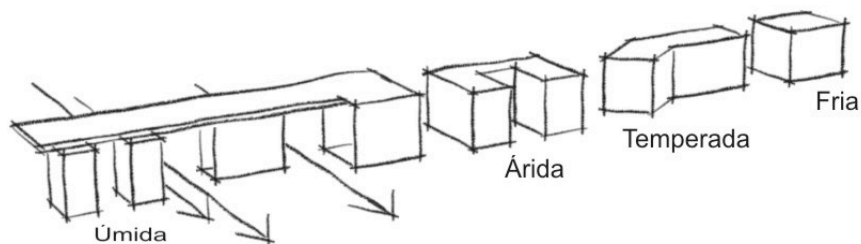
num sítio, a mesma forma apresentará desempenho diferenciado conforme seja a base assentada.

Os aspectos da forma do edifício, ressaltados por Serra (1989) são:

- **Compacidade** – relação que existe entre a superfície que envolve o edifício e seu volume, ou seja, o grau de concentração das massas que o compõem.
- **Porosidade** – este conceito estabelece uma proporção entre volumes cheios e vazios – em termos de planta baixa da arquitetura - expressando-se por meio da existência de *pátios, poços de ventilação e iluminação, dutos, etc.*
- **Esbeltez** – conceito que diz respeito a quão alongado ou contido é o volume no sentido da sua verticalidade. *Impacto climático que gera:* quanto mais esbelto menos contato com o solo e maior exposição ao sol e aos ventos;
- **Assentamento** – o grau de assentamento de um edifício sobre o solo também dispõe o edifício a maiores ou menores trocas térmicas (característica vista anteriormente ao se falar das pirâmides).

Podem-se destacar da relação Forma e Clima:

- **Formas compactas** são mais adequadas a climas mais severamente quente-seco; ou frio. As trocas de calor são mais lentas.
- **Formas medianamente compactas** prestam-se mais a climas não uniformes que apresentem períodos climáticos alternadamente quente-úmidos e quente-secos.
- **Formas pouco ou nada compactas** apresentam melhor desempenho nos climas tropicais, quente-úmidos. As trocas de calor são mais rápidas.



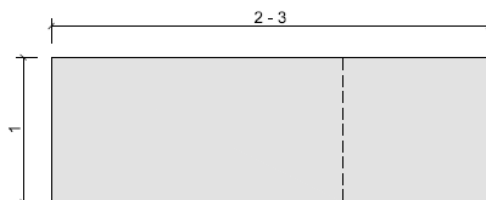
**Figura 26:** Formas adequadas para as diferentes regiões. Fonte: Adaptado de Romero (2001, p. 145)

Quanto à altura das edificações, Serra & Coch (1995, p. 247) afirmam que, quanto mais alto o edifício, menor a superfície de contato com o terreno e maior a exposição climática, resultando em maiores problemas de estratificação do ar. Para Mascaró (1985), a altura do edifício que minimiza a carga térmica recebida é uma função da latitude. De um modo geral, a autora diz que os edifícios térreos são, em

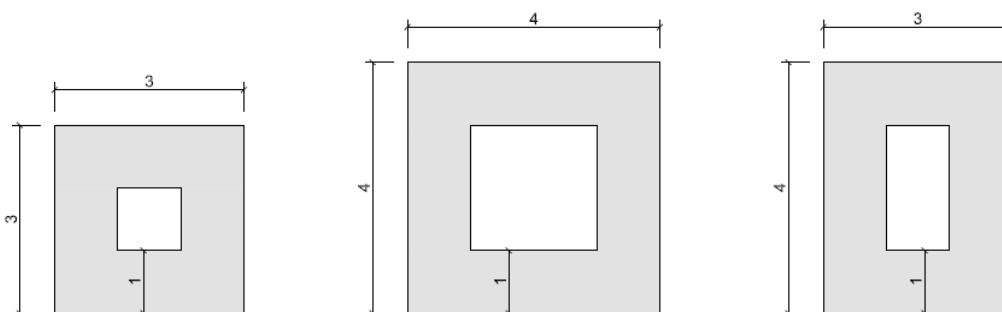
todos os casos, os que recebem maior carga térmica, sendo essa a altura mais desfavorável em qualquer latitude. Esse dado é confirmado por Rivero (1986): “as edificações em altura são satisfatórias em qualquer época do ano, pois apresentam menor quantidade de superfícies horizontais expostas à radiação”.

Apesar da forma estar diretamente relacionada com o conforto térmico e gasto energético da edificação, é um atributo pouco abordado, ou praticamente inexistente nas normas e legislações, incluindo os códigos de obras. Os limites de afastamentos e alturas são definidos sem critérios ambientais, e não são definidos em função do conjunto urbano. A porosidade é estabelecida apenas para atender aos critérios de iluminação e ventilação, quando são definidos os prismas, e mesmo estes não são definidos em relação aos condicionantes locais.

No Caderno de Encargos para Eficiência Energética em Prédios Públicos do Rio de Janeiro (CE-RJ, 2002, p. 16), não existe uma limitação da forma dos edifícios, mas uma recomendação, o que já é positivo, pois informa o projetista, devendo este fazer suas escolhas projetuais. Recomendam formas alongadas, com cômodos posicionados em linha, aberturas diametralmente opostas e amplas e o maior eixo do edifício posicionado transversal ao vento, facilitando o efeito de ventilação cruzada. Recomendam-se as seguintes proporções: Edificação sem átrio interno: planta retangular na proporção de 1:2 a 1:3. Para edificação com átrio interno, recomendam a planta com a profundidade e o lado de 1:3 a 1:4 em cada uma das fachadas.



**Figura 27:** Proporções em edifícios sem átrio. Fonte: CE-RJ (2002, p. 16)



**Figura 28:** Proporções em edifícios com átrio. Fonte: CE-RJ (2002, p. 17)

No RTQ-C, a questão da forma é abordada na avaliação da eficiência energética da envoltória, pelo método prescritivo, por meio dos parâmetros de Fator de Forma ( $\text{Área da projeção da cobertura} / \text{Área Total}$ ) e Fator de Altura ( $\text{Área da Envoltória} / \text{Volume Total}$ ).

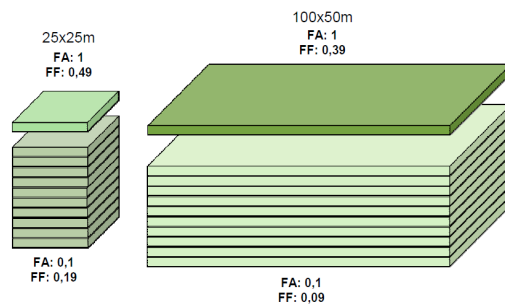
O Fator de Forma relaciona a influência da cobertura em relação à área total do edifício. Para definição deste índice no RTQ, basearam-se nos estudos de Signor (1999). O autor verificou o afirmado por vários pesquisadores (Olgay, 1973 e Mascaró, 1985) que o número de pavimentos influencia no consumo energético de uma edificação, basicamente, devido ao fato de ser a cobertura um elemento muito importante na definição das cargas térmicas.

“Em edifícios climatizados artificialmente e em climas como o brasileiro, a cobertura chega a ser o fator determinante do nível de consumo de energia elétrica, sendo que certamente o efeito é maior quanto mais baixo for o edifício. Em prédios térreos uma má cobertura exposta ao sol durante todo o dia gera desconforto e aumenta drasticamente o seu consumo de energia com resfriamento. Quando o número de pavimentos aumenta os efeitos da cobertura no consumo tendem a ser diluídos na conta total, mas os problemas com conforto e climatização persistem no último pavimento.” (SIGNOR, 1999, p. 25)

Já o Fator de Altura relaciona a influência da envoltória em relação ao volume total do edifício. Para Signor (1999), a área de fachada está diretamente relacionada com o consumo energético, uma vez que ela é a membrana que separa o interior e o exterior da edificação.

“Trocadas de calor, ventilação e iluminação são definidas por esta condicionante. Também algumas combinações entre elas e outras variáveis podem ter importância, como por exemplo Área de Fachada.  $WWR / \text{Área total}$ , que indica a quantidade de vidro por área de planta do edifício.” (SIGNOR, 1999, p. 25)

No RTQ-C, o Indicador de Consumo (IC) é calculado especificadamente para cada edifício analisado. Para tanto, são utilizados índices que representam a volumetria do edifício e possibilitam avaliar de forma comparativa a eficiência da envoltória dos edifícios. Desta forma, o Fator de Altura representa o número de pavimentos, enquanto o Fator de Forma representa as proporções do edifício. A equação do IC apresenta limites para o FF, edifícios com valores diferentes dos limites estipulados deverão usar o FF limite da equação.



**Figura 29:** Fator de Forma (FF) e Fator de Altura. Fonte: Manual do RTQ –C (2009, p. 41)

A forma, como definidora das trocas térmicas da edificação, responsável pelo equilíbrio entre os ganhos e as perdas de energia, deve ser estudada com critério pelos projetistas. A definição rígida da forma nas legislações pode ser vista como limitadora de projeto, mas não se pensada de forma abrangente, na escala da cidade, para determinação da rugosidade e porosidade da malha urbana, fruto de uma composição espacial.

Lúcio Costa, ao definir as projeções das edificações residenciais, estabelece um volume próprio ao clima da cidade, dentro de um novo conceito modernista de habitação. Os edifícios residenciais dentro das superquadras, por exemplo, no projeto original da cidade, tinham uma proporção (12,5 x 85m) que possibilitava o conforto no espaço público e no interior das edificações, em relação à radiação solar e ventilação.

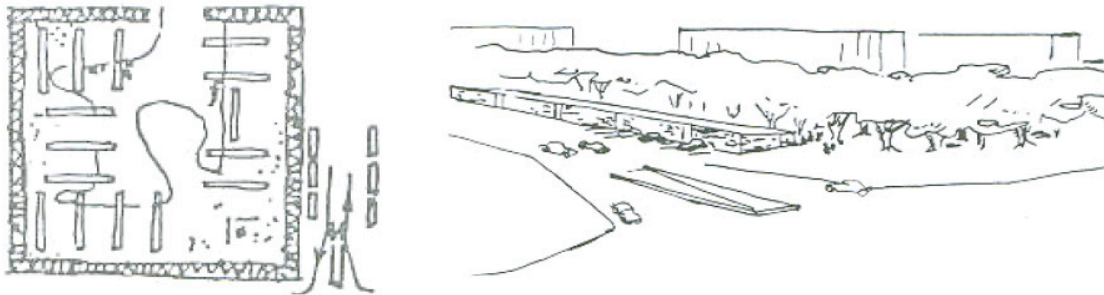
O conceito modernista da superquadra tem como precedentes as discussões de alteração da morfologia da cidade tradicional, frente aos problemas gerados pela industrialização (higienistas e habitacionais), pós-guerras e princípios socialistas de um viver comunitário.

“A habitação passa a ser o foco da organização da cidade. O que se queria instituir, então, eram novas formas de morar, tendo por premissas o abandono da residência isolada e a adoção da solução canônica para a habitação modernista – o conjunto habitacional constituído por unidade iguais, idealmente eiradas em um sistema construtivo que permitisse sua produção em série. E esta nova tipologia é que deveria definir o espaço urbano.” (MACHADO, p.40, 2007)

Em Brasília, as superquadras, para Lúcio Costa, seriam

“grandes quadras dispostas, em ordem dupla ou singela, de ambos os lados da faixa rodoviária, e emolduradas por uma larga cinta densamente arborizada, árvores de porte, prevalecendo em cada quadra determinada espécie vegetal, com chão gramado e um cortina suplementar de arbustos e folhagens, a fim de resguardar melhor, qualquer que seja a posição do observador, o conteúdo das quadras, visto sempre num segundo plano e como que amortecido na paisagem.”

(COSTA, p.42, 1957)



**Figura 30:** Croquis de Lúcio Costa para a superquadra. Fonte: COSTA (1957, p. 43 e 47)

As projeções dos edifícios residenciais previam a forma delgada e a altura de seis pavimentos, resultam em edifícios em forma de lâmina, com duas fachadas principais para onde se abrem as janelas e duas fachadas que são normalmente cegas.



**Figura 31:** Ville Contemporaine, Le Corbusier, 1922. Fonte: Machado (2007)

No conceito modernista, a forma linear pressupõe a ausência de hierarquia entre as partes e propicia a equivalência de condições para todos os elementos que configuram uma estrutura, dentro das aspirações de uma sociedade mais igualitária. (MACHADO, 2007)

A concepção da superquadra de Brasília, dentro do conceito geral da cidade, está pautada em duas vertentes essenciais: a morfologia (estética e ambiental) e a urgência. A questão morfológica, com bases sólidas do modernismo, buscava o ideal de moradia, combinando o sonho da cidade funcional do futuro com a integração com a natureza, onde espaço urbano seria todo envolvido por grandes áreas verdes entre as habitações, de forma homogênea, com caráter acima de tudo coletivo. Já por outro lado, existia a urgência da construção da cidade, em três anos e meio, o que ia de encontro com o modelo modernista do edifício “tipo”, que permite otimização do tempo de obra.

Assim, a morfologia da superquadra em Brasília é marcada predominantemente pelos edifícios isolados, distribuídos em uma difusa paisagem de áreas verdes, e representa um exemplo máximo de dissolução do quarteirão tradicional. Existe uma separação da circulação dos veículos e dos pedestres e no interior da quadra, sendo

que estes podem caminhar livremente, uma vez que a permeabilidade é reforçada pelos terraços em pilotis.



**Figura 32:** Superquadras de Brasília-DF. Plano Piloto de Lúcio Costa. Fotos Nelson Kon

Em seu estudo sobre a super quadra de Brasília, considerando o pensamento e a prática urbanística, Machado (2007), caracterizou os blocos residenciais, que em sua maioria (97,5%) estão dispostos numa configuração ortogonal de implantação em relação à entrada da quadra.

### SQS 308 -1959



**Figura 33:** Implantação dos blocos na Super Quadra 308 Sul. Fonte: Machado (2007)








Uma especificidade das superquadras, e de outras áreas de Brasília, é a ausência de lotes. A unidade de parcelamento é a projeção, uma terminologia para designar uma parcela urbana que é 100% ocupada pela edificação e que, na maior parte das vezes, libera o solo da ocupação do prédio, por encontrar-se apoiada sobre pilotis. A projeção em Brasília é grande definidora da forma dos edifícios.

Esta maneira particular de definição de ocupação do solo, em projeções, muitas vezes gera uma série de confusões, apesar de ser largamente utilizado desde a criação

da cidade, principalmente pela indefinição de domínio público e privado que ele carrega, resultante da liberação do solo no pavimento térreo, para circulação de pedestres.

“Na superquadra, todo o pilotis é de uso público, devendo estar à disposição da coletividade. Em Direito Urbanístico, o conceito de domínio público é definido como todo aquele que reconhece sua utilização à sociedade em geral, sem discriminação de usuários ou de ordem especial. Essa ambigüidade tem implicado na constante reivindicação de fechamento dos pilotis para uso privado dos moradores dos blocos”. (MACHADO, 2007, p. 93)

A forma predominante, retangular, facilita a iluminação e ventilação naturais. Segundo Machado (2007, p. 94) é possível identificar algumas variações tipológicas sobre o tema da projeção nas superquadras, mas “a presença de formas puras ‘banhadas de luz e de ar’ é impressionante. Era o Movimento Moderno”.

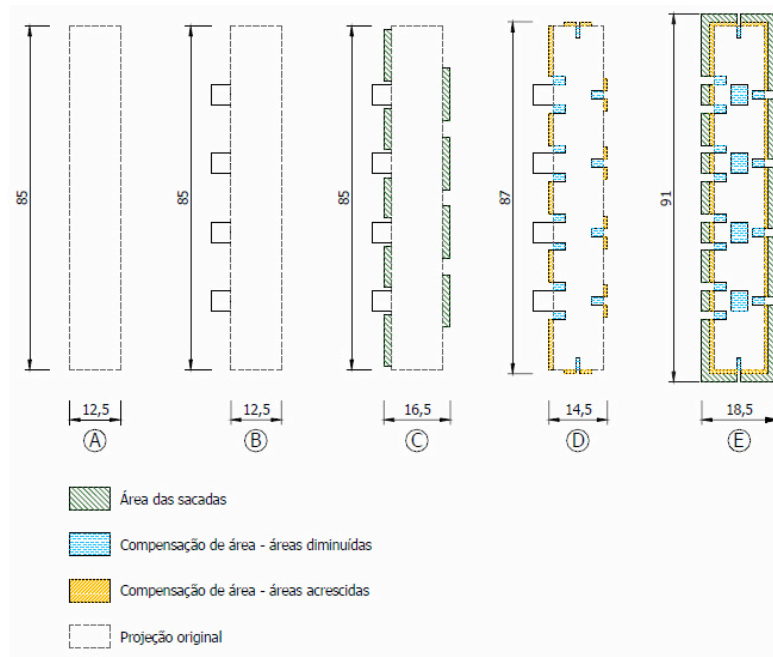
	Forma	Local
Tipo 1		SQS SQN
Tipo 2		SQDS SQDN
Tipo 3		SQS SQN
Tipo 4		SQS, SQN SQDS, SQDN
Tipo 5		SQS 207
Tipo 6		SQS 207
Tipo 7		SQN 204

Retangular = 96,04 %  
 Quadrada = 2,27%  
 H = 1,69%

**Figura 34:** Tipologias de formas de projeção. Fonte: Machado (2007)

Durante as últimas décadas foram introduzidas muitas modificações nos códigos de obras, alterando a forma da projeção e do pavimento tipo, sempre favorecendo os interesses imobiliários. Um bloco típico de seis pavimentos da década de 1960 possuía 48 apartamentos. Os edifícios novos com o mesmo gabarito de seis pavimentos e construídos formalmente sobre as mesmas projeções chegam a abrigar 96 apartamentos.”(BRAGA, 2005, p. 15)





**Figura 35:** Alterações na forma da projeção dos edifícios residenciais do Plano Piloto.  
Fonte: BATISTA (2003, p.9)

Agora, as quadras novas do Plano Piloto, ou de outras cidades do DF, possuem projeções mais largas, o que prejudicou o desempenho térmico-energético das edificações e das áreas do entorno, confirmado por Braga (2005) e Romero (2007).

O código de 1989 permitiu o uso de sacadas, por meio de compensação de área. A regra permite que a área das reentrâncias criadas na projeção devido a poços de ventilação e iluminação possa ser compensada em seu perímetro em balanço até um metro. Neste código também foi autorizada a compensação da área de circulações verticais no interior da projeção para fora do perímetro. Esta medida contribuiu para o desaparecimento dos apartamentos vazados e a conseqüente abolição da oposição tradicional frente/fundos.

“Uma das conseqüências desta medida é uma sensível piora no desempenho térmico e luminoso dos ambientes internos. Os apartamentos não vazados não permitem ventilação cruzada e recebem luz natural somente de um lado, o que resulta na maioria dos casos em apartamentos com banheiros servidos por um poço de ventilação e sem iluminação natural. Além disso, isso implica necessariamente apartamentos onde todos os cômodos são voltados para faces que recebem alto grau da insolação (nordeste, norte, noroeste, oeste) necessitando de proteções solares nem sempre aplicadas.”(BRAGA, 2005, p. 16)

Segundo Machado (2007) o morar em Brasília vem sofrendo alterações. Enquanto os blocos mais antigos se aproximam da concepção original de Lúcio Costa,



percebe-se que os novos edifícios estão se afastando do repertório da arquitetura moderna e se adaptando às circunstâncias do mercado. As lâminas horizontais com plano de vidro e cobogó foram lentamente substituídas por prédios repletos de reentrâncias e com uma volumetria mais larga pelos ganhos decorrentes das concessões de ocupação de área pública em espaço aéreo.

“A ocupação individualizada da cobertura também vem proporcionando uma leitura heterogênea do conjunto do bloco. Portanto, os novos edifícios, longe de remeter ao vocabulário formal da arquitetura moderna, trazem uma estranha combinação entre uma arquitetura moderna pouco ortodoxa e o que seria a imagem de uma ‘edificação moderna’.” (MACHADO, 2007)

A autora ressalta a influência negativa que as alterações legislativas tiveram na configuração morfológica das edificações e do espaço público na cidade. Os projetos mais recentes se beneficiaram de novas regras introduzidas no código de obras, com concessões “precárias” de uso e ocupação de área pública em espaço aéreo, em subsolo e pilotis, que transformaram de forma significativa os edifícios construídos atualmente.

O pilotis, que permite o livre atravessamento do solo tem sido objeto de alterações. Lauande (2006) defende o pilotis e alerta que

“o uso do pilotis, em especial na superquadras mais novas, demonstra a subversão mais grave relativa ao conceito imaginado por Lúcio Costa. A desarmonia entre a implantação do edifício e topografia aliada ao fenômeno da privatização parcial do pavimento térreo – que passou a ser usado, não apenas para os acessos, mas também para espaços como o *salão de festas* – limitou o pilotis, do ponto de vista formal, à leitura como um elemento, cujo sentido da existência encontra-se praticamente limitado ao cumprimento de uma exigência do código de obras. Com efeito, o resultado do conjunto em uma superquadra ficou sujeito ao nível de comprometimento dos arquitetos e das incorporadoras com o conceito original. Preservou-se a visibilidade, mas não o mais importante, a permeabilidade. Os edifícios, aos poucos, transformaram-se em barreiras arquitetônicas que dificultam inelutavelmente o deslocamento de transeuntes e privam a população de usufruir os ensinamentos de grandes mestres da arquitetura.” (LAUANDE, 2006)

Mas Ramos (2009) concluiu que a qualidade de vida encontrada na superquadra é muito valorizada pelos moradores que nela residem<sup>22</sup>.

---

<sup>22</sup> Da população inicial, muitos dos que vieram transferidos permaneceram. Conhecem bem as superquadras. Em 60% dos casos estudados a habitação anterior estava localizada em outra quadra do Plano Piloto. Admitem que “adquiriram

“Há um prolongamento das relações sociais estabelecidas entre o uso da habitação e o uso dos espaços exteriores. Esta associação permite identificar a superquadra como uma referência cuja imagem tem vindo a renovar-se, mas não os seus princípios orientadores. A preservação da escala quotidiana enquanto espaço permeável, arborizado e de uso coletivo volta a ser defendida. Em atenção ao Plano Piloto, patrimônio urbanístico tombado? Com certeza, mas também em atenção ao modo inovador e excepcional de morar em superquadra que continua a agradar àqueles que nela vivem.” (RAMOS, 2009)

Percebe-se assim, que está havendo uma inversão no direito ao espaço privativo e da relação das pessoas com o espaço público. Agora existe uma nova morfologia, tanto do espaço público, quanto do privado. As habitações estão cada vez menores, e os espaços coletivos privados cada vez maiores, uma oposição completa ao conceito original de Brasília.

Na concepção original, num sistema coletivo de propriedade do solo, vendeu-se ao usuário apenas o direito de construir, quer dizer, a projeção para construir edifícios habitacionais sobre pilotis, ao redor de um parque. (ROMERO, 2007) Os edifícios tinham seus espaços interiores bem dimensionados e a socialização era realizada nos espaços públicos coletivos.

As novas edificações, em novos setores e cidades, já estão sendo concebidas sem a integração com o espaço público. São grandes condomínios verticais fechados, com amplas áreas de lazer para os moradores, mas completamente isolados do exterior, exatamente o que vem acontecendo nas grandes cidade brasileiras.

Esta deformação do conceito original da superquadra é reforçada pelo mercado imobiliário, que procurando atender aos anseios de segurança da população, vende a idéia da qualidade de vida que se tem no interior das superquadras do Plano Piloto, mas vinculado a uma configuração espacial oposta aos princípios básicos modernistas, que eram amplos espaços coletivos públicos, permeáveis com os pilotis das edificações e as áreas verdes, com caráter acima de tudo comunitário.

---

qualidade de vida” ao optarem pela superquadra e muitas vezes o “regresso ao local de origem está fora de questão”. Muitas das alterações realizadas no interior do apartamento refletem o modo como a população tem procurado adaptar o espaço de residência às novas expectativas e necessidades surgidas ao longo do tempo.” (RAMOS, 2009)

Temos o ápice da deturpação, quando nas campanhas publicitárias, o nome “superquadra” foi apropriado de forma indevida, sem um cuidado conceitual com o seu significado crucial.<sup>23</sup> (Superquadra Brasília, Superquadra Atlântida, ver anexo 7)

Esta discussão é pertinente, pois o conceito da composição de Lúcio Costa para a superquadra define a forma dos espaços públicos e privados, numa configuração indissociável: o espaço público define o privado, assim como os blocos dispostos configuram o urbano, e são integrados pela permeabilidade em todas as escalas. É possível comprovar que o conceito original da superquadra se opõem totalmente ao vinculado nas propagandas das “novas” superquadradas.

É necessário uma atenção especial no que está acontecendo, pois as mudanças legislativas são lentas e silenciosas, influenciadas por alterações gradativas que se estabelecem e passam a influenciar e exigir legalidade para discrepâncias implementadas. Se este “novo” conceito de superquadra é estabelecido, poderá também ser usado como argumento para alterações nas superquadradas existentes, mesmo que não seja nas do Plano Piloto, que está tombado, mas nas outras cidades, que já possuem grades fechando as áreas dos edifícios em pilotis, como é o caso do Cruzeiro, Guará e Taguatinga. As quadras, que originalmente eram abertas e influenciadas diretamente pelo conceito de Lúcio Costa, atualmente estão cercadas por alambrados e tentam buscar esse novo ideário de “superquadra segura”.

Para Lúcio Costa (Zapatel, 2009), as Superquadradas são livres,

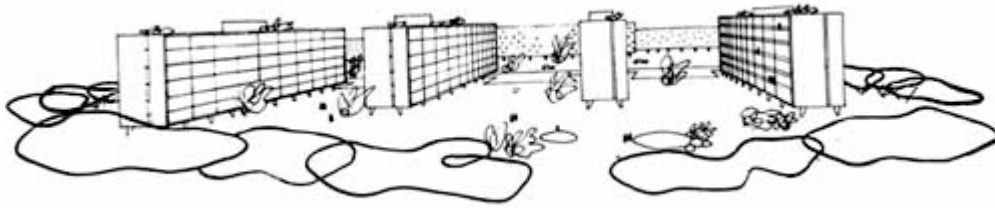
“definidas no espaço, não por muralhas medievais como se fossem muros formando uma área fechada completamente, mas por renques contínuos de árvores ao longo desses quadrados, que definiriam com o tempo no espaço, as copas se emendando, uma verdadeira parede de fato verde que não tinha nada a ver com aquela muralha medieval de pedra, porque é uma muralha que mexe com o vento, que respira, você vê através.”

Sobre o pilotis, Lúcio Costa, explica a necessidade de permeabilidade:

“Como na época já havia adequação arquitetônica as novas tecnologias construtivas, permitiam que os prédios fossem construídos sem fechar, sem estar apoiados no chão, mas sobre um tabuleiro de colunas, segurando um tabuleiro. Isso alterava muito porque você então permite que as pessoas atravessem a vista também, entrem não pela frente ou pelos fundos, mas por baixo do prédio. O acesso flui livremente através dos prédios, apesar dos prédios.” (ZAPATEL, 2009)

---

<sup>23</sup> Estamos vivenciando em Brasília, com o uso do nome “superquadra”, algo muito parecido com o modismo dos nomes estrangeiros para os edifícios, como se estes transmitissem qualidade para o espaço construído ou status, tão cobiçados pelas classes média e alta. Temos o “*Maison Royale*”, o “*Living Garden*”, o “*Park Boulevard*” ou “*Dolce Vitta*”, e agora em Brasília, as “novas” superquadradas.



**Figura 36:** Croqui de Lúcio Costa para a Superquadra. Fonte: COSTA (1957, p.48)

Falar do conceito da superquadra, é prestar atenção no que Lúcio Costa, acima de tudo pretendia: dar liberdade à pessoas.

“Gostaria que fossem até mais livres (...) O gramado é um lugar mais para uso, não um gramado daquele tipo “não pise na grama”, ao contrário “pise na grama”, um gramado para você usar, como se fosse um tapete verde, as pessoas sentam, põem suas cadeiras ai se quiserem, deitam, ficam ali, usam, brincam a vontade! Inclusive as crianças aproveitam bem os espaços abertos, protegidos pelas árvores, elas brincam, correm...Livres, é ... (pausa). Sem ser aquela coisa murada, aquela coisa fechada, com guarda de entrada, onde você tem que mostrar passaporte.”  
Lúcio Costa ( Zapatel, 2009)

O modelo de superquadra faz parte da identidade de Brasília e cabe as legislações, como o código de obra, preservar o conceito original tombado como patrimônio.

#### **4.1.3. A orientação**

Segundo Mascaró (1992), a orientação do edifício influi sensivelmente na quantidade de calor por ele recebida. As maiores fachadas devem ter menor exposição ao sol e receber menor carga térmica para climas quentes, e vice-versa para climas de rigoroso inverno. Por isso, é importante que o arquiteto conheça o clima local e conseqüentemente as recomendações bioclimáticas específicas.

A importância da orientação, em função da radiação térmica, está associada à latitude do local onde se implanta o edifício. Verifica-se que a medida que diminui a latitude (aproxima da Linhas do Equador: clima quente-úmido ), a orientação em função da radiação solar perde importância (todas as fachadas recebem muita radiação), sendo fundamental a orientação em função dos ventos dominantes para obtenção de conforto ambiental.

A forma da edificação também deve ser em função da orientação, de maneira a minimizar a carga térmica recebida e conseqüentemente o consumo de energia.

Mascaró (1985) aconselha orientar o edifício na direção dos ventos dominantes, e sempre que possível, nas latitudes maiores, fazê-lo favoravelmente em relação à carga térmica recebida no período quente.

Já para os locais com problemas de desconforto pelo frio, deve-se analisar criteriosamente a orientação da edificação em função dos ventos e radiação solar, para não promover perdas pelo excesso de ventilação e pouco ganho de calor pela exposição ao sol.

Em Brasília, a carga térmica recebida pelos planos da edificação (fachadas e coberturas), segundo o software Luz do Sol 1.1, pode ser sistematizada em tabela, de acordo com a orientação, nos dias significativos do ano (solstícios e equinócios):

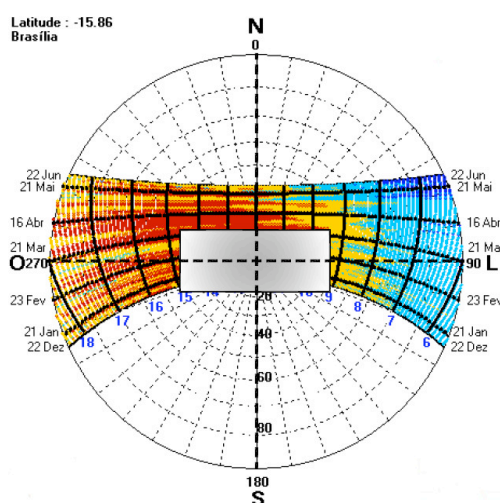
**Tabela 6:** Radiação Solar (totais diários W/m<sup>2</sup>), para orientação 0°, em Brasília

	<b>NORTE</b>	<b>LESTE</b>	<b>SUL</b>	<b>OESTE</b>	<b>COBERTURA</b>	<b>TOTAIS</b>
<b>21 de Dezembro</b> (verão)	<b>1.080</b> 3,11%	<b>6.235</b> 17,97%	<b>5.169</b> 14,90%	<b>6.235</b> 17,97%	<b>15.977</b> 46,05%	<b>34.696</b>
<b>22 de março</b>	<b>4.510</b> 14,26%	<b>5.896</b> 18,64%	<b>984</b> 3,11%	<b>5.896</b> 18,64%	<b>14.350</b> 45,36%	<b>31.636</b>
<b>22 de setembro</b>	<b>4.621</b> 14,58%	<b>5.888</b> 18,58%	<b>983</b> 3,10%	<b>5.888</b> 18,58%	<b>14.318</b> 45,17%	<b>31.698</b>
<b>21 de junho</b> (inverno)	<b>9.326</b> 32,12%	<b>4.363</b> 15,03%	<b>793</b> 2,73%	<b>4.363</b> 15,03%	<b>10.186</b> 35,09%	<b>29.031</b>
<b>TOTAIS</b>	<b>19.537</b> 15,38%	<b>22.383</b> 17,62%	<b>7.929</b> 6,24%	<b>22.383</b> 17,62%	<b>54.832</b> 43,15%	<b>127.064</b>

Percebe-se que a maior exposição à radiação, e portanto maior carga térmica é recebida pela cobertura (43,15%). Já a fachada Sul é a orientação que recebe menos insolação (6,24%), principalmente no inverno, o que agrava a sensação de desconforto pelo frio, nas edificações, em especial as residenciais, no período noturno. A fachada Norte recebe maior radiação que a fachada Sul, uma vez que, nessa latitude, o eixo de trajetória do sol, é inclinado para essa direção.

Apesar das fachadas Leste e Oeste receberem a mesma radiação solar, a carga térmica na fachada oeste é maior, pois o horário de exposição aos raios solares do período da tarde, tem impactos maiores em relação a temperatura, o que direciona uma recomendação para menores áreas expostas nessa orientação. A fachada leste, além de receber a radiação solar no período diurno, também é favorecida por estar na direção dos ventos dominantes.

A recomendação para implantação das edificações no eixo leste-oeste, com as maiores fachadas expostas para a direção Norte e Sul, como recomendado por vários autores (Romero, 2001; Olgyay, 1973; Frota e Schiffer, 2003; Bittencourt, 2004 e Oliveira, 1988) também é válida para a cidade de Brasília, como visto na carta solar, onde as maiores fachadas voltadas para Norte e Sul, recebem menor carga térmica. Mas é importante considerar as especificidades do projeto, principalmente em relação à orientação dos ambientes, pois como o clima da cidade possui amplitudes diárias e anuais altas, a generalização da melhor orientação no eixo leste-oeste não garante o conforto térmico, principalmente no período frio, na fachada sul.



**Figura 37:** Exposição das fachadas segundo orientação para Brasília. Programa SOL-AR.

O entendimento da influência da orientação para exposição das fachadas à radiação solar é fundamental para o projetista, principalmente relacionado a outros condicionantes, como uso dos ambientes, ventilação, forma, aberturas e proteções solares.

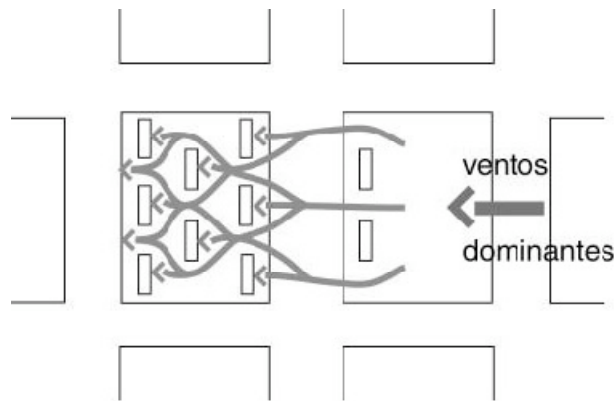
A função também é importante, pois limita a preocupação do projetista com as questões de conforto específicas da tipologia. Por exemplo, para um edifício de escritório, o conforto noturno não é um condicionante de projeto. Em Brasília, que existe um desconforto pelo frio noturno, grandes fachadas para o sul, em edifícios residenciais, se não forem tomadas outras medidas como inércia térmica e controle da ventilação, pode ser desagradável para os usuários.

Assim, a questão da orientação das fachadas não deve ser tratada de forma isolada e muito menos dentro de um padrão fixo, como nenhum outro condicionante bioclimático.

Toledo (2001), na análise do Código de Maceió, para verificar a influência da orientação e ventilação no conforto térmico de dormitório, formatou um Diagrama de

Orientação Preferenciais<sup>24</sup> para os dormitórios. E o autor alerta, que não só a orientação favorável irá definir o bom resultado de desempenho, mas também as tipologias construtivas e o detalhamento dos elementos construtivos. Além das situações de Verão e Inverno, também foram analisadas as situações de Primavera e Outono, bem como para os períodos da manhã e tarde.

As legislações geralmente não tratam da orientação das edificações. De forma positiva, o CE-RJ (2002), em relação à orientação, recomenda que os edifícios devem preferencialmente ser implantados com seu maior eixo perpendicular a direção dos ventos dominantes, de forma a não obstruir as correntes de ar e minimizar os efeitos da ilha de calor em áreas densamente construídas. Os edifícios também devem estar preferencialmente orientados com seu maior eixo na direção Leste-Oeste.



**Figura 38:** Ventilação urbana (CE-RJ, 2002, p. 14)

Já no RTQ-C, a questão da orientação da edificação é abordada na definição da Porcentagem de Aberturas na Fachada (PAF), valor que é inserido na equação de cálculo do Índice de Consumo da envoltória. Segundo o RTQ-C, o cálculo do PAF deve ser realizado determinando o PAF parcial da fachada oeste, denominado  $PAF_o$  e o PAF de todas as fachadas. Caso o  $PAF_o$  seja superior ao  $PAF_T$  (todas as fachadas do edifício incluindo a fachada oeste) em 20% ou mais, deve-se adotar o  $PAF_o$  na equação. Isto porque aberturas voltadas para a fachada Oeste têm um impacto muito maior em relação ao recebimento de carga térmica, e conseqüentemente, tem maior influência na eficiência energética da edificação.

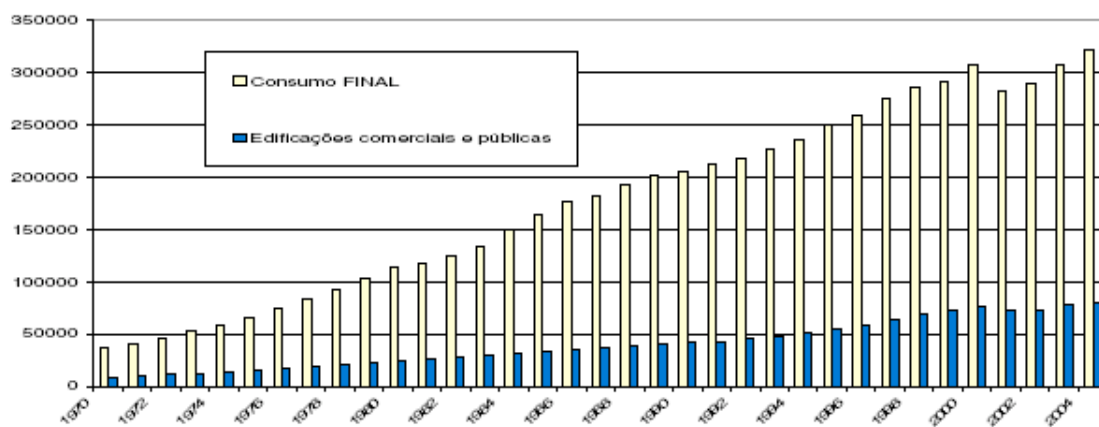
<sup>24</sup> Diagramas propostos a partir da metodologia utilizada por Mascaró para a cidade de Porto Alegre, em função da insolação e ventilação.

#### 4.1.4. A função

A função da edificação determina seus gastos energéticos, pois as funções residencial e comercial são distintas do ponto de vista da dependência do clima e conseqüentemente, do conforto térmico e consumo de energia.

O horário de funcionamento de um edifício comercial ou público, em geral durante o dia, expõe constantemente os usuários aos efeitos do calor do sol. Isto aliado ao maior número de usuários e ganhos internos elevados (iluminação e equipamentos) vem refletir no uso quase constante de aparelhos de ar condicionado. O fato usual de não previsão da incidência de luz natural leva essas funções a dependerem excessivamente da iluminação artificial, mesmo durante o dia. Em ambientes de trabalho as temperaturas para conforto térmico são menores, em função da percepção do usuário em relação à quantidade de pessoas, vestimenta e atividade corporal.

Segundo o Balanço Energético Nacional de 2007(BEN, 2007) aproximadamente 22,4% da energia elétrica no país destinam-se a edificações do Setor Comercial e Público, e o consumo tem aumentado ao longo dos anos.



**Figura 39:** Consumo de energia elétrica no Brasil por edificações públicas e comerciais. (BEN, 2007).

A partir de pesquisas desta tipologia em várias capitais brasileiras, percebeu-se existir uma uniformidade nessas edificações, com muitas características semelhantes, o que possibilitou a criação de modelos representativos, para determinação de parâmetros mais significativos no gasto energético, assim como métodos de avaliação. (GOULART, 1998).

Como as atividades comerciais tendem a uniformizar alguns parâmetros relacionados ao consumo, como cargas internas ou horas de uso, a avaliação comparativa a partir de edificações comerciais ou públicas de mesma atividade é



comum em diversos países. A partir de simulações computacionais dessa tipologia, foi possível determinar um padrão de avaliação da eficiência por fórmulas prescritivas<sup>25</sup>.

Assim, a partir de mais de 10.000 simulações foram obtidas equações específicas para as cidades estudadas e tipologias, possibilitando uma análise simplificada do desempenho energético das edificações, segundo as variáveis mais importantes no consumo energético.

Simulações de consumo de energia aplicando algumas prescrições de eficiência energética, para proposta de revisão do Código de Obras de Recife, indicaram potencial de economia para tipologias Comerciais e Públicas. As prescrições simuladas limitavam-se a tipos de vidros e proteções solares para as janelas e usos de controles do tipo liga-desliga no sistema de iluminação artificial quando houvesse luz natural suficiente no plano de trabalho. “A economia variou de 7% a 21% para os 8 modelos de edificações simuladas, comparados a outros 4 modelos utilizados como referência”. (CARLO, PEREIRA e LAMBERTS, 2004)

Essa economia foi ampliada após definição de prescrição que englobasse as diversas variáveis que contribuem no consumo de energia de uma edificação. Apesar de não ser possível aplicar essa prescrição em todas as edificações, existe um benefício significativo nas estimativas de consumo de energia elétrica de uma edificação e dos custos associados a este consumo.

A proposta do Código de Obras de Salvador (CARLO e LAMBERTS, 2003) com a inclusão de parâmetros de eficiência energética, foi formatada a partir de prescrições específicas para definição de limites de propriedades térmicas dos componentes segundo as necessidades do clima local.

Já em uma residência a luz natural é tratada com maior importância, pois além de promover conforto ambiental, interação com o espaço externo, higiene e salubridade, é fundamental para a economia de energia, paga diretamente pelo morador. Também se torna mais viável a instalação de sistemas passivos de resfriamento, visto a relação com o espaço exterior ser mais efetiva que em edificações comerciais e públicas.

---

<sup>25</sup> As normas internacionais de eficiência energética geralmente fornecem pelo menos três opções de atendimento: por prescrição, por permutação e por desempenho, sendo que os dois últimos comparam o projeto proposto com um projeto de referência modelado pelas prescrições. Esse é o caso da Standard 90.1 da ASHRAE, norma americana de eficiência energética que abrange a envoltória, sistemas de iluminação, aquecimento de água, condicionamento de ar e equipamentos.

Na maioria dos códigos de obra, a funcionalidade é abordada em relação à permanência do usuário no ambiente, e por isso, estes são classificados como de permanência prolongada e transitória. Mas em poucos existe uma diferenciação na abordagem dos parâmetros em relação ao uso da edificação.

De acordo com os princípios bioclimáticos, é fundamental que todos os parâmetros da edificação (implantação, forma, orientação, fechamentos, aberturas, proteções solares e dimensões internas) sejam avaliados de forma específica para cada uso. Um quarto e uma sala de trabalho, apesar de serem ambientes de permanência prolongada, têm necessidades diferenciadas para atender ao conforto térmico do usuário, assim como ter um bom desempenho energético.

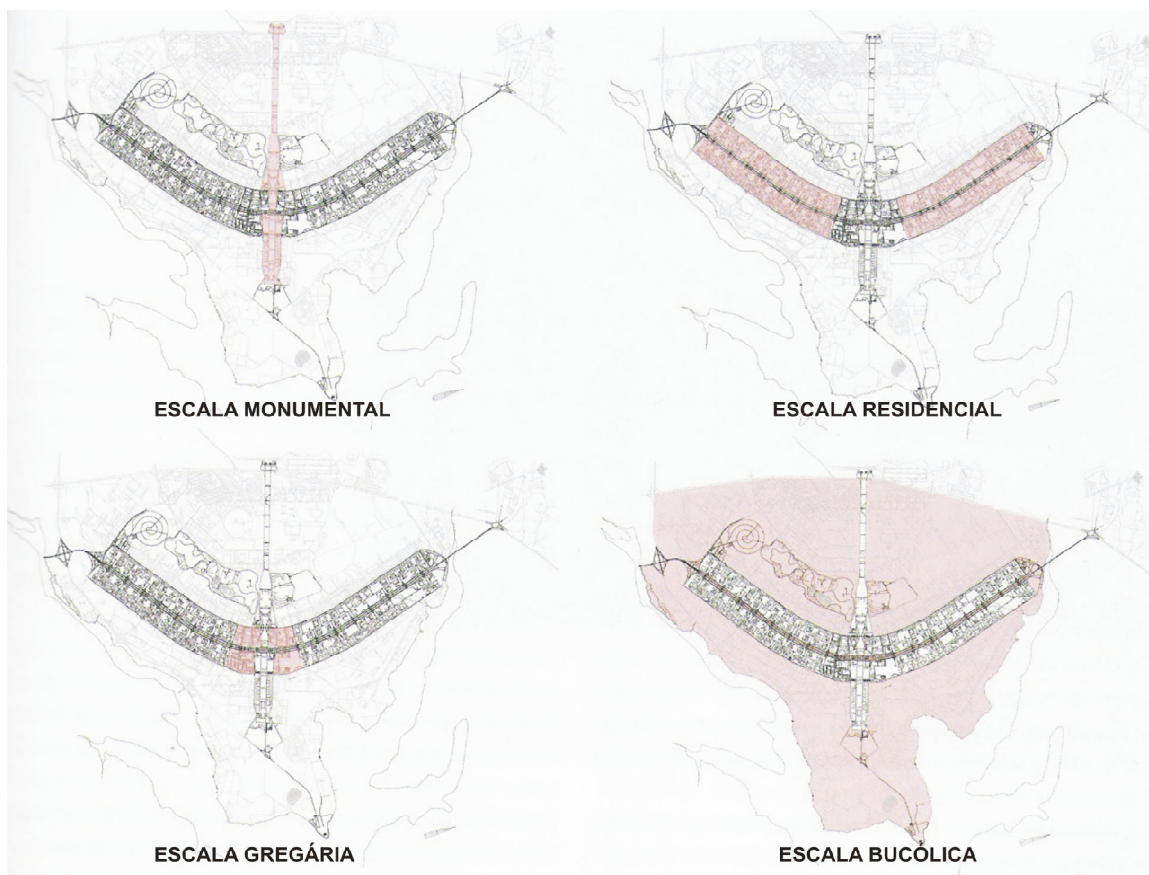
Em Brasília, a função das edificações também está diretamente relacionada à sua morfologia, uma vez que no Plano Piloto, Lúcio Costa estabeleceu diferentes escalas para a cidade. Existe uma divisão funcional dos setores, com especificidades de morfologia e percepção.

O projeto de Brasília foi definido a partir de dois eixos perpendiculares: o eixo rodoviário arqueado, disposto na posição norte-sul; e o eixo monumental, no sentido leste-oeste.

O projeto do Plano Piloto nasceu de um gesto primário, a partir do cruzamento de dois eixos, onde buscou adaptar-se à topografia, seguindo a melhor orientação e escoamento das águas (COSTA, 1995). A intenção era criar algo novo, diferente do existente, conferindo um caráter monumental, que o arquiteto considerava como necessário para uma capital. Para isso, adotaram-se as diretrizes da Carta de Atenas de Le Corbusier, privilegiando o automóvel, realizando o zoneamento funcional, limitando o tamanho das construções, concentrando-as em cinturões verdes, eliminando a idéia de rua-corredor e criando vias de circulação sem cruzamentos com mudanças de níveis, etc.

A cidade é organizada em quatro escalas: Residencial, Bucólica, Monumental e Gregária (COSTA, 1995). A escala Residencial é definida por 12 km no sentido norte-sul e abriga a superquadra, com gabarito uniforme. A escala Bucólica é marcada pela presença da área livre e verde, com o objetivo de oferecer um espaço de contemplação aos cidadãos. Já a escala Monumental corresponde ao Eixo Monumental, no sentido leste-oeste, indo da praça dos Três Poderes até a Rodoferroviária. Por fim, a escala Gregária, se compõe dos quatro cantos resultantes do cruzamento dos Eixos

Monumental e Rodoviário, representando o centro da cidade e concentrando os setores de serviço.



**Figura 40:** Escalas do Plano Piloto de Brasília. Fonte: Silva (2007)

A escala Residencial absorve o Setor de Habitação Coletiva Norte e Sul (SHCN/SHCS), ao longo do Eixo Rodoviário. As Habitações Coletivas possuem limitações de volume (até 6 pavimentos), e os edifícios se encontram soltos, sobre pilotis e com grandes áreas verdes ao redor.

Já a escala Monumental, ao longo do Eixo Monumental, é onde se encontram os edifícios públicos dos Governos Distrital e Federal, desde a Praça dos Três Poderes, passando pela torre de TV até a Rodoferroviária. São edificações com morfologia singular, e caracterizam-se por serem os marcos visuais de percepção e orientação da cidade.

A escala Gregária abrange os edifícios comerciais, autarquias, institucionais, hotéis, etc, dos Setor Bancário Sul e Norte (SBS e SBN), Setor de Autarquias Sul e Norte (SAUN e SAUS), Setor Comercial Sul e Norte (SCS e SCN), Setor de Rádio e Televisão Sul (SRTVS), Setor Hoteleiro Sul (SHS) e Setor de Administração Federal

Sul59 (SAFS). São edifícios altos, concentrados no cruzamento dos principais eixos, e configuram o lugar central da cidade.

A Escala bucólica é orgânica, e permeia as outras três, por meio da vegetação, configurada principalmente pelas grandes áreas de cerrado.

O zoneamento funcional e morfológico, proposto no Plano Piloto, influenciou o desenho urbano de várias cidades do Distrito Federal, que em maior ou menor proporção, adaptaram o modelo modernista proposto originalmente.

Assim, para uma análise das funções e tipologias do DF, é importante um estudo de todas as cidades para especificar as melhores diretrizes para cada localidade, principalmente para uma revisão conjunta do COE-DF e das NGBs, que determinam o uso dos lotes de cada setor ou cidade.

Para o Plano Piloto já existem algumas pesquisas que caracterizaram as tipologias comercial, pública (escritórios) e habitação coletiva.

A partir da comparação dos estudos de Braga (2005), Silva (2007) e Lima (2009), percebe-se uma diversificação grande nas tipologias das edificações no Plano Piloto<sup>26</sup>, demonstrando a inviabilidade de índices generalistas no COE-DF, para atender as exigências de conforto térmico e desempenho energético para esses usos diferenciados.

Braga (2005) analisou as edificações das 111 Super- Quadras do Plano Piloto quanto ao desempenho térmico, e para isso, fez uma caracterização da tipologia dessas habitações coletivas.

Já Silva (2007), para uma avaliação da eficiência do uso de brises nas edificações públicas de escritórios, fez um levantamento de 138 edifícios.

Lima (2009) fez uma caracterização tipológica de edifícios de escritórios de Brasília, com um levantamento de 248 edificações, das quais 133 são públicas (54%) e 115 privadas (46%).

Essa comparação abrange apenas duas tipologias (residencial e escritórios) do Plano Piloto, o que demonstra a necessidade de mais pesquisas para caracterização dos diferentes usos no D, com suas peculiaridades e necessidades bioclimáticas específicas.

---

<sup>26</sup> A comparação aqui feita não limita a pesquisa ao Plano Piloto, e sim, busca mostrar que existe uma diversidade muito grande de tipologias já dentro do projeto de Lúcio Costa, o que dirá de todo o DF, que é gerido pelo mesmo COE.

**Tabela 7:** Caracterização das tipologias (Plano Piloto)

	<b>Edifícios Públicos de Escritórios Silva (2007)</b>	<b>Escritórios Lima (2007)</b>	<b>Habitações Coletivas Braga (2005)</b>
<b>Forma</b>	Maioria retangular (94%), irregulares (13%-18), quadradas (11%-15), onde algumas possuem um vão central, e as circulares (2%-3);	Maioria (82%) são retangulares, 5%), são quadradas, 5% são irregulares, 5% possuem forma em “H” , 2% são curvas e 1% são circulares.	Maioria (95%)retangular (Lâmina), com dimensões de 12,5 x 85m nas projeções originais e 18.5 x 91 nas projeções mais recentes.
<b>Orientação</b>	maioria implantados isoladamente e paralelos ou perpendiculares ao Eixo Rodoviário e Monumental, com predominância de orientações 108º/288º Leste/Oeste (66,7%) e 18º/198º Norte/Sul (26,8%)	Maiores fachadas para leste/oeste	Maioria paralelos ou perpendiculares ao Eixo Rodoviário. <b>Asa Norte:</b> Norte 342º/Sul 162º e Leste 72º/Oeste 252º <b>Asa Sul:</b> Sudeste 142º/ Noroeste 322º e Nordeste 52º/Sudoeste 232º
<b>Altura</b>	Diversificada, com edifícios de 2 a 28 pavimentos. 17,4% com10 pavimentos, 16,7% com 2 pavimentos; já os edifícios com maior altura aparecem em menor quantidade, como os de 21 a 28 pavimentos, dos quais existem no máximo 3 exemplares.	Maioria com 5 a 10 pavimentos, principalmente no Setor Comercial Sul, uma das primeiras áreas ocupadas por escritórios em Brasília.	6 pavimentos (com pilotis): quadras 100, 200 e 300 3 pavimentos: quadras 400
<b>Vidro nas Fachadas</b>	Maioria 60,9% possuem duas fachadas envidraçadas e 34,1% apresentam quatro fachadas	Maior fachada possui WWR>50%. Maioria da cor cinza, seguida das cores incolor, refletivo prata e bronze. O uso dos vidros refletivos tem aumentado nas edificações mais atuais.	Muito uso de películas refletivas prateadas ou roxas. 70% nos blocos de 6 pavimentos e 63% nos de 3.
<b>Proteção Solar</b>	Do total, 73,2% possuem algum tipo de controle solar, brise (58%) ou marquise (20,3%). Predomínio do uso de brise vertical.	a maioria das edificações não possui esses elementos, havendo uma maior utilização nas fachadas principais e posteriores, independente da orientação, de brises verticais e mistos.	Uso modesto, em apenas 22% dos blocos. Predomínio nos blocos mais antigos.

Além disso, surgiram novas tipologias no DF não existentes no Plano Piloto, que já instigam preocupação quanto aos condicionantes ambientais e desempenho bioclimático e energético, como é o caso de Águas Claras, Guará, Samambaia, Gama, entre outros, onde grandes bairros residenciais estão sendo construídos. São edificações altas (mais de 20 pavimentos), com afastamentos mínimos, áreas verdes reduzidas, uso demasiado de vidro nas fachadas, sem proteção e nenhuma integração com o espaço público.

Só no Plano Piloto podemos lembrar as edificações dos comércios locais das entre-quadras residenciais, das avenidas L2 e W3, das habitações unifamiliares do Lago Sul e Lago Norte, das habitações geminadas das quadras 700. Cada uma delas precisa ser analisada para uma caracterização abrangente que permita uma leitura global do DF.

#### **4.1.5. Os fechamentos**

Nas edificações, as trocas de energia entre o exterior e o interior acontecem através da envoltória do edifício, constituída por paredes, coberturas e pisos que estão em contato direto com o ambiente externo. O piso que está em contato direto com o solo não sofre grandes trocas térmicas, pois a temperatura do solo sofre variações pequenas. As paredes das fachadas e coberturas externas, porém, recebem grandes cargas térmicas, e variação diária de temperatura pode ser elevada, dependendo do material, da cor e da orientação.

Os materiais possuem propriedades físicas distintas e por isso reagem diferentemente frente às trocas térmicas e, principalmente, frente à radiação solar. A principal característica dos materiais da envoltória é quanto a permissão das trocas térmicas entre o meio interior e exterior, lembrando que a transferência do calor acontece sempre do local mais quente para o frio, ou seja, existe uma perda do calor.

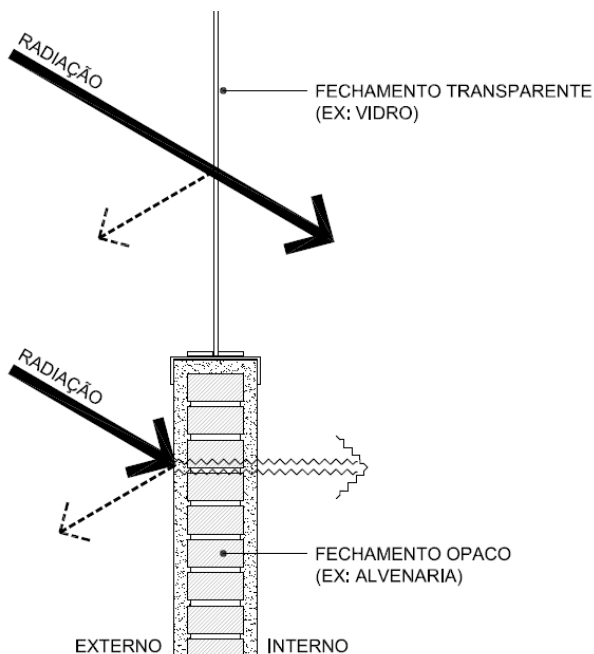
Os fechamentos de uma edificação, em função de seus materiais podem ser classificados em Opacos e Transparentes, e a principal diferença entre eles é a sua capacidade de transmitir a radiação solar para o ambiente interno (Transmitância Térmica)<sup>27</sup>. A intensidade do fluxo de calor<sup>28</sup> pelo material depende da sua

---

<sup>27</sup> A *Transmitância Térmica* é transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo, neste caso, de componentes opacos das fachadas (paredes externas) ou coberturas, incluindo as resistências superficiais interna e externa, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes.

<sup>28</sup> Quociente da quantidade de calor que atravessa uma superfície durante um intervalo de tempo pela duração desse intervalo. (NBR 15220-1)

condutividade térmica, propriedade dependente da densidade do material. A espessura do fechamento determina o tempo que o calor levará para atravessá-lo. Assim, a transmissão de calor nos fechamentos opacos demora algum tempo (normalmente algumas horas), enquanto nos fechamentos transparentes é quase instantânea.



**Figura 41:** Transmissão da radiação nos fechamentos opacos e transparentes

O conhecimento das propriedades térmicas dos materiais de construção e das leis básicas de transferência de calor permite prever qual será a resposta de um prédio às variações do clima externo e, em conseqüência, tomar decisões a respeito de quais materiais empregar num determinado clima, para facilitar uma situação de conforto térmico aos seus ocupantes.

### **Fechamentos Opacos**

Os fechamentos opacos são as paredes externas e coberturas, caracterizadas por materiais como alvenaria, concreto, madeira, isopor, gesso, alumínio, etc.

Além do fluxo de calor, outros aspectos importantes relacionados ao desempenho térmico dos fechamentos opacos são a *Inércia Térmica* e o Isolamento Térmico.

Corbella e Yannas (2003) afirmam que nos estudos dos fenômenos térmicos, a inércia térmica indica uma persistência da temperatura, ou seja, a capacidade de uma edificação de amortecer, armazenar e liberar o calor.

Quando uma edificação tem pouca inércia térmica, a temperatura interna acompanha em grande parte a variação da temperatura externa. Já numa edificação com uma inércia hipotética infinita, a temperatura interna permaneceria constante. A necessidade de grande inércia térmica aumenta quanto maior a variação da temperatura externa, radiação solar e/ou ganhos de calor. (AMORIM, 2007)

Há dois parâmetros importantes associados à Inércia Térmica: a *Capacidade de Amortecimento*, que é a propriedade do fechamento de diminuir a amplitude das variações térmicas e o *Atraso Térmico*, que é o tempo que leva uma diferença térmica ocorrida num dos meios para manifestar-se na superfície oposta do fechamento.

O uso da Inércia Térmica como estratégia bioclimática é indicada principalmente em localidades com altas amplitudes térmicas diárias, como visto no clima de Brasília. Quanto maior a massa térmica, maior o calor retido (durante o dia), e este pode ser devolvido ao interior quando a temperatura do ar for menor que a da superfície (a noite).

O Isolamento Térmico tem como objetivo impedir as trocas térmicas (saída de calor gerado no interior da edificação no frio e a entrada de calor externo no verão). É aplicado no envelope do edifício - paredes externas, cobertura e piso. A espessura do isolamento térmico varia dependendo do clima, do material e das exigências de isolamento. Nos climas tropicais, o isolamento térmico é recomendado principalmente na cobertura, pois esta parte do envelope recebe a maior carga térmica solar.

Outra característica importante a ser considerada nos fechamentos é a Absortância à radiação solar, que é o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. É uma propriedade do material referente a parcela da radiação absorvida pelo mesmo, geralmente relacionada a cor e conseqüentemente ao seu desempenho térmico. Materiais de cores claras têm absortância baixa, enquanto que as cores escuras absorvem mais a radiação recebida.

### ***Paredes externas***

Para os fechamentos verticais opacos da envoltória (paredes externas), cada tipologia deve ter seus parâmetros próprios, de acordo com as normas já existentes: NBR 15220-3 para Habitações Unifamiliares, NBR 15575-4 para Habitações Coletivas e do RTQ-C para edificações comerciais.



As exigências de transmitâncias das paredes externas para as Habitações Unifamiliares (NBR 15220-3) são mais rigorosas ( $U \leq 2,20$ ), pois o volume de massa construído é menor e a envoltória passa a ter uma influência maior no conforto térmico, pois as fachadas e cobertura dos ambientes estão em maior contato com o meio exterior, e as trocas térmicas acontecem de forma mais rápida. É diferente das Habitações Coletivas ou Edificações Comerciais em altura (NBR 15575-4), onde a sobreposição de pavimentos estabelece uma massa que isola e protege os ambientes internos, existindo apenas exposição da fachada no nível de cada pavimento.

A transmitância menor e a parede pesada (maior atraso térmico), recomendada na norma NBR 15220-3 para a Zona 4, está relacionada com a estratégia bioclimática de inércia térmica, para proporcionar maior conforto nos períodos quentes e também nos frios, uma vez que o clima local possui grande amplitude térmica diária. Quanto maior a massa térmica, maior será o calor acumulado durante o dia (do ar e do sol), que poderá ser devolvido ao interior, à noite, quando as temperaturas estão baixas. Haverá uma diminuição da amplitude de temperatura interna, que oscilará de forma amortecida, favorecendo o conforto interno.

Já para as Habitações Coletivas, os valores de transmitância estão vinculados aos de absorvância (NBR 15575-5). Para transmitâncias maiores, a absorvância deve ser menor (cores claras) e para transmitâncias menores (mas dentro do índice permitido), admiti-se absorvâncias maiores (cores mais escuras). A Capacidade Térmica mínima de todas as paredes deve ser  $CT \geq 130 \text{kJ/m}^2 \cdot \text{K}$ .

O Manual Verde para o Noroeste (PGAI 2009) utilizou os parâmetros da norma NBR 15575 para os índices dos edifícios residenciais do novo setor.

Para as Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas, o RTQ-C estabelece como pré-requisito para a envoltória, que as paredes tenham transmitância máxima de  $3,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ , para níveis de eficiência A, B, C e D, e absorvância solar baixa,  $\alpha < 0,4$  (cores claras) para níveis A e B.

O Caderno de Encargos para Eficiência Energética em Prédios Públicos do Rio de Janeiro (CE-RJ, 2002) também estabelece índices de transmitância para a envoltória, que se limita a  $U \leq 1,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{oC}$ . Para isso, apresenta exemplos de opções de paredes externas que atendem essa exigência. (ver anexo 8 )

O Caderno de Encargos do RJ (2002) ainda diz que todos os elementos das envoltivas verticais opacas devem possuir cores com coeficiente de reflexão (r)

superior a 0,5. Apenas para fachada sul é permitido possuir cores com coeficiente de reflexão ( $r \geq 0,3$ ).

O COE-Salvador é o primeiro código de edificações a incorporar índices técnicos relacionados ao desempenho térmico dos fechamentos opacos (paredes e coberturas). Os valores de transmitância estão vinculados à massa das paredes.

Com base em simulações, foi definido um limite de massa para especificação de dois limites de transmitância térmica: paredes abaixo de 100 kg/m<sup>2</sup>, consideradas leves, deveriam apresentar transmitâncias de no máximo 1,2 W/m<sup>2</sup>K, enquanto paredes com massa acima de 100 kg/m<sup>2</sup>, consideradas pesadas, poderiam apresentar transmitâncias térmicas de até 3,7 W/m<sup>2</sup>K. 3,7 W/m<sup>2</sup>K é a transmitância de uma parede de tijolos maciços aparente, componente construtivo comumente utilizado em todo território brasileiro.

A intenção foi não restringir o projeto arquitetônico, uma vez que existe liberdade de escolha dos materiais, desde que sigam a relação da transmitância com a massa. Segundo os autores, “este limite não impede então que sejam utilizadas as técnicas que fazem parte da cultura construtiva brasileira.” (LAMBERTS e CARLO, 2003). O que importa é que a composição proporcione conforto aos usuários.

No COE-Salvador não existe diferenciação dos índices de transmitância pelo uso e sim pelo tipo de vedação: paredes e coberturas. Essa uniformização dos valores facilita a aplicação e verificação dos índices do projeto.

Percebe-se que os índices para os usos residenciais coletivos (edifícios de até cinco pavimentos) e comerciais, encontrados nas normas ABNT e RTQ-C, de transmitância e absorvância são próximos, o que facilitaria para aplicação no COE-DF de um valor padrão, independente desses usos. Isso poderia ser verificado em simulações, para definir os índices finais a serem especificados no Código, uma vez que as definições nas normas referem-se à Zona 4, sendo importante uma estudo específico para o clima do DF.

A partir das simulações de Signor (1999) para verificação de quais componentes da edificação mais interferem no seu consumo de energia elétrica, constatou-se que, em relação às paredes externas, ou seja, os fechamentos opacos da envoltória, os índices mais relevantes são a proporção entre área opaca e área envidraçada e a absorvidade das paredes externas.

No COE-Porto Alegre são estipulados valores mínimos de espessuras de paredes externas e internas, de tijolos cerâmicos ou maciços. Não são estipulados os índices de transmitância, capacidade térmica e atraso térmico. Mas segundo a NBR 15220-3, para as paredes externas, a espessura proposta no COE de Porto Alegre, de 25cm de tijolo cerâmico, com  $U=1,61 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $C_t = 232$  e  $\phi \geq 5,9$  ou espessura de 23cm de tijolo maciço, cumprem as exigências de conforto térmico para a Zona 3, onde a cidade está inserida. Isso demonstra que o código de obras pode especificar os índices mínimos dos materiais, e propor alternativas para os projetistas cumprirem essas exigências, de acordo com a disponibilidade do mercado e cultura local.

No art.45 do COE de Porto Alegre, especificam que as espessuras mínimas das paredes podem ser alteradas quando forem utilizados materiais de natureza diversa, desde que comprovem que cumprem os índices mínimos de resistência mecânica e ao fogo, impermeabilidade e isolamento acústico e térmico.

No CE-RJ (2002) para contribuir para o desempenho térmico-energético, estabelecem que a Inércia das envoltivas deve ser do tipo média a leve. As envoltivas opacas que apresentem Inércia média ou pesada devem possuir isolamento térmico do lado externo. Nos ambientes com estas características, estabelecem que é imprescindível o uso da ventilação noturna. Para a classificação do edifício dentro das classes de Inércia fraca, média ou pesada, é apresentado um método de cálculo, que deve ser seguido pelos projetistas e apresentado no projeto de arquitetura.

Ainda estabelecem que as envoltivas exteriores do edifício não devem apresentar pontes térmicas<sup>29</sup>. As envoltivas exteriores do edifício não devem apresentar paredes trombe. “A parede trombe é constituída de um elemento de elevada capacidade térmica, como pedra ou concreto, revestida de vidro na face externa. Este sistema maximiza a captação da energia proveniente da radiação solar.” (CE-RJ, 2002, p. 16)

Para verificação dos materiais adequados, segundo o uso, para o DF, a partir das recomendações das normas ABNT (NBR 15.220-3 e NBR 15575-5) e RTQ-C, foram selecionados a composição das paredes externas que atenderiam a cada tipo de uso para o clima do DF, de acordo com a tabela do anexo da NBR 15.220-3.

No manual do COE-Salvador essa tabela (original da norma ABNT NBR 15220-3) consta como anexo, mas não existe a classificação de acordo com o uso, pois no

---

<sup>29</sup> A ponte térmica está presente quando elementos de concreto ou metal interligam o interior com o exterior do edifício.

referido Código, os índices técnicos especificados são para todos os usos. Mas a classificação segundo o uso pode ser um facilitador para a aplicação dos índices e auxiliar no processo de projeção das edificações do DF.

Para uma análise específica das paredes externas recomendadas para Brasília, foram avaliados os tipos citados na NBR 15.222-3, para especificação de diretrizes de acordo com o uso das edificações.

Os usos foram assim definidos, e especificados na coluna à direita da tabela original: (Ver anexo 9)

**HU:** Habitação Unifamiliar (NBR 15.220-3)

**HC:** habitação Coletiva (NBR 15575-5)

**EC:** Edifício Comercial, de Serviço e Público (RTQ-C)

Pela análise dessa classificação, percebe-se que para os Edifícios Comerciais (EC), praticamente todos esses tipos de paredes externas, 91%, atenderiam as exigências mínimas de transmitância (22 em 24 tipos de paredes), assim como 87% para as Habitações Coletivas (HC) (.21 em 24 tipos de paredes)

Já para as Habitações Unifamiliares (HU), as paredes devem ter transmitância menor, ( $U \leq 2,20$ ) e atraso térmico maior ( $\varphi \geq 6,5$  horas), o que só é conseguido em 25%, com a utilização de paredes de alvenaria dupla.(2 em 24 tipos de paredes).

Algumas paredes conseguem cumprir a exigência quanto à transmitância, mas não quanto ao atraso térmico, como é o caso dos tipos 13, 15, 16 e 17. Isso demonstra a particularidade das diretrizes para a Zona 4, onde as características das paredes devem impedir o ganho e perda rápidos de calor pela edificação.

Essa não é a realidade das Habitações Unifamiliares construídas no DF, uma vez que as construções geralmente possuem paredes de tijolos cerâmicos com espessura média de 15cm, o que não proporciona o conforto térmico. As Habitações de Interesse Social são as mais prejudicadas, pois o uso de materiais de baixa qualidade térmica e a redução dos custos não permite que a população de baixa renda tenha casas com bom conforto térmico. Os índices de transmitância e atraso térmico especificados na norma 15.220-3 demonstram o erro da produção padrão de habitações de interesse social para todo o país, independente da zona climática. No caso de Brasília, as casas tornam-se quentes durante o verão e muito frias no inverno e períodos noturnos, devido à amplitude térmica diária.

Assim, a exigência no COE-DF de paredes externas com índices de acordo com as normas ABNT existentes, de acordo com o uso, garantiriam o conforto térmico dos ambientes internos, principalmente no período de frio (Habitações Unifamiliares), e diminuiria o consumo energético do ar condicionado, nos períodos quentes.(Edificações Comerciais)

Essa adaptação da tabela pode ser um anexo do COE-DF, pois está de acordo com as diretrizes para a cidade. Existe uma facilidade quando são expostos exemplos no código e não apenas índices técnicos.

### **Cobertura**

Em toda bibliografia pesquisada, como no manual do IBAM/PROCEL (1997), é descrito a importância de tratamento da cobertura para o desempenho termo-energético da edificação, uma vez que é responsável pela maior carga térmica recebida.

O manual do IBAM/PROCEL (1997) faz referência à necessidade de utilização de materiais com propriedades de reflexão e absorção adequadas, sem estipular índices. Mas o manual foi elaborado em 1997, antes das normas ABNT de conforto térmico NBR15220, e mesmo assim, faz referência a necessidade de utilização de materiais isolantes.

Ainda recomendam que, sempre que possível, o espaço entre telhado e forro, chamado de ático, deverá ser ventilado, e o isolamento térmico aplicado sobre o forro interno ao telhado. Tal medida está diretamente relacionada com o conforto térmico dos ambientes internos e gasto energético com o ar condicionado, pois diminui a carga térmica.

Para as coberturas também é importante considerar as questões de segurança e estanqueidade (impermeabilização), sendo este último um dos grandes problemas das edificações no DF no período de chuva, uma vez que o volume de água pluvial é grande. É comum encontrar problemas de infiltração, pois os materiais impermeabilizantes das coberturas, no período de seca, são danificados com o excesso de radiação, o que provoca rachaduras e trincas.

Cada tipologia deve ter seus parâmetros próprios, de acordo com as normas já existentes: NBR 15220-3 para Habitações Unifamiliares, NBR 15575-4 para habitações coletivas e do RTQ-C para edificações comerciais.

Para as Habitações Unifamiliares, a NBR 15220-3 estabelece para a Zona 4, que a cobertura seja leve e isolada, uma vez que a carga térmica recebida é tão alta que a melhor estratégia é o isolamento e possibilidade de ventilação para proporcionar um resfriamento mais rápido e efetivo, sem que o calor excessivo seja transferido para o ambiente interno. Os valores para transmitância da cobertura nas Habitações Unifamiliares são de  $U \leq 2,0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .

Já para as habitações coletivas, a NBR 15575-5 também estabelece valores de transmitância vinculados aos de absorvância. Para transmitâncias maiores, a absorvância deve ser menor (cores claras) e para transmitâncias menores (mas dentro do índice permitido), admiti-se absorvâncias maiores (cores mais escuras). Os índices exigidos são bem mais exigentes que para as paredes externas.

No RTQ-C, para as edificações comerciais, de serviço e públicas, também existem valores mínimos para a transmitância e máximos para absorvância, como pré-requisitos para os níveis desejados de eficiência energética. Em relação à cobertura, o regulamento diferencia as exigências para ambientes condicionados e ambientes não condicionados. A eficiência do ar condicionado estará vinculada à carga térmica recebida da cobertura, sendo necessário um maior isolamento nos ambientes que utilizam esse equipamento. Os valores para absorvância da cobertura são os mesmo exigidos para as paredes externas,  $\alpha < 0,4$  (cores claras) para níveis A e B.

O CE-RJ (2002) também estabelece índices de transmitância para a cobertura, que se limita a  $U \leq 1,25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$ . Para isso, apresenta exemplos de opções de coberturas que atendem essa exigência. (ver anexo 10)

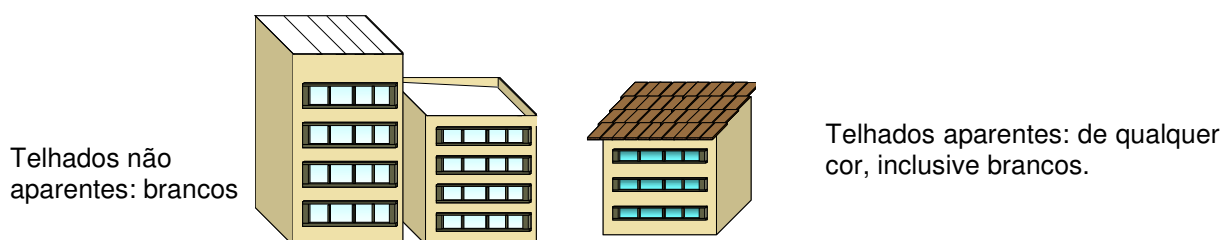
Na revisão do Código de Salvador, os valores de transmitância da cobertura também estão vinculados à massa das paredes. Permitiram uma transmitância maior para as habitações unifamiliares, pois as telhas cerâmicas utilizadas na cultura local não enquadrariam nesses valores ideais. Foi a forma de não impossibilitar a construção de residências com caráter vernáculo.

“Seguindo a mesma intenção de incorporar os elementos que caracterizam a cultura construtiva em Salvador, a transmitância térmica máxima para coberturas foi limitada em  $1,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ , correspondente a uma cobertura de telha de barro com lâmina de alumínio polido e forro de concreto. Apesar da transmitância térmica de uma cobertura de telha de barro sem forro ser de  $4,55 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ , esta foi excetuada, podendo então ser utilizada, por se tratar de um componente largamente utilizado

na região, incorporado à arquitetura vernacular. Procurou-se assim manter a tradição construtiva local.” (LAMBERTS e CARLO, 2003, p.12).

A NBR 15220-3 alerta que apesar da semelhança entre a transmitância térmica da cobertura com telhas de barro e aquela com telhas de fibrocimento, o desempenho térmico proporcionado por estas duas coberturas é significativamente diferente, pois as telhas de barro são porosas e permitem a absorção de água (de chuva ou de condensação). Este fenômeno contribui para a redução do fluxo de calor para o interior da edificação, pois parte deste calor será dissipado no aquecimento e evaporação da água contida nos poros da telha. Desta forma, sugere-se a utilização de telhas de barro em seu estado natural, ou seja, isentas de quaisquer tratamentos que impeçam a absorção de água.

Em relação à absorvância, no COE-Salvador, foi recomendado o uso de cores claras nas coberturas, quando estas não forem de cerâmica não esmaltada. Foi exigido o uso de coberturas brancas quando estas não forem visíveis do solo. Desta forma, não se interferiu na estética, deixando a cargo do arquiteto estabelecer o estilo e aspecto da edificação, mas melhores condições de conforto foram garantidas quando estas não interferem na criatividade do arquiteto.



**Figura 42:** Telhados aparentes e não aparentes quando vistos do solo.  
Fonte: Lamberts e Carlo (2003, p.14)

Assim, no COE-Salvador, existe uma tabela anexa que estipula as transmitâncias e massa das paredes e coberturas.

**Tabela 8:** Transmitância térmica máxima e massa mínima das superfícies opacas.

Classe de componente construtivo	U max (W/m <sup>2</sup> K)	Massa mín (kg/m <sup>2</sup> )
cobertura	1,2	-
parede externa	3,7	110
	1,2	-

Fonte: Lamberts e Carlo (2003)

Da mesma forma que feito para as paredes externas, segundo as recomendações das normas ABNT e RTQ-C, para o DF, foram selecionados a

composição das coberturas que atenderiam a cada tipo de uso, de acordo com a tabela do anexo da NBR 15.220-3. (ver anexo 11)

Na coluna à direita estão classificados os usos, assim definidos:

**HU:** Habitação Unifamiliar (NBR 15.220-3)

**HC:** Habitação Coletiva (NBR 15.575-5)

**EC:** Edifício Comercial, de Serviço e Público (RTQ-C)

**EC-AC:** Edifício Comercial, Serviço e Público (Ambientes Condicionados) (RTQ-C)

**EC-AnC:** Edifício Comercial, Serviço e Público (Ambientes não Condicionados) (RTQ-C)

Pela análise dessa classificação, percebe-se que os Edifícios Comerciais (EC), podem ter qualquer transmitância da tabela, mas o nível da etiqueta para as transmitâncias acima de 2,0 é automaticamente E. A exigência para nível A de Ambiente Condicionado é a mais rigorosa (para diminuir a carga térmica para o ar condicionado), onde a transmitância deve ser abaixo de 1,0, o que é conseguido apenas pelos dois últimos exemplos da tabela.

As Habitações Coletivas também impõem um intervalo de transmitância de 1.5 a 2,3. Abaixo de 1,5, ou seja com baixa transmitância, a absorvância pode ser um pouco maior. Mas para as transmitâncias entre o intervalo estipulado, a absorvância deve ser baixa.

Já para as Habitações Unifamiliares, as coberturas devem ter transmitância menor, ( $U \leq 2,0$ ) e atraso térmico de  $\phi \geq 3,5$  horas, o que só é conseguido com a utilização de coberturas compostas por telhas com lajes de concreto, ou algum tipo de isolamento. É interessante observar que os telhados de barro ou fibro-cimento, com lâmina de alumínio polido e forro de madeira, mesmo cumprindo a exigência da transmitância de ser abaixo de 2,0, não é recomendada para a Zona 4, pois não tem atraso térmico acima de 3,3 horas.

A maioria das Habitações Unifamiliares em Brasília, principalmente as de baixa renda, não possuem sistemas duplos para isolamento térmico. Geralmente utilizam apenas a telha (barro ou fibro-cimento) com forro de gesso. Percebe-se que é um sistema construtivo inadequado para o clima da cidade, pois não suporta a elevada carga térmica, transferindo rapidamente o calor para o interior, no período diurno, assim como permite a perda de calor no período noturno (frio).

Como verificado na análise das paredes, as habitações de interesse social, para Brasília, devem ter o sistema construtivo diferenciado (com paredes mais grossas e



coberturas mais isolantes) do que as construídas no padrão dos programas sociais de habitação.

Assim, a exigência no COE-DF de coberturas com índices, de acordo com as normas ABNT existentes, garantiriam o conforto térmico dos ambientes internos, principalmente no período de frio, e diminuiria o consumo energético do ar condicionado, nos períodos quentes.

## **Fechamentos Transparentes**

Os vidros são utilizados nas edificações pela sua transparência, que permite a iluminação natural do espaço interior e estabelece uma conexão visual com o exterior.

As principais trocas térmicas da edificação acontecem nos fechamentos transparentes, que são as janelas, aberturas, zenitais, clarabóias e paredes transparentes (tijolos de vidro, policarbonatos). A sua função na arquitetura é permitir a iluminação natural do espaço interior e estabelecer uma conexão visual com o exterior.

Através dos fechamentos transparentes acontecem as maiores trocas térmicas da construção, por condução, convecção e radiação, sendo esta última a principal transmissora de calor para o interior.

A radiação solar incidente em um fechamento transparente é em parte absorvida por este, em parte refletida e em parte transmitida para o interior. A parte absorvida se transforma em calor e pode ser emitida tanto para o exterior quanto para o interior na forma de radiação de onda longa. A parcela transmitida depende da transparência do vidro, ou seja, da capacidade de transmitir as radiações presentes no espectro solar. Portanto, a escolha de vidro deve ser baseada na sua capacidade de: admitir ou bloquear a luz natural, admitir ou bloquear o calor solar, permitir ou bloquear as perdas de calor do interior e permitir o contato visual entre interior e exterior.

Na bibliografia pesquisada não foi encontrada qualquer referência de índices relativos aos vidros nos códigos de edificações. O índice técnico referente aos vidros das edificações, que foram incorporados ao COE-Salvador e ao RTQ-C foi o Fator Solar.<sup>30</sup>

---

<sup>30</sup> "Fator Solar é a razão entre o ganho de calor que entra num ambiente através de uma abertura e a radiação solar incidente nesta mesma abertura. Inclui o calor radiante transmitido pelo vidro e a radiação solar absorvida, que é re-irradiada ou transmitida, por condução ou convecção, ao ambiente. O fator solar considerado será relativo a uma incidência de radiação solar ortogonal à abertura." (RTQ-C, 2009, p. 11)

Para determinação do nível de eficiência da envoltória, no RTQ-C, o valor do Fator Solar, em número fracionário, é inserido na equação para determinação do Índice de Consumo da Envoltória. É um parâmetro que influencia no resultado final, mas no regulamento não é fixado limites e nem exigido como pré-requisito.

Já no Código de Salvador, o Fator Solar dos Vidros é relacionado com o PJF (Percentual de Janela na Fachada)<sup>31</sup>, o FP (Fator de Projeção)<sup>32</sup> e a orientação. Em estudos de simulações definiram limites das propriedades térmicas de elementos transparentes. A partir da análise do Fator Solar, com o PJF, Fator de Proteção da janela e orientação das fachadas, foi definido uma tabela com os parâmetros que deveriam entrar no Código de Salvador de acordo com as orientações. (ver anexo 12) A intenção foi permitir o uso de qualquer tipo de vidro, até mesmo vidro com fator solar 0,86m caso seja utilizado algum dispositivo de sombreamento horizontal.

A intenção de limitar o Fator Solar é válida, e o Caderno de Encargos para Eficiência Energética em Prédios Públicos do Rio de Janeiro (CE-RJ, 2002), estabelece que todos os elementos das envolturas translúcidas não sombreadas devem possuir Fator Solar inferior a 0,6. Também existe uma tabela de consulta de materiais para facilitar a aplicação desta exigência.

Também estabelecem que o edifício deve ter as suas fachadas preferencialmente sombreadas de forma a reduzir ao máximo os ganhos de calor devido a radiação solar direta. Para isso traz algumas recomendações, entre elas, que as aberturas e elementos translúcidos das fachadas, em qualquer orientação, tenha o sombreamento no período de 8:00 as 17:00 horas, nos meses de setembro a abril, demonstrado a partir de gráficos de insolação, respeitando-se os padrões mínimos de iluminação natural (esta preocupação deve ser mantida para os demais meses do ano, mesmo que não representem ganhos térmicos significativos).

A flexibilidade também deveria ser um dos parâmetros estudados em relação ao vidro das edificações, de acordo com a orientação, em especial para os edifícios comerciais e habitações coletivas, onde existe um maior uso desse tipo de material.

---

<sup>31</sup> Esse percentual de abertura (fechamentos translúcidos) em relação à área total de fachada é abordado com diferentes nomenclaturas. Tradicionalmente é conhecido por WWR (Window Wall Ratio), mas no RTQ-C é definido como PAF (Percentual de Abertura na Fachada), no Código de Salvador é PJF (Percentual de Janela na Fachada) e no Caderno de Encargos do RJ é TAT (Taxa de Área Translúcida).

<sup>32</sup> O Fator de Projeção da janela (FP), estipulado no Código de Salvador, é a razão entre a profundidade da projeção horizontal de um elemento de proteção solar colocado acima do vão pela soma da altura desse vão e a distância vertical ao ponto mais externo do elemento.

É importante que os códigos limitem a especificação de materiais que interfiram negativamente no espaço urbano. Não se deve pensar apenas no conforto da edificação, ou seja, do espaço privado, negligenciando os aspectos da qualidade ambiental da coletividade.

Em Brasília, os edifícios de escritório estão utilizando de forma indiscriminada o vidro, principalmente o refletivo, o que provoca desconforto para o espaço público, como ofuscamento e aumento de temperatura.



**Figura 43:** Setor Bancário Norte (Romero, 2007)

### **Materiais e o impacto ambiental**

Nos códigos brasileiros não foram encontrados referências aos impactos dos materiais da edificação no conforto ambiental urbano e na própria natureza. São preocupações importantes que devem direcionar as construções nas cidades, e já existem importantes pesquisas na área visando a sustentabilidade e qualidade na construção.

Para Romero (2001), a arquitetura não deve influenciar negativamente o espaço urbano, não apenas na questão dos ruídos, mas também no conforto térmico e luminoso, com uso de materiais incorretos que promovam o ofuscamento, reflexão, aumento de temperatura, entre outros.

Os materiais, das fachadas e pisos externos, devem ser corretamente especificados em relação ao albedo, permeabilidade, isolamento e manutenção. O edifício não deve ser barreira para o ambiente externo, mas um filtro, que impede a

entrada dos elementos indesejáveis (ruídos, radiação excessiva, ventos desagradáveis) e também deve contribuir para a qualidade ambiental do espaço urbano.

O IBAM / PROCEL (1997, p. 48) também ressalta que as paredes e pisos internos e externos devem promover a acessibilidade, serem impermeáveis, garantir estabilidade da construção.

O Caderno de Encargos para Eficiência Energética em Prédios Públicos do Rio de Janeiro (2002) estabelece que os pisos externos devem, por razões de reflexão e ofuscamento, possuir coeficiente de reflexão ( $\rho$ )<sup>33</sup> menor ou igual a 0,5. Existe uma tabela de materiais para facilitar a aplicação desta exigência. (ver anexo 13)

Além disso, os códigos devem incorporar a preocupação com o uso de materiais de baixo impacto ambiental na sua produção, utilização e descarte ou reaproveitamento.

Blumenschein (2008) alerta para os impactos da cadeia produtiva da indústria da construção:

“O impacto no meio ambiente proveniente da Cadeia Produtiva da Indústria da Construção ocorre ao longo de todos os seus estágios e atividades: na ocupação de terras; na extração de matéria-prima e no seu processamento e produção de elementos e componentes; no transporte dessa matéria-prima e de seus componentes; no processo construtivo e no produto final *per se*, ao longo de sua vida útil, até sua demolição e descarte.” (BLUMENSCHHEIN, 2008, p.8)

Ao longo de toda esta cadeia, recursos naturais são explorados, muitas vezes de forma criminal, energia é consumida indiscriminadamente e resíduos são gerados de forma excessiva e dispostos irregularmente.

O gasto de energia para produção de novos materiais (extração e fabricação), apesar de não ser diretamente relacionado à eficiência energética da edificação, está vinculado a esta, uma vez que a construção é um processo e deve ser eficiente em todos os aspectos. Não se deve pensar na edificação eficiente apenas em seu uso final, e negligenciar as outras etapas da cadeia.

O Manual Verde para o Noroeste (PGAI 2009) estabelece que os materiais utilizados devem preferencialmente ser de empresas que estejam qualificadas no Sistema de Qualificação de Materiais, Componentes e Sistemas Construtivos (SiMaC), do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H).

---

<sup>33</sup> Coeficiente de reflexão e a razão entre a radiação refletida por uma superfície e o total de radiação que nela incide.

Exige que os materiais a serem empregados em ruas, estacionamentos, calçadas e guias devem ser de conteúdo reciclado. A Areia, saibros, pedras e seus derivados devem ter licença ambiental e preferencialmente provenientes do beneficiamento dos resíduos da construção e de demolição. Já as madeiras devem ter o Documento de Origem Florestal aprovado pelo IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis).

O Manual também recomenda, de modo preferencial, mas não obrigatório, o uso de materiais regionais, a redução das embalagens, os materiais de reuso e renováveis.

A inserção desses condicionantes na legislação modifica toda a cadeia da construção, pois obriga a adaptação dos agentes. É importante uma uniformização destas medidas, para que estas não sejam vinculadas apenas a bairros de classe alta e utilizados como diferencial para promoção de marketing de venda.

#### 4.1.6. Aberturas

As aberturas nas edificações são o elo entre os espaços interior e exterior. Por isso, também é onde existem as maiores trocas térmicas, sendo os elementos que requerem atenção especial para o bom desempenho térmico-energético. As aberturas são responsáveis pela inserção de ventilação e luz naturais nos espaços interiores.

Lamberts (1997) cita a importância do conhecimento da carga térmica e iluminação natural para definição de projeto, tanto dos sistemas naturais quanto artificiais de condicionamento climático. Os elementos da edificação comportam-se de forma diferenciada e pode-se perceber que as aberturas são grandes responsáveis pela carga térmica na edificação.

ELEMENTO	CONTRIBUIÇÃO DE CALOR
Parede Externa	9%
<b>Abertura</b>	<b>63%</b>
Ocupantes	7%
Iluminação Artificial	10%
Equipamentos	7%
Infiltração	4%

**Figura 44:** Contribuição de cada elemento do projeto na carga térmica  
Fonte: Lamberts (1997, p.100)

Grandes aberturas para a iluminação natural podem ser excessivas para atender as necessidades de conforto visual, e ao mesmo tempo, podem aumentar a carga térmica da edificação, comprometendo o desempenho energético, pelo uso

desnecessário do ar condicionado. Por isso, a proporção de aberturas na envoltória é tão estudada quando se trata de desempenho térmico-energético e conforto visual.

As principais variáveis que podem alterar o ganho de calor pelas aberturas são a orientação e tamanho da abertura, o tipo de vidro (ou similar) e o uso de proteções solares internas e externas

A orientação e tamanho da abertura determinam sua exposição ao sol, o tipo de vidro e proteção, a quantidade de radiação solar (calor) que penetra no ambiente interno.

O fluxo de ar e de luz no interior de uma construção é determinado pelo tamanho e a localização das aberturas na parede, o tipo e a configuração das esquadrias utilizadas e a localização de outros componentes arquitetônicos nas proximidades das aberturas, tais como divisórias internas e painéis verticais ou horizontais, adjacentes a elas (como protetores solares e marquises, por exemplo).

No RTQ-C, é considerada abertura todas as áreas da envoltória do edifício, com fechamento translúcido ou transparente (que permite a entrada da luz), incluindo janelas, painéis plásticos, clarabóias, portas de vidro (com mais da metade da área de vidro) e paredes de blocos de vidro. Excluem vãos sem fechamentos e elementos vazados como cobogós.

No regulamento, a abertura está relacionada apenas a entrada de luz natural e exclui nos aspectos de ventilação natural, pois a análise de eficiência energética está relacionada com o sistema de ar condicionado, no método prescritivo, de tipologias comerciais, que em sua maioria não utilizam apenas a ventilação natural para o condicionamento dos ambientes internos.

Mas, nesse trabalho, o conceito de abertura está relacionado à iluminação e ventilação naturais, pois interferem tanto no conforto térmico quanto na eficiência energética.

Como o dimensionamento das aberturas é fundamental para o conforto térmico e eficiência energética, será apresentada separadamente a influência das aberturas na iluminação natural e posteriormente na ventilação natural.

## Iluminação Natural

Apesar do foco deste estudo ser o desempenho térmico-energético, a questão da iluminação natural não pode ser negligenciada, uma vez que influencia nos gastos de energia e no conforto do usuário. Durante a pesquisa, percebeu-se que a abordagem do conforto térmico e iluminação natural nas legislações estão sempre distanciadas, apesar de ambos influenciarem na eficiência energética e dependerem do dimensionamento das aberturas. Assim, serão abordados os principais aspectos da iluminação natural e como é tratada nas legislações e códigos brasileiros.

A iluminação natural possui vantagens em relação à artificial, e segundo Amorim (2007), pode-se destacar que a qualidade da iluminação obtida é melhor, pois a visão humana desenvolveu-se com a luz natural; a constante mudança da quantidade de luz natural provoca efeitos estimulantes nos ambientes; permite valores mais altos de iluminação e menor carga térmica; pode fornecer a iluminação necessária durante 80/90% das horas de luz diária; é uma fonte de energia renovável: o uso mais evidente da energia solar.

Mas apesar disso, pesquisas evidenciam (Amorim, 2007) a pouca utilização da luz natural na arquitetura contemporânea, e apontam como causa disso a falta de conhecimento das vantagens da luz natural por parte dos projetistas e usuários, a carência de instrumentos apropriados e amigáveis para o cálculo da luz natural, e a falta de conhecimento sobre o desempenho de sistemas avançados para a luz natural e dos sistemas de controle da luz artificial.

“Poderíamos acrescentar a isto, considerando o contexto brasileiro, a falta de conhecimento dos projetistas sobre o clima local e a pouca prática em lidar com os instrumentos para o projeto com o clima (carta solar, transferidores, etc), os poucos dados sobre a disponibilidade de luz natural (o conhecimento destes é mais restrito à área acadêmica) e a falta de incentivos e legislação forte que estimule a produção de uma arquitetura mais consciente do ponto de vista ambiental, que aproveite de forma racional a luz natural abundante no território.” (AMORIM, 2007, p. 4)

O projeto de iluminação deve procurar integrar ao máximo as duas fontes de luz, natural e artificial, buscando estratégias para o conforto visual<sup>34</sup> e otimização dos gastos energéticos.

---

<sup>34</sup> Conforto Visual é entendido como a existência de um conjunto de condições, num determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver suas tarefas visuais com o máximo de acuidade e precisão visual, com o menor esforço, com menor risco de prejuízos à vista e risco de acidentes. Condições para isso: iluminância suficiente, boa distribuição de iluminâncias, ausência de ofuscamento, contrastes adequados, (proporção de luminâncias), bom padrão e direção de sombras.

**Tabela 9:** Comparação entre Luz Natural e Luz Artificial

<b>Comparação Luz Natural e Luz Artificial</b>			
	<b>Eficiência (lm/W)</b>	<b>Temperatura de Cor (K)</b>	<b>Carga Térmica Relativa (%)</b>
<b>Luz Solar</b>	100-120	4000-10000	14
<b>Lâmpada Incandescente</b>	10-20	2400-3000	100
<b>Lâmpada Fluorescente</b>	50-80	5000-6500	33

Fonte: Amorim (2007, p. 5)

Atualmente existem normas da ABNT<sup>35</sup> referentes à Iluminação natural e artificial que podem ser importantes referências para revisões de códigos e legislações.

Mas, apesar dos estudos indicarem a importância da integração da iluminação natural e artificial percebe-se que estes sistemas ainda são tratados de forma isolados, tanto pela maioria projetistas, quanto pela legislação e códigos de obra.

Na edificação, os aspectos que mais interferem na qualidade da iluminação natural é o dimensionamento das aberturas. Quanto maior a abertura, maior a radiação solar direta, ou seja, maior quantidade de calor e luz que podem entrar no ambiente.

A orientação da fachada pode expor as aberturas de dimensões idênticas a quantidades de calor e iluminação diferentes. Para isso é importante o uso da Carta Solar<sup>36</sup> de cada local de projeto, que permite ao arquiteto avaliar a insolação em cada fachada, localizar a posição (altura e azimute) do sol num determinado período do ano, auxiliar no projeto dos elementos de proteção e controle solar etc.

O percentual de abertura (fechamentos translúcidos) em relação à área total de fachada é abordado com diferentes nomenclaturas. Tradicionalmente é conhecido por WWR (Window Wall Ratio), mas no RTQ-C é definido como PAF (Percentual de Abertura na Fachada), no Código de Salvador é PJF (Percentual de Janela na Fachada) e no Caderno de Encargos do RJ é TAT (Taxa de Área Translúcida).

<sup>35</sup> ABNT NBR 15215 – Iluminação Natural; NBR 5413 – Iluminância de Interiores – Especificação; NBR 5461 – Iluminação – Terminologia.

<sup>36</sup> A carta solar é uma forma de representar a trajetória aparente do sol durante o ano em projeção estereográfica (representação de objetos tridimensionais em um plano) sobre o plano do horizonte do observador, para a latitude considerada (FROTA e SCHIFFER, 2003).



Altos índices de PAF ocasionam maiores trocas térmicas (condução, convecção e radiação), afetando as temperaturas internas. A proporção entre área envidraçada e área opaca na fachada, deve equilibrar de maneira adequada às necessidades de iluminação natural, vista para o exterior e as questões termo-energéticas. Em geral, maiores áreas de janelas aumentam os ganhos e perdas térmicas, o que causa, principalmente em construções climatizadas artificialmente, impactos significativos nos custos energéticos.

Como visto anteriormente, no RTQ-C, a determinação do PAF faz-se considerando a influência da fachada oeste, mas não são definidos valores específicos. Em Salvador e Recife, a porcentagem de abertura é relacionada com o Fator Solar dos vidros e fator de proteção. (Fechamentos Transparentes)

No Caderno de Encargos do RJ (CE-RJ, 2002) são estipulados valores máximos para as aberturas translúcidas: nas áreas translúcidas sombreadas o valor máximo é de 0,75; Nas áreas translúcidas não sombreadas o valor máximo é de 0,50.

Existem pesquisas que concluíram que 50% de área envidraçada nas fachadas é o limite máximo para todos os tipos de edificações em todas as zonas climáticas. (BRAGA 2005)

Já Ghisi, Tinker e Ibrahim (2005) indicam pesquisas que afirmam que para minimizar o consumo de energia em edificações, a área de janela deveria ser limitada e sugere o limite de 30% da área da fachada.

Existe um conflito entre as necessidades de iluminação natural e vista para o exterior, relacionadas ao conforto ambiental dos usuários e as dimensões ideais das aberturas para baixo gasto energético.

“A análise realizada permitiu verificar que existe incoerência entre a área mínima de janela recomendada para garantir vista para o exterior e a área de janela que garante o menor consumo de energia quando existe integração dos sistemas de iluminação natural e artificial. A adoção da área recomendada para garantir vista para o exterior implicará maior consumo de energia, pois se mostrou que a área de janela para garantir vista para o exterior é geralmente maior do que área de janela que garante o menor consumo de energia.”

(GHISI, TINKER E IBRAHIM, 2005, p. 91)

Os autores ainda recomendam que mais pesquisas sejam desenvolvidas para investigar as áreas mínimas recomendadas para garantir vista para o exterior em função não apenas da profundidade dos ambientes (como é atualmente), mas também em

função da largura do ambiente, da geometria, da orientação e da localização geográfica (principalmente da latitude).

Com relação à geometria dos ambientes, Ghisi, Tinker e Ibrahim (2005) verificaram que salas com menor profundidade, como geralmente recomendado na literatura para se permitir melhor aproveitamento da iluminação natural, não são as mais adequadas para se garantirem edificações energeticamente eficientes.

Mostrou ainda que existe excelente correlação entre consumo de energia e o inverso da profundidade dos ambientes, ou seja, salas mais profundas apresentam menor consumo de energia em edificações artificialmente condicionadas e com integração da iluminação natural com a artificial.

Esse estudo é emblemático, pois reforça a importância da análise da eficiência energética por um olhar pautado nos princípios do conforto ambiental e bem-estar dos usuários. Por que tais constatações podem direcionar erroneamente alterações nos padrões de aberturas em função exclusivamente nos gastos energéticos, sendo que estes, neste caso, devem estar em segundo plano. Os benefícios relacionados ao conforto, saúde, produtividade provenientes da iluminação natural, a necessidade de interação com o espaço exterior e a ventilação são mais importantes.

Os cálculos matemáticos para redução dos gastos energéticos devem ser limitados em função dos aspectos de conforto e bem-estar emocional. A redução do consumo de energia elétrica está diretamente relacionada com a redução das áreas de janelas, mas apesar de ser eficiente energeticamente, cria espaços inapropriados para a vida humana.

As aberturas devem ser pensadas para proporcionar qualidade ambiental para os espaços interiores, sendo a eficiência energética beneficiada com a correta orientação e uso de proteções para o sombreamento, impedindo a entrada de calor excessivo, mas permitindo a interação com o meio externo.

Também existe outra vertente das edificações contemporâneas (descendentes dos cubos de vidro modernistas) que pecam pelo excesso de aberturas, e produzem “estufas” de vidro, que estão completamente expostas à radiação solar e não proporcionam conforto térmico para os usuários e muito menos se preocupam com os elevados gastos dos equipamentos de ar condicionado.

No IBAM/PROCEL (1997) recomendam que os vãos mínimos para iluminação considerem as questões de eficiência energética e que deve-se lançar mão de diferentes soluções incorporadas aos projeto de arquitetura, tais como iluminação zenital; aberturas mais generosas e devidamente protegidas da incidência direta dos raios solares; emprego de cores claras internamente a fim de melhor refletir a iluminação natural.

Ressaltam que o dimensionamento das aberturas não deve ser interpretado como quanto mais aberturas de janelas e painéis de vidro tiver uma construção, mais fresca e iluminada ela será. Elementos como beirais, varandas, brises e cobogós deverão ser introduzidos no prédio de modo a reduzir a contribuição da carga térmica do ambiente externo e interno da edificação. É importante que os elementos de proteção solar das fachadas sejam dimensionados de modo a não bloquear o ingresso da luz natural ao interior da edificação.

As atuais pesquisas de eficiência energética e qualidade ambiental direcionam para um busca da integração da iluminação natural e artificial. Assim, limitar as preocupações com a iluminação natural apenas pelo dimensionamento das aberturas é uma simplificação preocupante, presente na maioria dos códigos brasileiros.

Toledo (2009) lembra que um projeto de iluminação deve ser integrado e ter preocupações com as iluminâncias, contrastes adequados de luminâncias, uniformidade de distribuição de iluminâncias, ausência de ofuscamento, padrão e direção da luz, temperatura de cor, índice de reprodução de cores, treinamento do pessoal de manutenção e usuários, e vista para o exterior.

Para isso, deve-se avaliar a disponibilidade de luz natural, o desempenho da luz natural nos ambientes internos, o s tipos de iluminação necessárias para cada espaço e os possíveis sistemas de controle da iluminação artificial em resposta a luz natural (sensores, temporizadores, dimmer, etc)

Uma grande dificuldade encontrada na integração da luz natural e artificial nos na arquitetura é levantada por Toledo (2009), quanto aos métodos de integração destes sistemas.

“Observa-se que a maior parte dos trabalhos teóricos sobre iluminação apresenta vários métodos para a análise da iluminação em projetos arquitetônicos, principalmente os métodos para a iluminação natural. Poucos abordam métodos para a integração da iluminação natural e artificial. Algumas destas obras apresentam estudos de casos para ilustrar a correta utilização dos princípios

teóricos abordados. Mas a quantidade e diversidade de métodos para a análise da iluminação natural e artificial encontrada no conjunto das obras pesquisadas gera um montante de informações teóricas confusas e desvinculadas do exercício prático.” (TOLEDO, 2009, p. 4)

A autora apresenta os métodos de cálculo mais utilizados para a iluminação natural, e ressalta que, recentes pesquisas apontam para uma nova abordagem de métricas dinâmicas do desempenho da iluminação natural, que consideram a especificidade local, interação dinâmica entre o edifício, seus ocupantes e as condições climáticas do entorno ao longo de um ano. As métricas dinâmicas da iluminação natural baseiam-se em dados de radiações solar anual para um local específico gerando série de dados de iluminâncias e luminâncias dentro de uma edificação

Dos métodos citados, pode-se destacar: a Carta Solar, a Máscara de Sombra, o Método dos Lumens para iluminação natural, o Método do Fator de Luz Natural (Daylight Factor) e a Contribuição de Iluminação Natural – CIN.

“Baseado em diversas pesquisas ao longo de mais de 90 anos, o Método do Fator de Luz Natural - FLN é o mais comumente usado para a estimativa de iluminâncias internas a partir da luz natural. A ABNT (2005) sugere o uso do *Daylight Factor*, como é conhecido originalmente, como critério de comparação de desempenho entre diferentes sistemas de iluminação natural, podendo ser convertido em iluminâncias internas quando multiplicado pela iluminância externa adequada. Por considerar apenas as condições de céu uniforme e encoberto, o *Daylight Factor* torna-se um mecanismo inválido para medidas de iluminação natural em condições de céu claro, bastante comum em climas tropicais assim como no Brasil. Por esse motivo, a ABNT (2005 b, p. 2) estendeu ‘...o conceito da medida proporcional da iluminação natural, possibilitando a sua predição para qualquer condição de céu não uniforme conhecida...’ e o nomeou Contribuição de Iluminação Natural, CIN. Desta forma, recomenda-se o uso do método da CIN ao invés do FLN para projetos luminotécnicos em qualquer região brasileira.” (TOLEDO, 2009, p. 53)

Dois dos métodos mais conhecidos que abordam a questão da integração da iluminação natural e artificial são os métodos IASPI - Iluminação Artificial Suplementar Permanente em Interiores, e PALN - Percentual de Aproveitamento da Luz Natural. O método IASPI, originalmente conhecido por *PSALI – Permanent Supplementary Artificial Lighting in Interiors* (MOORE, 1993), propõe a divisão do ambiente em zonas de diferentes níveis de iluminância (iluminação natural) mostrando onde há necessidade do uso da iluminação artificial suplementar para a execução de determinada tarefa.

Toledo (2009) expõe que o método tem como vantagens a rápida aplicação e o fácil entendimento. Segundo a autora, o método PALN atua de forma diversa, avaliando o consumo energético inerente ao tipo de controle utilizado para um sistema de iluminação artificial. Permite avaliar em profundidade os tipos de controle para a iluminação artificial aplicados ao ambiente em questão, auxiliando na escolha da alternativa que proporciona maior economia de energia.

Mas percebe-se que as pesquisas e a prática profissional dos especialistas em iluminação<sup>37</sup> estão muito distantes, em conceitos e metodologias, dos índices e métodos de avaliação dos códigos de obra. É impossível tratar de conforto térmico e eficiência energética, sem considerar a integração da luz natural e artificial. Se qualquer uma delas for deficiente, comprometerá o desempenho da edificação.

Se, por um lado, o excesso de iluminação natural aumenta a carga térmica e a necessidade do ar condicionado, por outro, a dependência do sistema de iluminação artificial também comprometerá o desempenho energético, pois haverá o gasto direto da iluminação, além da carga térmica gerada pelo próprio sistema.

Nos códigos brasileiros os índices de iluminação natural são utilizados em função da área do piso de cada ambiente, uma metodologia simplista e não utilizada pelos pesquisadores e especialistas em iluminação.

Mas ao mesmo tempo, a metodologia utilizada pelos especialistas está longe da prática profissional, por motivos de formação acadêmica, de complexidade metodológica, de não exigência na aprovação dos projetos, da não valorização pelo mercado imobiliário e usuários, por falta de conhecimento ou capacitação técnica.

Percebe-se que houve um grande avanço tecnológico quanto aos sistemas de iluminação natural e artificial, mas os profissionais não se capacitaram simultaneamente.

Buson (1998) também questiona os valores adotados nos códigos, que na maioria das vezes, foram copiados de outros códigos, sem adaptação para a realidade do local. O autor analisou os índices exigidos no COE-DF (versão anterior ao código atual) e verificou que deve-se alterar as exigências para a área de iluminação de 1/8 para 1/6 da área de piso dos ambientes.

---

<sup>37</sup> Profissionais que trabalham com a integração da luz natural e artificial, em busca da qualidade ambiental e eficiência energética.

A relação de 1/8 da área de piso para ambientes de permanência prolongada não foi encontrada em outro código, além do COE-DF. No IBAM/PROCEL (1997), nos Códigos de Salvador, Porto Alegre, Paracatu, Florianópolis, no Caderno de Encargos do RJ a proporção exigida é de 1/6. Já no estudo para o Código de Mogi das Cruzes, recomendam que seja exigido 1/5.

No Caderno de Encargos do RJ (CE-RJ, 2002) e no Código de Salvador existe uma preocupação maior com a integração da iluminação natural e artificial, abrangendo o que tradicionalmente é encontrado nos códigos de obra para iluminação natural, e acrescentando outros aspectos para integração com a iluminação artificial.

Em análise dos dados encontrados (ver anexo 14), verifica-se que existe um grande número de parâmetros em comum, na abordagem da integração da luz natural e artificial, principalmente quanto a profundidade dos ambientes, eficiência dos sistemas artificiais (lâmpadas, reatores, dimmers, sensores), aprovação do projeto luminotécnico, limite da porcentagem de abertura e sombreamento dos vidros.

Na NBR 15575-1, para Habitações Coletivas, são estabelecidos valores para a iluminação natural e artificial nas diferentes dependências do edifício habitacional durante o dia.

**Tabela 10:** Iluminação Natural para Habitações Coletivas

<b>Dependência</b>	<b>Iluminamento geral para o nível mínimo de desempenho (lux) LUZ NATURAL</b>	<b>Iluminamento geral para o nível mínimo de desempenho (lux) LUZ ARTIFICIAL</b>
Sala de Estar Dormitório Copa/Cozinha Banheiro Área de Serviço	≥ 60 lux	≥ 100 lux
Corredor ou escada interna à unidade Corredor de uso comum (prédios) Escadaria de uso comum (prédios) Garagens / estacionamentos	Não exigido	≥ 50 lux

Fonte: NBR 15575-1

A norma estabelece premissas de projetos, que devem considerar em relação à iluminação natural, a disposição dos cômodos, orientação geográfica da edificação, dimensionamento e posição das aberturas, tipo de janela e de envidraçamento, rugosidade e cor das paredes, tetos e pisos, poços de ventilação e iluminação, domus de iluminação e influência de interferências externas (construções vizinhas, por exemplo).

Determina que a avaliação da iluminação natural e artificial seja feita em função da metodologia da NBR 15215-3, que, por não ser simples e fácil de aplicar, distancia a aplicabilidade dos índices propostos.

Já o RTQ-C avalia apenas o sistema de iluminação artificial, no processo de etiquetagem, e a contribuição da iluminação natural é um pré-requisito, juntamente com a divisão dos circuitos e o desligamento automático do sistema de iluminação.

**Tabela 11:** Relação entre pré-requisitos e níveis de eficiência.

Pré-requisito	Nível A	Nível B	Nível C
4.1.1 Divisão dos circuitos	Sim	Sim	Sim
4.1.2 Contribuição da luz natural	Sim	Sim	
4.1.3 Desligamento automático do sistema de iluminação	Sim		

Fonte: Manual do RTQ (2009, p. 100)

“Para reduzir a necessidade de uso da iluminação artificial quando há luz natural suficiente para prover a iluminância adequada no plano de trabalho, o RTQ-C determina que as luminárias próximas às janelas devem possuir um dispositivo de desligamento independente do restante do sistema. As luminárias não precisam ser alinhadas entre si, mas sim que o sistema seja alinhado às janelas. Desta forma, o posicionamento das luminárias é também um item importante a ser considerado no projeto luminotécnico.” (Manual do RTQ, 2009, p. 101)

Percebe-se que a iluminação natural deveria ser melhor considerada pelo RTQ-C, para avaliação da eficiência energética das edificações. Mas talvez um dos motivos seja a dificuldade de aplicabilidade da avaliação da iluminação natural nas edificações, pelos métodos de cálculo e avaliação das normas existentes. Ainda é um ponto a ser melhor tratado pelo regulamento.

De modo geral, a abordagem da iluminação natural, integrada com a iluminação artificial, é muito incipiente nos códigos e legislações brasileiras, existindo algumas iniciativas pontuais para uma sistematização com foco nos confortos térmico e visual e eficiência energética.

## **Ventilação Natural**

A ventilação de um ambiente é entendida como a troca de ar interno por ar externo, e suas principais funções são manter o ambiente livre de impurezas e odores indesejáveis, além de fornecer O<sub>2</sub> e reduzir a concentração de CO<sub>2</sub>; remover o excesso de calor acumulado no interior da edificação produzido por pessoas ou fontes internas; resfriar a estrutura do edifício e seus componentes evitando o aquecimento do ar interno; facilitar as trocas térmicas do corpo humano com o meio ambiente (especialmente no verão); remover o excesso de vapor d'água existente no ar interno evitando a condensação superficial.

A ventilação está diretamente relacionada com o dimensionamento das aberturas na edificação, e é apontada freqüentemente como a estratégia bioclimática mais eficiente para obtenção de conforto térmico nos espaços arquitetônicos.

Além disso, para Bittencourt e Cândido (2008), essa estratégia possui um alcance social indiscutível, pois os usuários com mais condições financeiras podem "corrigir" os erros de uma construção desconfortável por meio de aparelhos de ar, e a população de baixa renda depende fundamentalmente, de um projeto elaborado de forma adequada para obter conforto térmico em suas edificações.

Em qualquer período do ano exige a necessidade de ventilação no interior dos ambientes, porém, suas necessidades são bastante diferentes, pois no verão as necessidades de ventilação dizem respeito às questões térmicas e higiênicas, e no inverno a necessidade é apenas de ordem higiênicas.

As exigências higiênicas têm caráter permanente e devem ser satisfeitas a qualquer época do ano. As térmicas só interessam quando o microclima interno é quente e o ar exterior tem uma temperatura menor que a interior.

Por isso, é importante existir índices mínimos de ventilação natural, garantidos em legislação. No formato padrão dos Códigos de Obra, existe na seção "Dos Vãos e Aberturas", o dimensionamento mínimo exigido para os ambientes em função da área de piso, para a entrada do ar, com recomendação de que exista ventilação cruzada para os ambientes de permanência prolongada.

Segundo Cândido (2006), uma das dificuldades encontradas na transformação da ventilação em índices mínimos para as normas é a necessidade de associação entre as taxas de renovação de ar adequadas ao clima e a distribuição do fluxo do ar no



interior dos ambientes. A associação de tais itens é, portanto, de grande importância para o projeto das aberturas das edificações, embora ainda não tenha sido contemplada pelos avanços tecnológicos da área.

“As taxas de renovação do ar tem grande aplicabilidade nos programas relacionados ao desempenho térmico, sendo um dos dados de entrada dos mesmos, e servem como base para as exigências de conforto em normas. Entretanto, tais taxas não contemplam o comportamento da ventilação natural no interior dos ambientes. A distribuição no interior dos ambientes é um aspectos ainda pouco explorado, podendo ser obtida pelos métodos multizonal e CFD (Dinâmica dos Fluidos Computadorizada). Tais itens são fortemente influenciados pelo tamanho, forma e localização das aberturas que, por sua vez, são de grande importância para os padrões mínimos adotados em normas e códigos de obras.” (CÂNDIDO, 2006, p. 30)

Os estudos de Toledo (2001) e Cândido (2006) reafirmam que os atuais códigos de edificações brasileiros guardam resquícios dos antigos Códigos Sanitários, de Posturas Municipais e dos Planos Diretores de Zoneamento, e que de maneira geral, os índices de ventilação utilizados, assim como de iluminação natural, são comuns a várias cidades brasileiras, com realidades climáticas diferentes. Na maioria dos códigos, o dimensionamento das aberturas é feito em função da área do piso, e em muitos, principalmente os mais antigos, o cálculo para ventilação e iluminação natural são os mesmos.

O Código de Porto Alegre (1992) estabelece dimensões de aberturas em função da área de piso, mas de forma diferenciada para iluminação e ventilação. Os índices também são diferentes em função do uso (Residencial e não Residencial).

Para Bittencourt e Cândido (2008, p. 67) a configuração do fluxo de ar no interior de uma construção será determinada por três fatores principais:

- 1) o tamanho e a localização das aberturas de entrada do ar na parede;
- 2) o tipo e a configuração das aberturas usadas
- 3) e a localização de outros componentes arquitetônicos nas proximidades das aberturas, tais como divisórias internas e painéis verticais ou horizontais adjacentes (como protetores solares e marquises, por exemplo)

O tamanho, a localização e o tipo das aberturas de entrada e saída do ar influenciam fortemente a velocidade e o padrão de distribuição do fluxo de ar no interior dos ambientes. A relação entre as aberturas de entrada e saída do ar é de grande

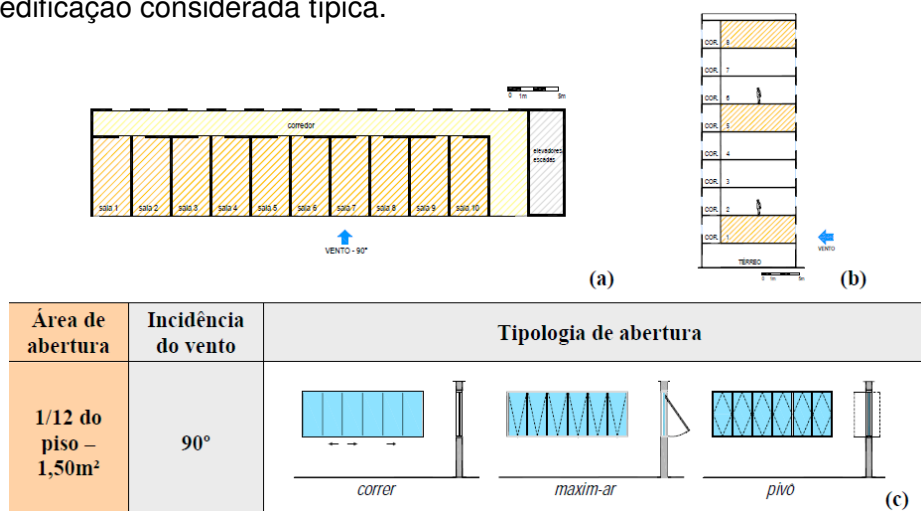
importância nos valores de velocidade média, e de uma maneira geral, aberturas de entrada com mesma dimensão das aberturas de saída proporcionam uma melhor distribuição do fluxo de ar e valores da velocidade média mais uniforme.

“Entradas de ar maiores que as de saída reduzem o fluxo de ar porque parte da energia cinética é transformada em pressão estática ao redor das aberturas de saída. Essa configuração, porém, propicia uma distribuição mais uniforme da velocidade do ar dentro do ambiente.” (BITTENCOURT E CÂNDIDO, 2008, p. 68)

A tipologia da abertura influencia a ventilação dos ambientes por oferecer maior ou menor resistência à passagem do ar. Enquanto que nos clima úmidos, quanto menor resistência à passagem do ar e maior for a porosidade da fachada melhor, em climas temperados, a maior importância é quanto ao controle da ventilação, pois é uma estratégia importante para o conforto no verão, mas também, em excesso, intensifica o frio no inverno.

Os códigos de obra poderiam contribuir para a adoção de aberturas mais eficientes caso os índices de área de abertura fossem relacionados à porosidade da fachada e não a área de piso do ambiente. Segundo Cândido (2006), outra possibilidade seria a interligação entre a área de abertura (área efetiva de ventilação, ou seja, aberta) e a taxa de renovações de ar necessárias para o resfriamento do ambiente.

Cândido e Bittencourt (2006) realizaram uma análise comparativa dos três tipos de esquadrias (pivô vertical, correr e maxim-ar), com dimensionamento de acordo com os índices exigidos pelo Código de Maceió, utilizando o *software* PHOENICS 3.6, de uma edificação considerada típica.



**Figura 45:** Estudo de tipologias de esquadrias e influência na ventilação. Fonte: Cândido e Bittencourt (2006)

Os autores verificaram que a esquadria de pivô vertical demonstrou um melhor desempenho quanto à distribuição do fluxo do ar e velocidade do vento no interior dos ambientes, enquanto que a tipologia de correr proporcionou um insuflamento de ar concentrado na área das aberturas e ocorreu a formação de zonas de vórtices no ambiente. Já a esquadria maxim-ar, além de não ter proporcionado um insuflamento de ar uniforme no ambiente, mostrou-se como obstáculo à entrada dos ventos devido ao seu formato.

A pesquisa foi importante para demonstrar que para a mesma especificação de área de abertura do Código de Obras, a distribuição do fluxo de ar e a velocidade do vento foi influenciada pela tipologia de esquadria adotada pelo projetista e localização (pavimento). Concluíram que as especificações poderiam adotar coeficientes de correção para diferentes tipologias de esquadria a rever a área de abertura para a ventilação.

Segundo os autores, a necessidade de variação do tipo de abertura nos diferentes pavimentos embora não seja o foco do Código de Obras, poderia ser utilizado pelos projetistas na concepção dos ambientes. Em relação à importância das aberturas de saída do ar, estas deveriam se constituir em item maior estudo por parte dos projetistas, pra proporcionar melhores condições de conforto no interior dos ambientes. Tais itens poderiam ser muito úteis na formulação de normas e Códigos mais adequados e conseqüente melhor desempenho do ponto de vista energético e do conforto do ambiente construído.

O modelo do IBAM/PROCEL (1997), apesar da preocupação com o conforto ambiental, também especifica vão úteis para a ventilação cruzada em função da área de piso: 1/6 da área de piso para os compartimentos de permanência prolongada e 1/8 para os ambientes de permanência transitória e 1/20 para garagens. Não especifica dimensões diferentes de acordo com o uso da edificação.

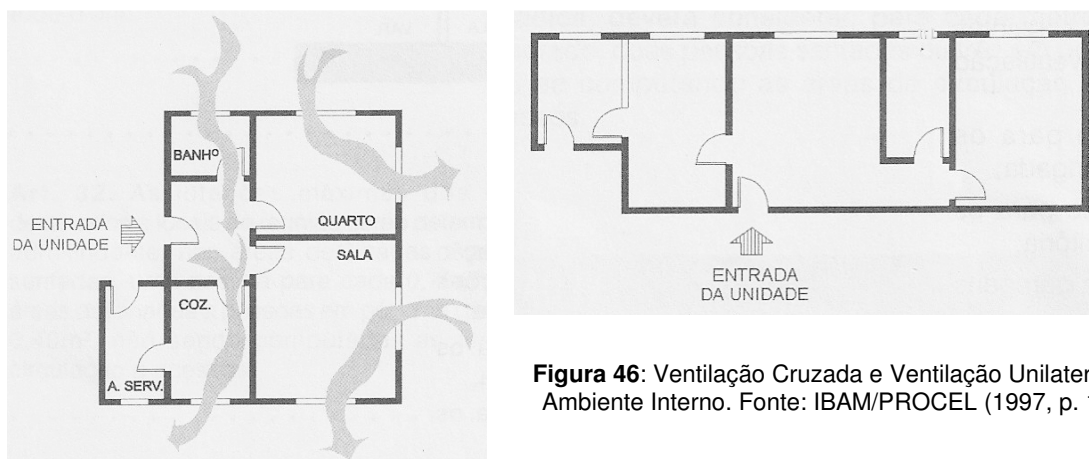
Mas faz uma ressalva para o caso de janelas basculantes, afirmando que estas funcionam como um anteparo ao vento e reduzem a capacidade de ventilação dos ambientes.

“Básculas que abrem a uma inclinação de 30° com a horizontal, proporcionam apenas 36% de ventilação comparada a uma janela que não oferece qualquer forma de obstáculo ao vento. Esse valor baixa para 26% quando a abertura da báscula faz um ângulo de 45 °com a horizontal. De um modo geral, pode-se considerar um aproveitamento de 30% para as janelas basculantes”. (IBAM/PROCEL,1997, p. 109)

Assim, de acordo com o modelo do IBAM/PROCEL (1997), para um cômodo de permanência transitória com 8 m<sup>2</sup>, o vão de ventilação deve ser 1m<sup>2</sup> (1/8 x 8m<sup>2</sup>) e caso seja adotada a janela basculante, deve-se considerar que seu aproveitamento é de apenas 30%. Logo, o vão necessário será de 30/100 x A = 1m<sup>2</sup>, onde A (área do vão a ser instalada a esquadria) será igual a 3,3m<sup>2</sup>.

Já quanto às janelas de correr, afirmam que os modelos comumente adotados, com generosos panos de vidro, geralmente perdem, em termos de abertura para ventilação, metade do seu vão.

Uma importante exigência feita no modelo do IBAM/PROCEL (1997) é quanto à ventilação unilateral dos ambientes. Ressaltam que as proporções apresentadas no código, referem-se a ventilação cruzada, e que em caso de ventilação unilateral, os valores devem ser dobrados.

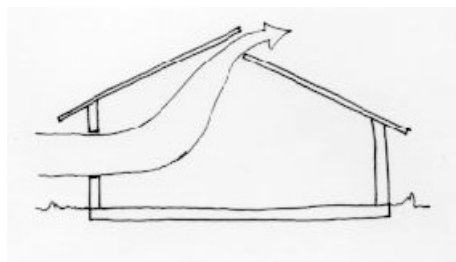


**Figura 46:** Ventilação Cruzada e Ventilação Unilateral de Ambiente Interno. Fonte: IBAM/PROCEL (1997, p. 110)

O Caderno de Encargos para Eficiência Energética em Prédios Públicos do Rio de Janeiro (CE-RJ, 2002) estabelece que a renovação de ar do ambiente deve preferencialmente ser feita por meio de ventilação cruzada ou por meio do “efeito chaminé”, cabendo ao projetista considerar a implantação de aberturas para este fim. Explica o conceito de efeito chaminé, e que este ocorre devido à tendência dos gases em se elevarem quando aquecidos, criando um fluxo ascendente. Para a ventilação cruzada define como a circulação do ar através de aberturas situadas em lados opostos de um ambiente.

Quanto à forma de dimensionamento, segue as recomendações do IBAM/PROCEL (1997) em função da área de piso (1/6, 1/8 e 1/20). Estabelece que todas as entradas e saídas de ventilação devem ser posicionadas onde o aproveitamento da pressão do vento e do efeito chaminé, para ventilação natural, possa

ser maximizado. As aberturas de entrada de ventilação devem preferencialmente ser localizadas em um nível mais baixo que as de saída.



**Figura 47:** Exemplo de efeito chaminé: a entrada de ar localiza-se abaixo da saída, para fluxo ascendente

No Caderno de Encargos do RJ (CE-RJ, 2002) a taxa de renovações de ar em um ambiente deve obedecer a NBR 6401, e pode ser calculada por programa computacional. Todas as janelas deverão possuir caixilhos que permitam a sua abertura, desde que não comprometam aspectos de segurança. As aberturas de ventilação podem estar separadas das aberturas de iluminação, proporcionando maior controle sobre a renovação do ar no ambiente, e as áreas de ventilação deverão ser distribuídas, preferencialmente, 50% para a entrada e 50% para a saída. Também faz referência à utilização de estratégia bioclimática passiva para conforto ambiental na edificação. Recomenda a utilização do resfriamento passivo noturno.<sup>38</sup>

Isso demonstra a que é possível e pode ser eficaz, a inserção de estratégias bioclimáticas nos códigos, pois disponibiliza uma informação importante como diretriz para o desempenho térmico e energético das edificações.

A norma ABNT NBR 15.220-3, para Habitações Unifamiliares, apresenta recomendações de dimensionamento das aberturas para ventilação em função da área do piso, para cada Zona Bioclimática.

**Tabela 12:** Aberturas para ventilação, segundo a ABNT NBR 15.220-3

<b>Aberturas para ventilação</b>	<b>A (em % da área de piso)</b>
Pequenas	$10\% < A < 15\%$
Médias	$15\% < A < 25\%$
Grandes	$A > 40\%$

Mas, com já dito anteriormente, os índices de tal norma, referem-se a Habitações Unifamiliares, e devem ser usados com cautela para outras tipologias.

Cândido (2006) critica a revisão do Código de Maceió, de 2004, onde as especificações relacionadas às aberturas foram substituídas por uma referência à

<sup>38</sup> Entende-se por resfriamento passivo noturno a captação noturna do ar exterior que, ao circular pela edificação, resfria sua massa.” (Caderno de Encargos para Eficiência Energética em Prédios Públicos do Rio de Janeiro, 2002, p. 24)

norma da ABNT, o que pode agravar a construção de edifícios de escritórios energeticamente ineficientes, pois os índices são para Habitações Unifamiliares e não devem ser usadas para outras tipologias.

No RTQ-C, a ventilação natural dos ambientes internos não é considerada na classificação da etiqueta das Edificações Comerciais, pelo método prescritivo. Também não existem restrições, recomendações ou grandes incentivos para o uso desta ventilação na melhoria do desempenho da edificação. Poderia existir uma maior exigência quanto a este item, uma vez que é possível a integração da ventilação natural e artificial para melhor eficiência energética dos edifícios comerciais. Infelizmente essa tipologia tornou-se a mais dependente do ar condicionado para atingir níveis de conforto interno, mas estudos comprovam que é possível a integração com a ventilação natural, como acontece no Edifício Gustavo Capanema (MEC), no Rio de Janeiro, do arquiteto Oscar Niemeyer, apontado nos estudos de Corbella e Yannas (2003). O edifício é um exemplo e alternativas para o nosso clima: pilotis e a promoção da ventilação cruzada eliminando a utilização de condicionamento artificial de ar.

Para as Habitações Coletivas, a norma ABNT NBR 15.575-4, estabelece aberturas para ventilação para os ambientes de permanência prolongada, onde os valores mínimos admissíveis são estipulados, em função da área de piso, de acordo com a Zona Bioclimática.

**Tabela 13:** Aberturas para Ventilação segundo a ABNT NBR 15.575-4

Nível de desempenho	Aberturas para Ventilação (A) <sup>39</sup> % da área do piso *		
	Zona 1 a 6 Aberturas Médias A≥8	Zona 7 Aberturas Pequenas A≥5	Zona 8 Aberturas Grandes A≥15
Mínimo			

\* Nas zonas 1 a 6 as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.

Segundo a Norma ABNT NBR 15.220-3, para Habitações Unifamiliares na Zona 4, um ambiente de permanência prolongada de 10m<sup>2</sup>, deve ter abertura com dimensões médias (15% < A < 25%), ou seja, entre 1,5 a 2,5m<sup>2</sup>. Já para Habitações Coletivas, a exigência da ABNT NBR 15.575-4, para a mesma zona, do mesmo ambiente, passa a ser (A≥8%) de uma área mínima de 0,8m<sup>2</sup>.

<sup>39</sup> A avaliação do projeto considera cada ambiente, na seguinte relação:  $A = 100 \cdot (Aa / Ap)$  (%), onde **Aa** é a área efetiva de abertura de ventilação do ambiente, sendo que para o cálculo desta área somente são consideradas as aberturas que permitem livre circulação de ar, devendo ser descartadas as áreas de perfis, vidro e de qualquer outro obstáculo, nesta área não são computadas as áreas de portas; e **Ap** é a área de piso do ambiente. (ABNT 15.575-4)

Segundo o IBAM/PROCEL (1997), esse mesmo ambiente de 10m<sup>2</sup> deveria ter abertura de 1/6 da área do piso, ou seja 16% da área de abertura, 1,66m<sup>2</sup>. Esta diferença entre as normas, em função da tipologia, demonstra a necessidade de adequação dos Códigos ou estudos mais detalhados em função dos climas locais, que demonstrem a eficácia da utilização do mesmo índice para tipologias diferentes.

No Código de Salvador, foram estabelecidas dimensões de esquadrias em função da área de piso, sem distinção quanto ao uso da edificação, mas com critérios para os tipos de esquadrias instaladas em vãos dos compartimentos de permanência prolongada das edificações residenciais, que deverão permitir ventilação natural através de, no mínimo, 50% da área estabelecida. Estabelecem que as aberturas sejam 1/6 da área de piso para compartimento de permanência prolongada,( atendido um vão mínimo com área de 1,00m<sup>2</sup> ); 1/10 para compartimento de utilização eventual e 1/20 para garagens coletivas. As proporções que definem as áreas dos vãos serão alteradas para um quarto (1/4) e um oitavo (1/8) respectivamente sempre que as aberturas estiverem voltadas para varanda, alpendre, área de serviço e outros compartimentos semelhantes.

“As esquadrias de janelas de edificações de uso residencial, como casas ou apartamentos, deverão permitir que 50% de sua área seja destinada à passagem da ventilação natural quando o vão tiver o mínimo especificado.”

(CARLO e LAMBERTS, 2003, p.10)

Para facilitar o entendimento do dimensionamento das esquadrias, em função da necessidade real do vão para iluminação e ventilação, existe no Manual do Código de Salvador imagens que exemplificam a exigência de 50% do vão para ventilação. (ver anexo 15)

No Código de Salvador, fazem restrição quanto ao uso de esquadrias tipo maxim-ar ou similar, uma vez que estas não poderão ser utilizadas nos cômodos de permanência prolongada de edificações multiresidenciais, como salas e dormitórios, por não serem adequadas para proporcionar as necessárias condições de ventilação natural no clima de Salvador, onde em cerca de 58% das horas do ano é necessária a ventilação para proporcionar conforto térmico. Podem, no entanto, ser utilizadas em banheiros e cozinhas.

Na elaboração do Código de Obras de Paracatu-MG, de forma pioneira, o dimensionamento das aberturas de ventilação é definido em função da renovação do volume de ar do ambiente, de acordo com sua destinação. Seguem o indicado pela bibliografia, de exigências de ventilação higiênica ou de conforto, sendo que nos

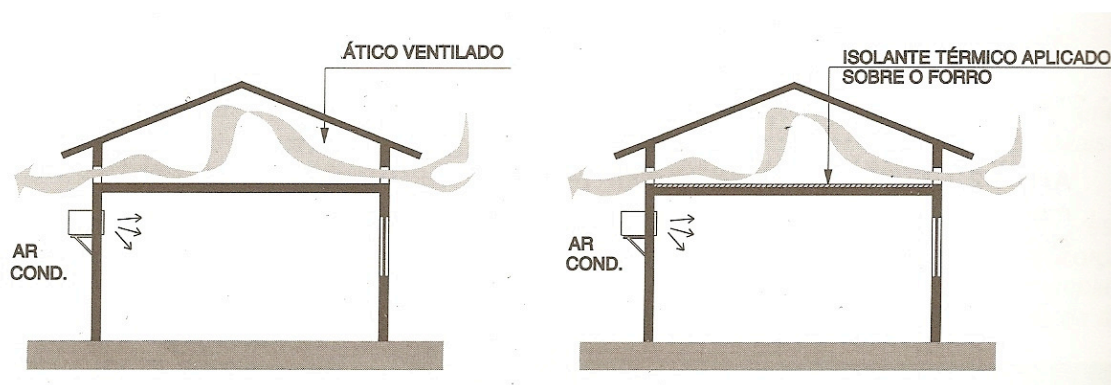
ambientes de ocupação transitória, a ventilação poderá ser apenas para renovação higiênica do ar e nos ambientes de ocupação permanente, a ventilação deverá ser dimensionada para conforto.

Todo o método de cálculo é descrito em anexo do código (ver anexo 16), para facilitar a aplicação. O dimensionamento é feito em função da taxa de ventilação, fluxo de ventilação, volume do ambiente, direção e velocidade média de vento para a cidade, afastamento entre as edificações e coeficientes de pressão de entrada e saída dos ventos.

A taxa para ventilação higiênica ( $t_v$ ) de ambientes de ocupação transitória deverá ser de no mínimo 6 (seis) renovações de volume por hora, sendo recomendada uma taxa de 8 (oito) renovações de volume por hora.

A iniciativa de dimensionamento das aberturas em função das variáveis que interferem na ventilação interna dos ambientes mostra-se viável, como demonstrado no Código de Paracatu. O uso das equações e fórmulas pode ser facilitado pela utilização de planilhas de cálculo ou software específico para os índices do código de obras. É importante a iniciativa de determinação dos vãos de ventilação específicos para os condicionantes locais.

Outro aspecto importante é a ventilação da cobertura, incentivado no IBAM/PROCEL (1997) e no CE-RJ (2002), através da câmara de ar, para eliminação do calor retido entre a cobertura e o forro.



**Figura 48:** Ventilação da Cobertura. Fonte: IBAM/PROCEL(1997, p. 50)



#### 4.1.7. Proteções Solares

O sombreamento das edificações, principalmente das aberturas, é essencial para o bom desempenho térmico-energético e visual dos ambientes internos, pois controla a incidência da luz solar. Entre os elementos da arquitetura com essa função, destacam-se a varanda, marquise, sacada, brise-soleil, telas especiais, toldos, venezianas, pérgulas e cobogós.

Bittencourt (2004) classifica os protetores solares quanto ao movimento, em móveis e fixos, e quanto à posição que ocupam da fachada podem ser de três tipos: verticais, horizontais e mistos.

Os protetores verticais são placas perpendiculares em relação ao plano horizontal e estabelecem um ângulo de sombra horizontal (medido em planta), denominado  $\beta$ . Existe uma diferenciação na medição do ângulo na bibliografia pesquisada, o que exige uma atenção especial na comparação das informações, além de gerar dúvidas para aplicação da metodologia de projeção de brises. Alguns autores (Bittencourt, 2008 e Frota e Schiffer, 2003) usam o ângulo externo em relação à normal da fachada, enquanto outros (Dutra,1990; RTQ-C,2009; Software Sol-AR) usam o ângulo interno.

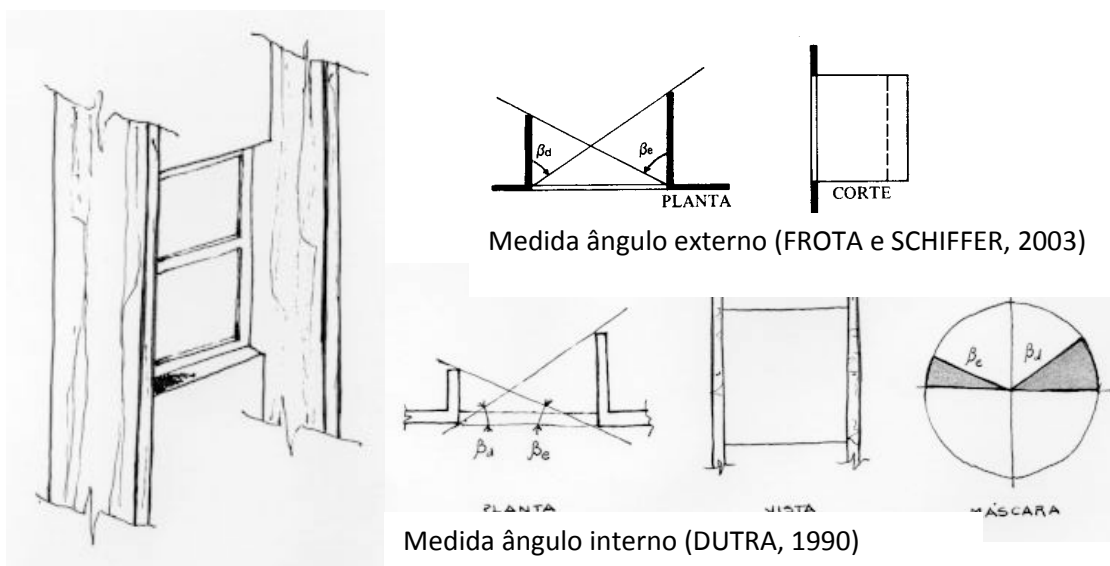
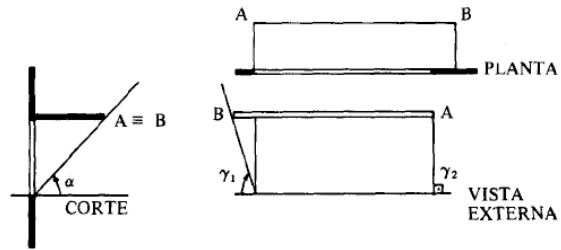
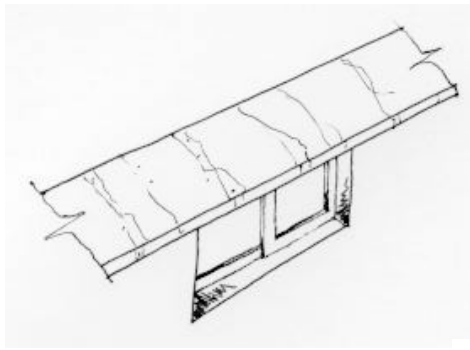
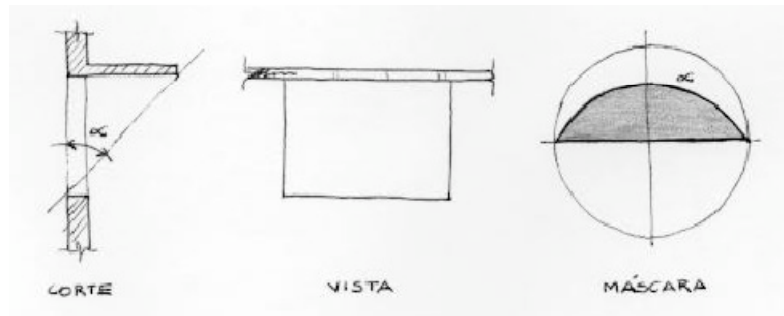


Figura 49: Exemplo de Protetor Vertical

Já os protetores horizontais são placas cujos eixos horizontais estão paralelos à fachada a ser protegida e também ao plano horizontal, e estabelecem um ângulo de sombra vertical (medido em corte), denominado  $\alpha$ . Da mesma forma, a medição do ângulo  $\alpha$  é diferente entre os autores.



Medida Ângulo Externo (FROTA e SCHIFFER, 2003)



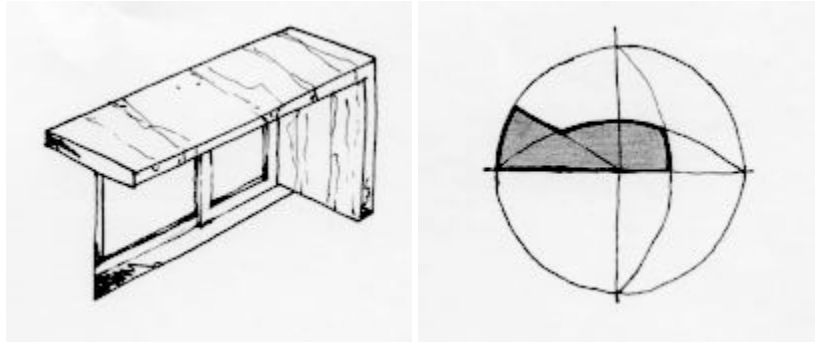
Medida Ângulo Interno (DUTRA, 1990)

**Figura 50:** Exemplo de Protetor Horizontal

“Os protetores horizontais são mais eficientes nas horas do dia em que o sol está mais alto e menos eficiente nas horas próximas ao nascer e o por do sol. Algumas vezes, o simples prolongamento do beiral pode eliminar a necessidade de brises, funcionando como um protetor horizontal.” (BITTENCOURT, 2004, p. 54)

A utilização de protetores horizontais para barrar raios baixos de insolação pode resultar na obstrução da visibilidade ao exterior, redução de luminosidade e ventilação que atravessariam a abertura sombreada, e por isso devem ser dimensionados com cautela.

Os protetores mistos são as combinações simultâneas de protetores verticais com horizontais, e por isso estabelecem os dois ângulos de sombra vertical  $\alpha$  e horizontal  $\beta$ .

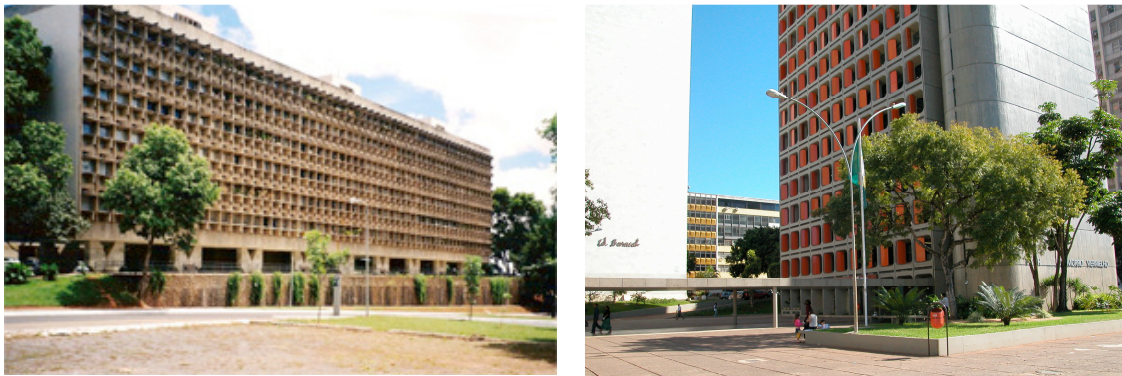


**Figura 51:** Exemplo de Protetor Misto. Fonte: Dutra (1990)

“De modo geral, os protetores mistos quando corretamente combinados, têm desempenho muito eficiente. Em regiões de baixa latitude, por exemplo, as fachadas norte e sul recebem um tipo de incidência que inclui o uso dos protetores mistos como sendo o mais inteligente, quando se deseja uma obstrução total dos raios solares.” (BITTENCOURT, 2004, p. 54)

O uso dos elementos de proteção solar na composição plástica da arquitetura, principalmente o brise-soleil e cobogós, foi amplamente utilizada na arquitetura modernista brasileira, o que é percebido na arquitetura original de Brasília.

Tanto nos edifícios residenciais das super-quadras, quanto nos comerciais e públicos, os brises e cobogós participam da estética modernista singular da cidade.



**Figura 52:** Bloco residencial (SQN 206) e edifício comercial em Brasília (SCS), com proteções solares

Mas, ao longo dos anos, a arquitetura de Brasília foi abandonando o uso das proteções solares, e conseqüentemente diminuindo o conforto térmico, visual e eficiência energética.



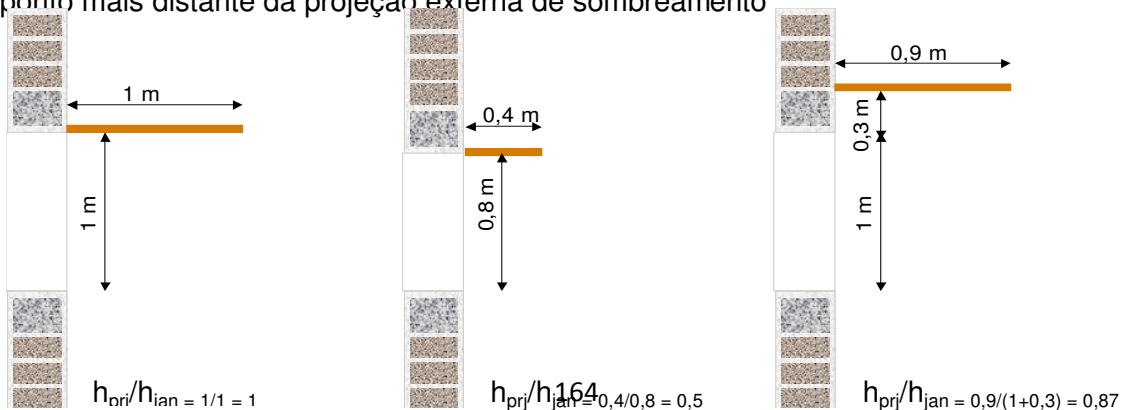
**Figura 53:** Bloco residencial (SQN 213) e edifício comercial (SBN), sem proteções solares

Nos Códigos de Obras tradicionais a questão das proteções solares não é abordada de forma a contribuir para a qualidade das edificações, pois além de não estabelecer parâmetros, também não propõe recomendações para o projeto das proteções solares de acordo com os condicionantes ambientais locais.

Como visto na análise dos fechamentos translúcidos, o Código de Salvador, relacionou as áreas de abertura, com o fator solar dos vidros, orientação das fachadas e o Fator de Projeção, o que permite uma liberdade projetiva e ao mesmo tempo garante que a edificação cumpra as diretrizes bioclimáticas para o clima da cidade.

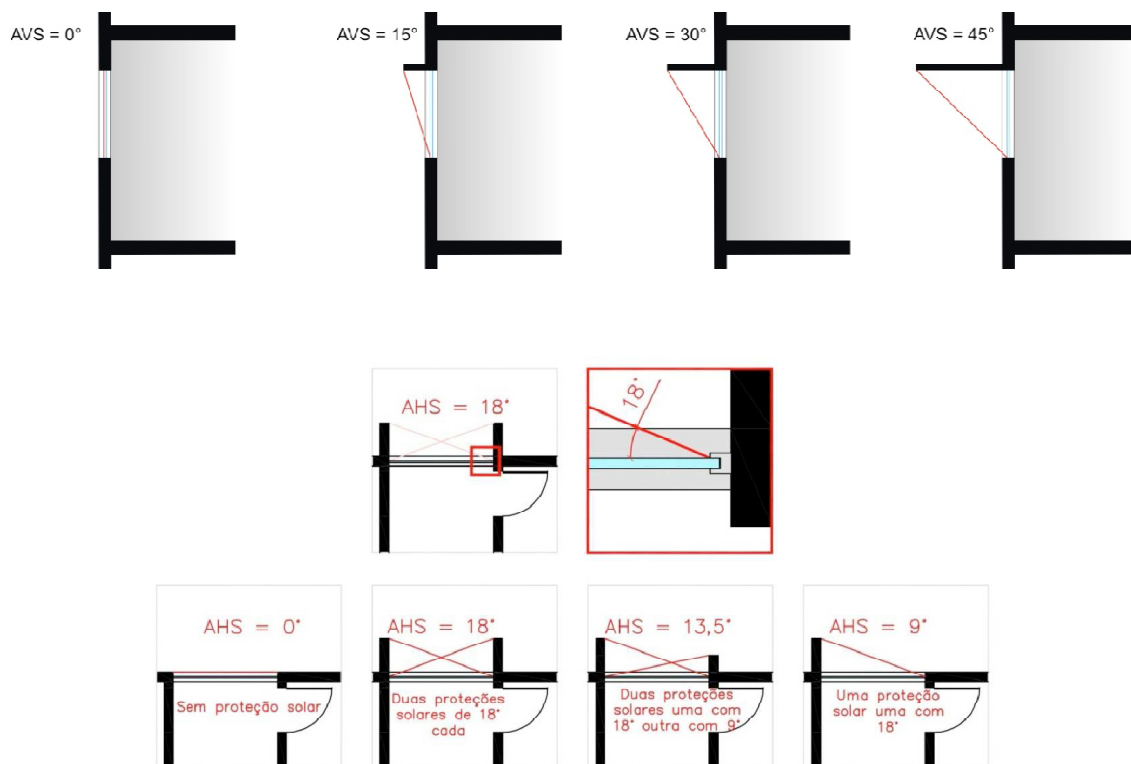
O Fator de Projeção da janela (FP), estipulado no Código de Salvador, é a razão entre a profundidade da projeção horizontal de um elemento de proteção solar colocado acima do vão pela soma da altura desse vão e a distância vertical ao ponto mais externo do elemento.

O fator de projeção refere-se ao sombreamento horizontal presente na janela. Seu uso permite que vidros de maior fator solar sejam utilizados. Quanto maior o fator de projeção, maior pode ser o fator solar do vidro. É calculado tomando-se a profundidade horizontal de uma projeção externa de sombreamento e dividindo-a pela soma da altura da abertura com a distância do alto desta abertura à parte mais baixa do ponto mais distante da projeção externa de sombreamento



**Figura 54:** Fator de projeção de diferentes tipos de brises horizontais. Fonte: Carlo e Lamberts (2003)

No RTQ-C, a avaliação das proteções solares das aberturas se dá pelo cálculo do AVS (Ângulo Vertical de Sombreamento) e AHS (Ângulo Horizontal de Sombreamento), que são inseridos na equação prescritiva de avaliação da envoltória.



**Figura 55:** Exemplos de AVS e AHS. Fonte: Manual do RTQ-C (2009, p. 18)

“A definição de abertura decorre da importância de identificar os materiais transparentes e translúcidos na envoltória do edifício. As definições de PAFT e PAZ são complementares e surgem da necessidade de quantificar a influência das aberturas no comportamento térmico do edifício. Esta influência, no caso especial das aberturas, está intimamente ligada à irradiação solar. Por este motivo, não basta determinar e quantificar as aberturas; torna-se necessário saber se e quanto as mesmas estão sombreadas. Para quantificar o efeito dos sistemas de sombreamento nas aberturas, são usados os ângulos de sombreamento.”

(Manual do RTQ-C, 2009, p. 18)

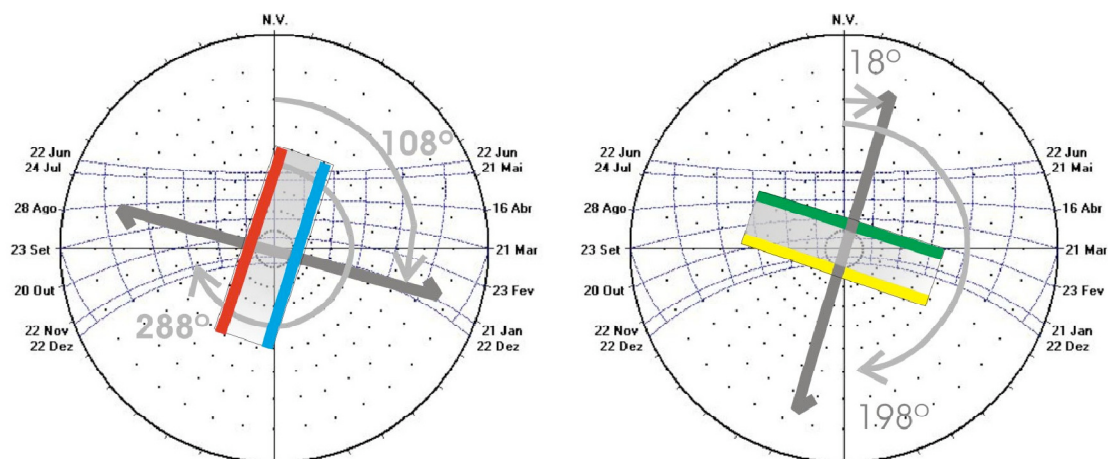
Já no Caderno de Encargos do Rio de Janeiro (CE-RJ, 2002, p. 44), apesar de não estabelecer os ângulos de proteção, recomenda o tipo de proteção mais adequada

para cada fachada, e recomendam horizontais para a fachada Norte e verticais para Leste e Oeste

Também estabelecem que os mecanismos fixos devem estar separados da parede externa da fachada por uma camada de ar de pelo menos 10 cm para impedir a transmissão do calor, excetuando-se aqueles que também possuam função estrutural (que devem ser dimensionados para evitar pontes térmicas). E quando houver proteções solares exteriores nas aberturas de ventilação natural, o desenho das proteções solares não podem ser barreira a ventilação natural. Além disso, para os elementos de sombreamento externo, bem como os batentes de janelas, estabelecem que tenham coeficiente de reflexão da radiação solar superior a 0,5.

Como mencionado na caracterização dos tipos de funções das edificações em Brasília, em estudo específico para os brises de 138 edificações públicas de escritórios da cidade (principalmente edificações do início da construção da cidade), Silva (2007) identificou que a orientação predominantes é  $108^{\circ}/288^{\circ}$  (Leste/Oeste) e  $18^{\circ}/198^{\circ}$  (Norte/Sul). A partir dessa orientação, sobrepôs a forma da edificação predominante à carta solar e verificou que

“nos edifícios com orientação  $108^{\circ}/288^{\circ}$  (aproximadamente Leste/Oeste, denominado Tipo A), a fachada leste ( $108^{\circ}$ ) recebe a insolação durante toda a manhã ao longo do ano, sendo mais intensa nos meses de dezembro a fevereiro, onde o sol incide diretamente das 05h30min às 12h, aproximadamente. A fachada oeste ( $288^{\circ}$ ) recebe o sol da tarde durante todo o ano, principalmente nos meses mais frios, a partir das 11h.” (SILVA, 2007, p. 60)



**Figura 56:** Orientações predominantes nos edifícios existentes. Fonte: Silva (2007, p. 61)

Nesse contexto, baseando-se nos estudo de casos, Silva (2007) sugere algumas diretrizes a fim de se obter um brise-soleil eficiente para o contexto climático de Brasília, considerando que diversos edifícios públicos de escritórios apresentam as mesmas

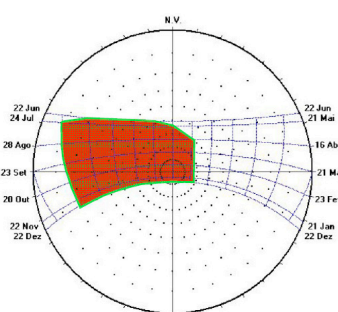


orientações estudadas. A metodologia utilizada pela autora foi a Carta Solar de Brasília com período de sombreamento necessário para garantir conforto térmico, definido a partir da comparação dos diagramas de isopletas de temperatura de Evans e Koenigsberg com o período de desconforto apresentado por Maciel (2002), que seguiu a metodologia de Givoni.

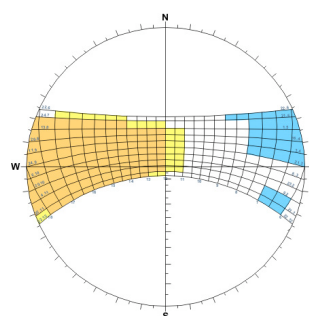
A autora ressalta que os brises podem ser móveis ou fixos desde que atendam ao período de sombreamento requerido. Os brises devem ser executados com materiais que absorvam pouca radiação, refletindo uma porcentagem maior do mesmo. De preferência, devem ser pintados em cor clara para contribuir em melhores condições térmicas e na distribuição homogênea da luz natural no interior.

Em outro estudo para dimensionamento de dispositivos de proteção solar para Brasília, desenvolvido sob a coordenação de Souza (2009)<sup>40</sup>, foram considerados os dados das Normais Climatológicas (1961-1990) para utilização da temperatura do ar externo para determinação da temperatura típica de cada mês (média mensal). A partir dessa temperatura média mensal, foi determinada a Temperatura Neutra, para estabelecer o conforto térmico. Também definiram a desejabilidade de radiação de acordo com as temperaturas. Foi realizado o estudo para as tipologias residenciais e escritório/comercial separadamente.

A partir de uma comparação entre as necessidades de sombreamento estabelecidas pelas duas metodologias (SILVA, 2007 e SOUZA 2009), para a tipologia de escritórios/comercial, a presente pesquisa estabeleceu os ângulos que atenderiam aos dois estudos.<sup>41</sup>



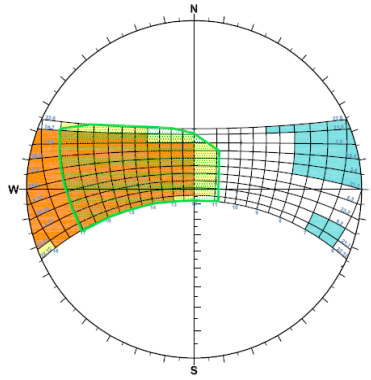
Necessidade de Sombreamento estabelecida por Silva (2007) para escritórios



Necessidade de Sombreamento estabelecida por Souza (2009) para escritórios

<sup>40</sup> Desenvolvido por equipe do Laboratório de Conforto Ambiental LabCon – UFMG, coordenado por Roberta Vieira Gonçalves de Souza.

<sup>41</sup> Nesta comparação dos estudos, o foco foi o período de desconforto (necessidade de sombreamento por calor excessivo e não sombreamento por frio). Assim, não foram considerados os usos e os tamanhos de aberturas, e nem a radiação incidentes nos planos verticais, utilizado na metodologia de Souza (2009).



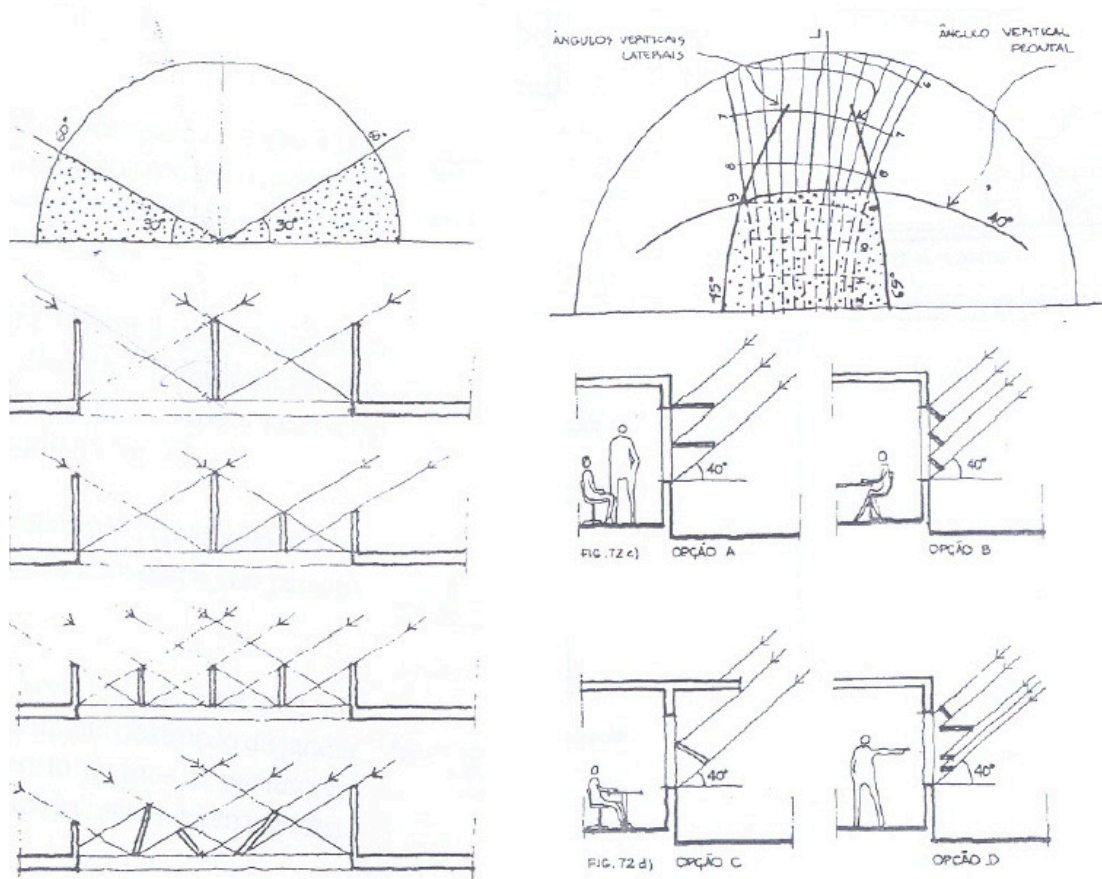
**Figura 57:** Comparação entre as necessidades de sombreamento estabelecidas por Silva (2007) e Souza (2009) para escritórios na cidade de Brasília

Percebe-se que existe uma concordância entre as autoras, sendo que Souza (2009) determina uma necessidade maior de sombreamento na fachada Oeste, nos períodos de final de tarde (em laranja), em função das temperaturas encontradas. A autora também recomenda o não sombreamento nos horários de temperaturas baixas. (em azul), para fachadas Sul e Leste.

A partir disso, foram analisadas as orientações das fachadas para Brasília, para determinação de melhores ângulos de sombreamento. Foi utilizado o programa SOLAR, e por isso os ângulos são referentes às medidas internas. (ver anexo 17)

A determinação dos melhores ângulos de sombreamento, por orientação, para cada localidade, mostra-se eficaz para diretriz de projeto, pois permite uma liberdade formal para arquitetura, e atende aos princípios bioclimáticos e eficiência energética. Diferentes soluções podem ser dadas para atender os ângulos propostos.





**Figura 58:** Exemplos de brises para mesmos ângulos de sombreamento. Fonte: Bittencourt (2004)

#### 4.1.8. Geometria dos Ambientes

Segundo Alucci (1986), o desempenho térmico de uma edificação é determinado pela interação de um conjunto de variáveis, dentre as quais se incluem: as condições de exposição às quais está submetido o edifício, as propriedades térmicas dos materiais componentes empregados na construção, a implantação do edifício no terreno e as relações geométricas adotadas no dimensionamento dos ambientes.

Em seu estudo, a autora analisou a influência da geometria dos ambientes no desempenho térmico dos mesmos, tendo em vista as demais variáveis que interferem no desempenho: a orientação e o sistema construtivo empregado.<sup>42</sup>

A partir dos resultados, a autora elaborou uma tabela com alguns indicadores para dimensionamento de ambientes de uma edificação:

**Tabela 14:** Relação dos Sistemas Construtivos com a orientação e dimensões dos ambientes

Orientação	$\Delta t$ ( $t_e - t_i$ ) °C	Sistema Construtivo			
		Bloco Vazado de Concreto		Tijolo Cerâmico Maciço	
		PD = 3,0m	PD = 2,4m	PD = 3,0m	PD = 2,4m
Norte	$\leq 1,5$	QV	QV	QV	QV
	$\leq 3,0$	QV	QV	QV	QV
Sul	$\leq 1,5$	$\geq 30m^3$	$\geq 56m^3$	QV	QV
	$\leq 3,0$	QV	QV	QV	QV
Leste	$\leq 1,5$	NSR	NSR	$\geq 35m^3$	$\geq 47m^3$
	$\leq 3,0$	QV	$\geq 28m^3$	QV	QV
Oeste	$\leq 1,5$	NSR	NSR	QV	QV
	$\leq 3,0$	$\geq 28m^3$	$\geq 35m^3$	QV	QV

PD = pé-direito do ambiente

QV = qualquer volume

Fonte: ALUCCI (1986)

NSR = não se recomenda essa orientação

$\Delta t$  = diferença entre temp. max. Interna e externa

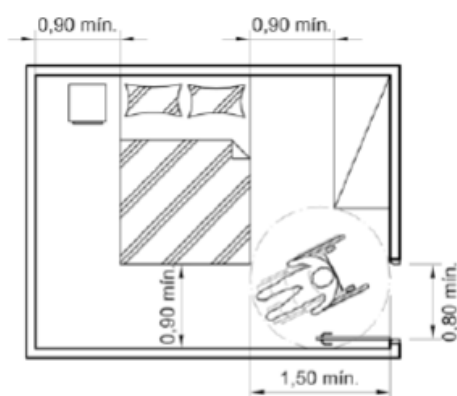
Os resultados da pesquisa demonstraram a importância do dimensionamento dos ambientes em função da geometria, o que pode ser estudado para as diversas localidades, adaptando os parâmetros (sistemas construtivos e clima) em função da realidade local.

O correto dimensionamento dos ambientes para proporcionar um bom desempenho térmico-energético é fundamental para a revisão dos códigos de obra, se for necessário, uma vez que essa legislação estabelece os mínimos de área, largura e pé-direito de diferentes tipologias.

<sup>42</sup> Com o objetivo de identificar estas correlações, foram estudados dois sistemas construtivos, sob condição climática típica de uma região quente-úmida do Estado de São Paulo, no período de verão. (Variação diurna de temperatura do ar exterior, definida como 'dia típico de projeto', onde o calor máximo é de 31 °C e mínimo, 22 °C. Os valores de radiação solar foram calculados a partir do total diário medido.

A revisão das dimensões dos compartimentos nos códigos de obra envolve uma discussão ampla e multidisciplinar, principalmente porque os dados são antigos, anteriores à algumas normas que tratam do tema. Alguns parâmetros, relacionados às áreas e dimensões de vãos de acesso estão desatualizados e necessitam de estudos específicos em função da acessibilidade, baseados na norma ABNT 9050. Por exemplo, que as dimensões de pelo menos um dos dormitórios das habitações atendam as necessidades de circulação e transferência de um cadeirante.

Se consideramos, pela figura abaixo, que a menor cama de casal tem 1,40x1,90m, o quarto não pode ter largura inferior à 2,80m (1,9 cama + 0,90circulação), o que não é atendido na maioria dos códigos, que exige entre 2,40-2,50m.



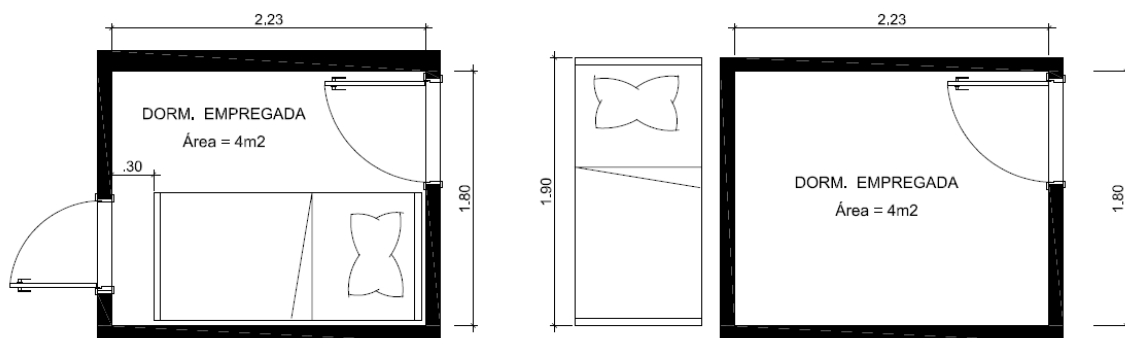
**Figura 59:** Dimensionamento de quarto. Fonte: ABNT NBR 8050

Os ambientes internos, ao longo do tempo, foram sendo alterados em função das novas atividades e necessidades da vida contemporânea. Assim, o dimensionamento dos compartimentos deve ser atualizado a partir de um estudo da funcionalidade desses espaços. Os códigos determinam dimensões mínimas, que muitas vezes, embora atendidas pelas edificações construídas, não permitem o uso de forma adequada. A ergonomia desses espaços deve ser exigida no dimensionamento dentro dos códigos. A percepção do espaço e as sensações provocadas pela sua morfologia devem ser estudadas para garantir a qualidade dos espaços internos das edificações.

Para atender ao conforto do usuário, nos aspectos de ergonomia, acessibilidade, ventilação e iluminação, devem ser feitos estudos específicos de cada área, e avaliação comparativa dos dados para que não existam conflitos de dimensionamento e especificação que interfiram da qualidade do espaço.

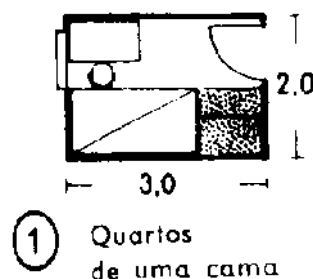
O dormitório de empregado, por exemplo, é um dos ambientes que necessita ter suas dimensões revisadas, pois não é difícil encontrar apartamentos onde é impossível

colocar uma cama, principalmente nas construções novas. Se atualmente tal compartimento teve seu uso reduzido, pois houve uma diminuição dos funcionários que dormem no trabalho, os apartamentos devem ser configurados como um depósito ou despensa, sem que exista um espaço, chamado de quarto, mas sem condições mínimas de conforto. Se for cobrado no valor da venda do imóvel, um quarto de empregado, este deve ter estas especificações, de um local de permanência prolongada, onde o conforto (ergonomia, acessibilidade, ventilação e iluminação) deve ser garantido.



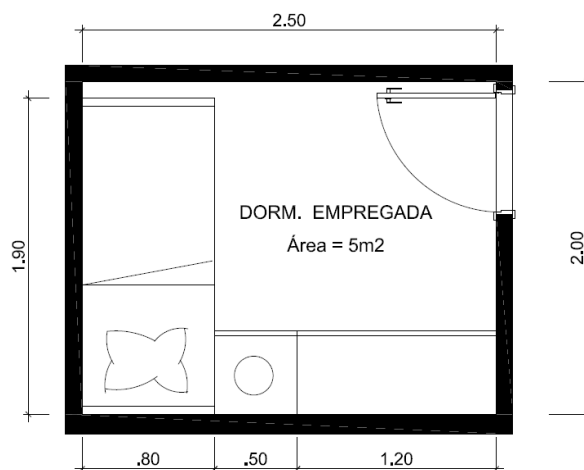
**Figura 60:** dimensões aprovadas pelo COE-DF para quartos de empregada (exemplo sem circulação e outro que não cabe a cama). O código exige dimensão mínima de 1,80 e área mínima de 4m<sup>2</sup>.

Segundo o NEUFERT (1976, p. 179), as dimensões mínimas dos quartos devem ser em função das áreas dos equipamentos (cama e armário), e para o autor, o quarto mínimo deve ter 6m<sup>2</sup>, com largura mínima de 2m. E percebe-se que o leiaute no quarto garante a circulação e o armário não ocupa a mesma área da cama.



**Figura 61:** Quarto mínimo para uma cama. Fonte: Neufert (1976, p. 179)

Já a norma ABNT 15575-1, para habitações coletivas, estabelece área para os equipamentos do quarto para uma pessoa (cama, criado e armário).



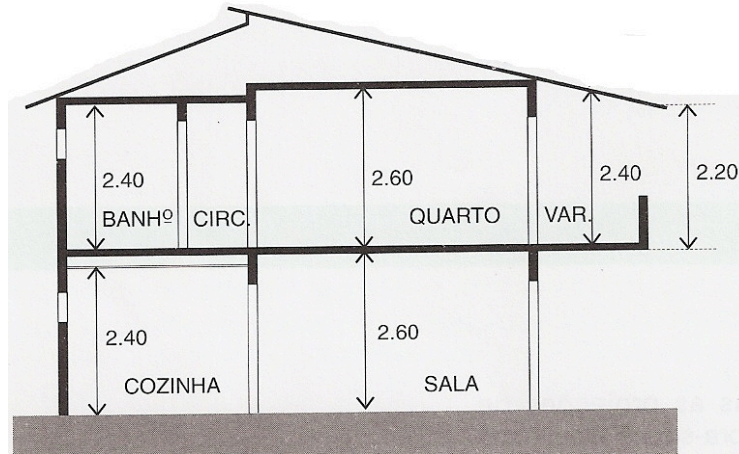
**Figura 62:** Desenho de quarto mínimo, a partir da norma ABNT 15.575-1 (p.28)

A discussão e as propostas para o resgate da qualidade dos espaços interiores e exteriores no DF devem ser incentivadas, assim como futuras pesquisas que contribuam para a revisão do COE-DF.

Como o objetivo da pesquisa foca no bioclimatismo e eficiência energética, não foram considerados os aspectos de acessibilidade e ergonomia, que também devem ser atualizados, como mencionado anteriormente, a partir das normas e referências existentes.

A altura do pé-direito, em geral, varia conforme as condições climáticas de cada região. “Para sua determinação, devem ser levados em conta o tipo de atividade a ser desenvolvida e o número e tempo de permanência de pessoas no compartimento”. (IBAM/PROCEL, 1997, p. 106) No referido manual, estabelecem dimensões mínimas recomendadas para garantir conforto ambiental nos compartimentos.

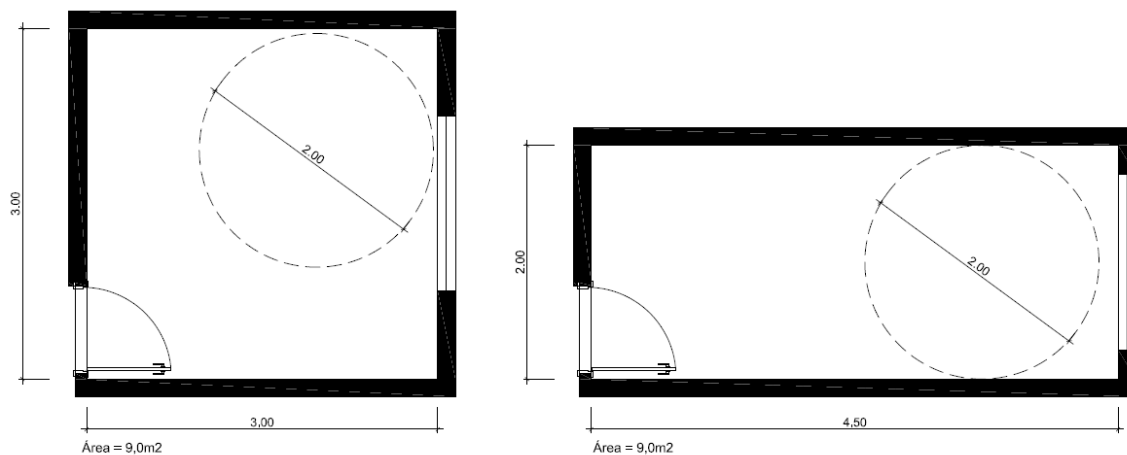
O IBAM/PROCEL (1997) recomenda que os compartimentos de permanência prolongada tenham pé-direito mínimo de 2,60m e 2,40 para os de permanência transitória, o que poderia ser adotado no COE-DF para melhorar a iluminação e ventilação dos ambientes. Indica que no caso de tetos inclinados, o ponto mais baixo deverá ter altura mínima de 2,0m e o ponto médio altura de 2,40m².



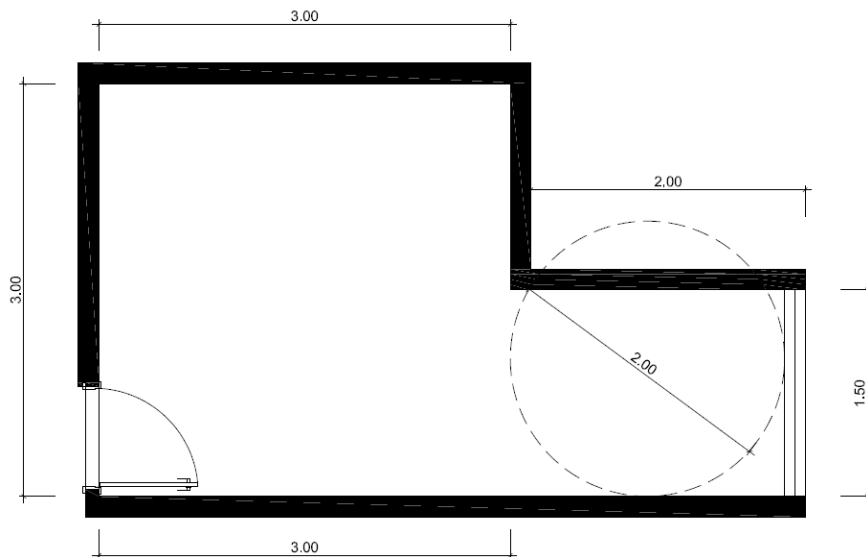
**Figura 63:** Recomações de Pé-Direito mínimo. Fonte: IBAM/PROCEL (1997, p. 106)

Para as edificações destinadas à indústria e ao comércio em geral, recomendam pé-direito mínimo de 3,20m, quando área do compartimento (A) estiver entre 25m<sup>2</sup> e 75m<sup>2</sup> e de 4,00 quando área do compartimento for maior que 75m<sup>2</sup>. Para áreas de compartimento inferior a 25m<sup>2</sup>, o pé-direito deve respeitar o mínimo de 2,60m estabelecido para ambientes de permanência prolongada. Já os corredores e galerias comerciais devem ter pé-direito mínimo de 4m.

O IBAM/PROCEL (1997, p. 106) também recomenda que os compartimentos de permanência prolongada, exceto cozinhas, deverão ter área útil mínima de 9m<sup>2</sup>, de tal forma que permita a inscrição de um círculo de 2m de diâmetro em qualquer região de sua área de piso.

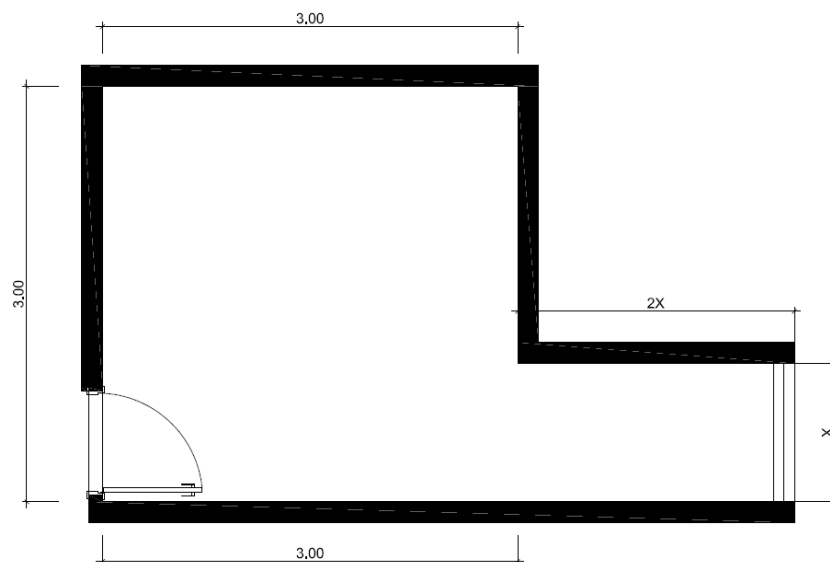


**Figura 64:** Exemplos de dimensões mínimas, com círculo de 2m. Fonte: IBAM/PROCEL (1997, p. 106)



**Figura 65:** Exemplo de dimensões não permitidas. Fonte: IBAM/PROCEL (1997, p. 107)

Tal parâmetro demonstra a necessidade de alteração do COE-DF, que não determina mínimos para essas saliências, e apenas estabelece uma proporção de 1:2 para ventilação e iluminação. Mas é importante que os compartimentos tenham áreas mínimas livres para atender aos aspectos funcionais, com a inscrição de um círculo de 2m de diâmetro. Em alguns apartamentos, por exemplo, encontram-se saliências que atendem ao código, mas são áreas inúteis para uso efetivo.



**Figura 66:** Exemplo de dimensões permitida pelo COE-DF. Fonte: COE-DF (1997, p. 96)

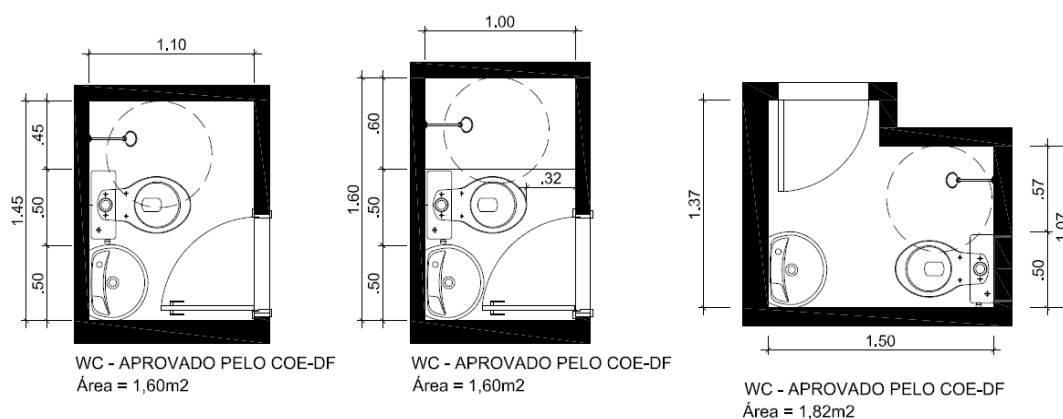
Para as cozinhas, admite-se área mínima de 6m<sup>2</sup> e para os compartimentos de permanência transitória, a área útil mínima deve ser de 1,50m<sup>2</sup>. (IBAM/PROCEL, 1997)

No COE-Porto Alegre foram introduzidas medidas mínimas para cada equipamento dos sanitários, cozinhas e áreas de serviço, o que facilita o dimensionamento e conferência da funcionalidade dos compartimentos propostos nos projetos. Exige, para os sanitários, o mínimo que permita a instalação dos aparelhos (vaso sanitário e lavatório), garantindo afastamento de 15cm entre os mesmos e afastamento de 20cm entre a lateral dos aparelhos e as paredes e área mínima para cada aparelho.<sup>43</sup> Também fazem exigências para a cozinha<sup>44</sup> e área de serviço<sup>45</sup>.

Esse modelo de artigo do COE-Porto Alegre, onde existe um dimensionamento por aparelho torna-se uma ferramenta eficaz para a garantia da qualidade dos espaços, uma vez que a definição apenas pela área não permite a avaliação correta dos mesmos, pois em vários projetos os equipamentos são sobrepostos, apenas garantindo a área mínima estabelecida pela legislação, mas na realidade não são funcionais.

A definição das áreas dos ambientes segundo o uso, com determinação de áreas mínimas para os equipamentos é o recomendado pelos autores que tratam do dimensionamento e ergonomia dos ambientes (NEUFERT, 1976), assim como a norma NBR 15575-5, para Habitações Coletivas, onde existe uma tabela com o dimensionamento mínimo de cada área da habitação. (ver anexo 18)

Segundo as medidas mínimas exigidas para banheiros de empregado, no COE-DF, verifica-se que é possível construir ambientes inadequados, onde os aparelhos ocupam o mesmo espaço (chuveiro e vaso) ou sem a circulação adequada



**Figura 67:** Exemplo de dimensões permitida pelo COE-DF para Banheiro de Empregado (Largura Mínima = 1,0m e Área mínima = 1,60m<sup>2</sup>) Fonte: COE-DF (1997, p. 80)

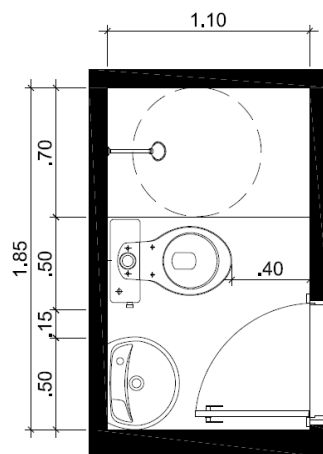
<sup>43</sup> Equipamentos Sanitários: Lavatório: 50cm x 40cm; Vaso e bidê: 40cm x 60cm; Local para Chuveiro: área mínima de 0,65m<sup>2</sup> e largura mínima que permita inscrição de círculo de 70cm de diâmetro;

<sup>44</sup> Equipamentos Cozinha: Refrigerador: 70cm x 70cm; Fogão: 60cm x 60cm; Balcão para pia: 1,20m x 60cm

<sup>45</sup> Equipamentos Área de Serviço: Tanque: 70cm x 50cm; Máquina de Lavar: 60 x 60cm



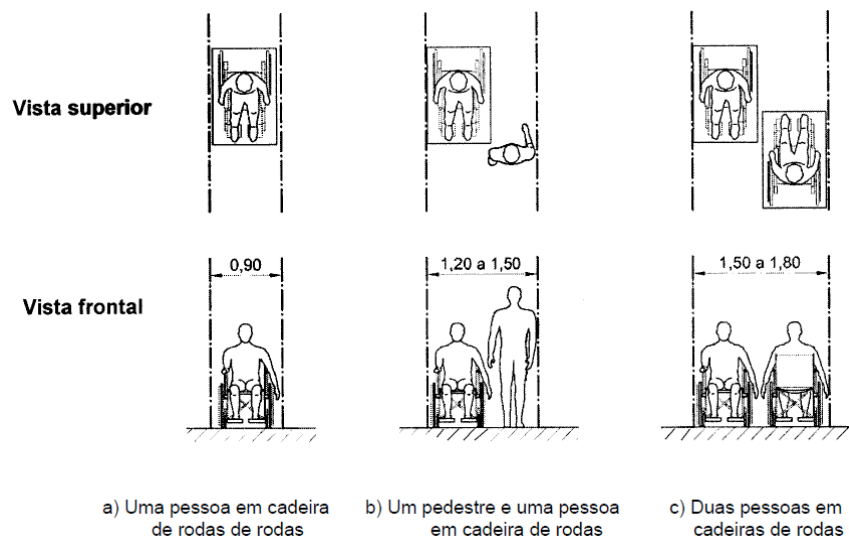
Mas, se for dimensionado um banheiro com as dimensões recomendadas pela norma ABNT NBR 15575-5 (área por equipamento e largura mínima de 1,10m), e com a inclusão de um círculo de 70cm de diâmetro e espaçamento de 15cm entre os equipamentos, como recomendado pelo COE-Porto Alegre, temos um espaço com área mínima de 2,0m<sup>2</sup>.



WC - SEGUNDO NORMA E COE-PA  
Área = 2,0m<sup>2</sup>

**Figura 68:** Exemplo de dimensões de acordo com a ABNT 15575-5 e COE-Porto (Largura Mínima = 1,10m e Área mínima = 2,0m<sup>2</sup>)

As áreas de circulação também devem ser alteradas em função da acessibilidade, segundo o IBAM/PROCEL (1997) e ANBT 9050, pois devem permitir o acesso de cadeirante, com largura mínima.



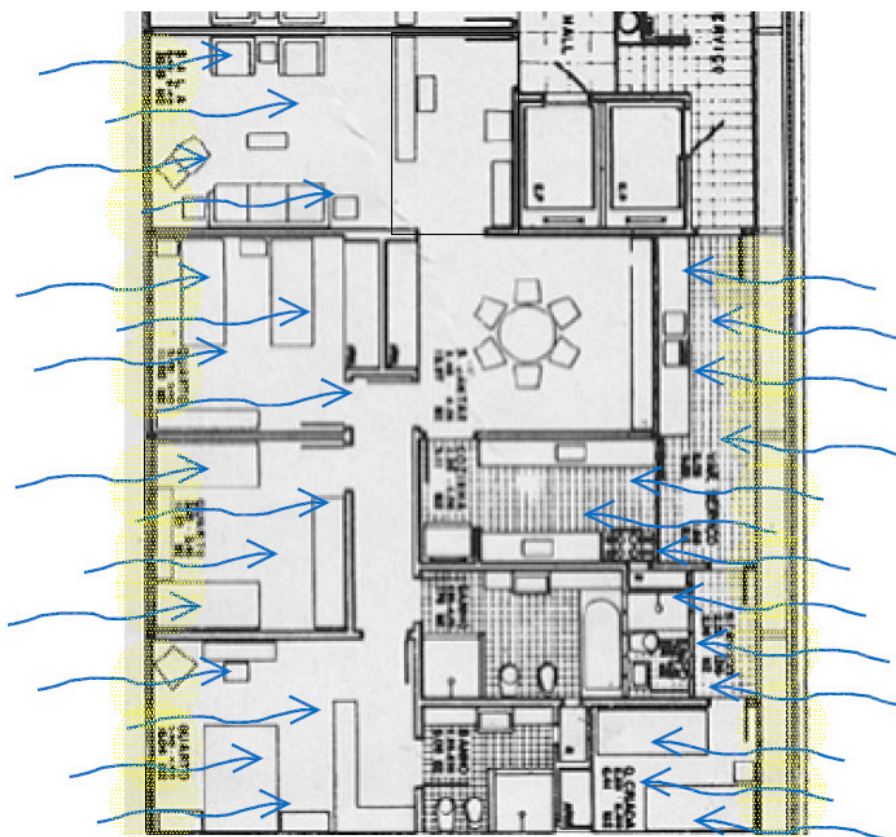
a) Uma pessoa em cadeira de rodas de rodas      b) Um pedestre e uma pessoa em cadeira de rodas      c) Duas pessoas em cadeiras de rodas

**Figura 69:** Circulação. Fonte: ABNT 9050

O dimensionamento dos compartimentos deve assegurar o conforto dos usuários, mas percebe-se que em Brasília, os espaços foram perdendo qualidade com o passar do tempo. Os edifícios construídos no início da capital federal eram dimensionados com uma preocupação maior com o bem-estar do usuário, com

ambientes bem dimensionados, com iluminação e ventilação adequados, o que não é percebido nas construções contemporâneas, onde o custo do metro quadrado e o marketing para venda estão sendo colocados acima das questões de conforto. Os compartimentos estão cada vez menores, cumprindo apenas as exigências mínimas estabelecidas no código de obra.

A partir de uma comparação de dois apartamentos, um original da construção da cidade e outro do ano de 2008, com 3 quartos, percebe-se que a qualidade ambiental é muito diferente. O apartamento original, com 130m<sup>2</sup>, vazado, com maiores dimensões para as fachadas, permite uma boa iluminação e ventilação de todos os ambientes.



**Figura 70:** Apartamento original da construção de Brasília, com marcação da ventilação e iluminação.

Já um apartamento de 2008, com área de 110m<sup>2</sup>, também planta retangular, mas com as menores dimensões para as fachadas. A ventilação e iluminação ficam comprometidas.



**Figura 71:** Apt. de 2008, com marcação da ventilação e iluminação.

Comparando as áreas dos ambientes, percebemos que existe uma diminuição significativa nos banheiros, área de serviço e quarto de empregada. Já os quartos (casal, 2 e 3) possuem praticamente a mesma área (no apartamento original as áreas são menores), mas a qualidade não é a mesma, pois o apartamento original é bem mais ventilado e iluminado.

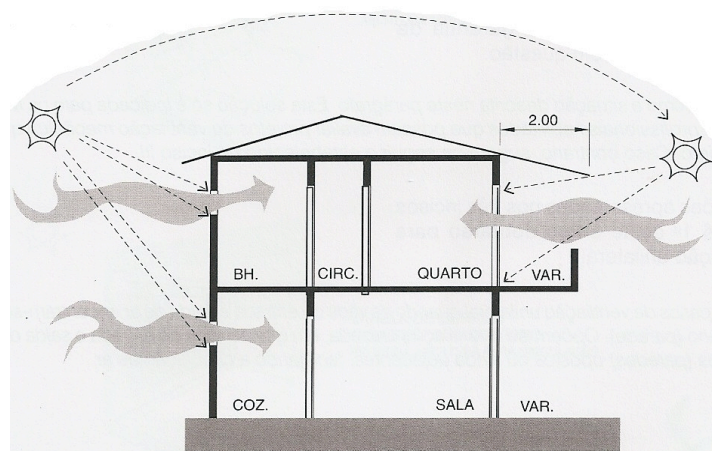
**Tabela 15:** Comparação entre as áreas dos apartamentos

Ambiente	Apt. Original (130 m <sup>2</sup> )	Apt. 2008 (110 m <sup>2</sup> )
Estar / Jantar	35	25,60
Quarto Casal	15,40	15,70
Quarto 2	12,50	14,90
Quarto 3	11,15	11,40
Banheiro Casal	6,40	3,20
Banheiro Social	7,63	3,60
Cozinha	8,85	9,40
Área de Serviço	10,60	2,83
Quarto Empregada	5,90	4,0
Banho Empregada	2,50	1,60
Circulação	6,90	4,20

Nota: áreas considerando dimensões internas dos ambientes

Este rápido estudo tem a finalidade de demonstrar como é importante o dimensionamento dos espaços e a configuração interior, ou seja o zoneamento para garantir o conforto térmico e luminoso. Limitar apenas as áreas não garante uma qualidade mínima.

No IBAM/PROCEL (1997) estabelece, por exemplo, uma profundidade máxima de varandas, alpendres e terraços para a iluminação dos ambientes de permanência prolongada.

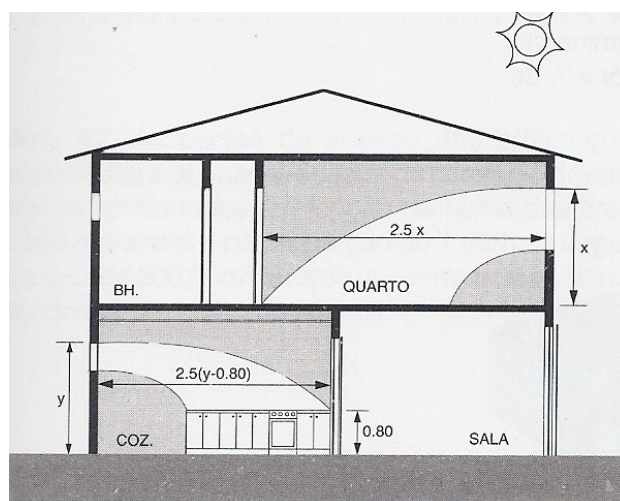


**Figura 72:**

máxima de varandas para garantir iluminação e ventilação.  
 Fonte: IBAM/PROCEL (1997, p.109)

Profundidade

Assim, como os próprios ambientes devem ter uma profundidade máxima de acordo com a abertura de iluminação estabelecida no projeto de arquitetura.



**Figura 73:** Profundidade máxima dos ambientes em função da abertura.  
 Fonte: IBAM/PROCEL (1997, p.111)

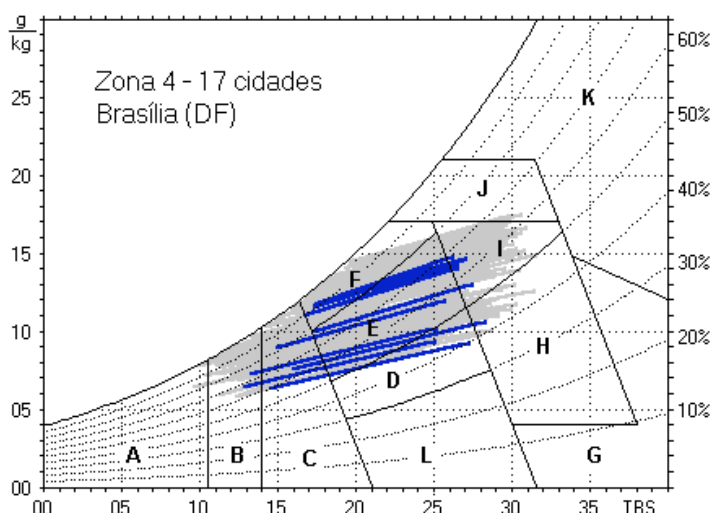
O COE-DF deve ser revisado para impor novas dimensões mínimas e resgatar a qualidade dos espaços interiores. O conformismo com a baixa qualidade dos espaços das edificações atuais não pode prevalecer, como se não houvesse solução, principalmente numa cidade que tem como um de seus conceitos básicos a busca pelo conforto e qualidade de vida dos habitantes, premissa do partido original, e um de seus grandes diferenciais, como visto na análise da forma das edificações.

## 4.2. Diretrizes para as edificações em Brasília

Para a descrição das diretrizes bioclimáticas e de eficiência energética para Brasília, apoiou-se na revisão bibliográfica e na análise de cada um dos parâmetros, feita anteriormente.

A princípio Ferreira (1965, p. 56) comenta que um edifício em Brasília, em relação a conforto térmico, deve oferecer proteção contra as temperaturas mais elevadas que ocorrem durante o dia, em consequência da forte radiação solar, assim como atenuar as perdas noturnas de calor pela edificação no período de seca, quando se verificam as temperaturas mais baixas.

A partir da Carta Bioclimática de edificações, elaborada por Givoni (NBR 15220-3), onde são propostas estratégias construtivas para adequação da arquitetura ao clima, pode-se perceber que a cidade de Brasília apresenta um grande percentual dos dados climáticos dentro dos limites da zona de conforto. A cidade está na Zona Bioclimática 4, com diretrizes específicas para o clima, segundo o Zoneamento Bioclimático Brasileiro.



**Figura 74:** Carta Bioclimática da cidade de Brasília, DF Fonte: ABNT 15.220-3

Segundo a norma, Brasília apresenta um dos climas no Brasil com mais horas de conforto no ano (41,2%), sendo que nas horas com problemas de desconforto, o frio é mais problemático. No entanto, estas horas de frio ocorrem quase sempre durante a noite/madrugada, o que não é importante no caso de edifícios de escritórios, que geralmente funcionam em horário comercial, período onde a maior preocupação se refere aos ganhos de calor. Já para as tipologias residenciais, deve-se ter uma atenção especial para garantir o conforto térmico nos períodos de frio.

**Tabela 16:** Estratégias Bioclimáticas para a Zona Bioclimática 4



CONFORTO	DESCONFORTO	ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS [%]	
41,2%	FRIO 36,6 %	Massa térmica para aquecimento	31,3
		Aquecimento solar passivo	4,37
		Aquecimento artificial	0,99
	CALOR 22,2 %	Ventilação	21,2
		Resfriamento evaporativo	8,38
		Massa térmica para resfriamento	8,29
		Ar condicionado	0,08
OBS.: O percentual de desconforto por calor ou frio não corresponde à soma das estratégias indicadas, pois os percentuais destas estratégias também consideram as zonas sobrepostas.			

Fonte: Braga (2005)

Como principais estratégias para atingir o condicionamento térmico passivo, podemos destacar o uso de resfriamento evaporativo, a massa térmica para resfriamento e ventilação seletiva no verão; aquecimento solar e - vedações internas pesadas no inverno.

Para Brasília, são recomendadas estratégias passivas para condicionamento térmico (NBR 15.520-3):

**Tabela 17: Estratégias de condicionamento térmico passivo**

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	<p><b>Resfriamento evaporativo:</b> Em regiões quentes e secas, a sensação térmica no período de verão pode ser amenizada por meio da evaporação da água. O resfriamento evaporativo pode ser obtido com o uso de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar.</p> <p><b>Massa térmica para resfriamento:</b> utilização de componentes construtivos com inércia térmica superior. Atraso da onda de calor na parte interna do ambiente, apenas no período da noite.</p> <p><b>Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)</b> A ventilação cruzada é obtida com a circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.</p> <p><b>Ar Condicionado:</b> apenas em locais ou períodos extremamente quentes, onde as estratégias de resfriamento e ventilação passivo não seja suficiente para produzir conforto. É uma porcentagem muito pequena no ano.</p>
Inverno	<p><b>Aquecimento solar da edificação:</b> A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio por meio da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes a partir do aproveitamento da radiação solar. Aberturas zenitais ou coletores de calor colocados no telhado</p> <p><b>Massa térmica para aquecimento solar passivo, com vedações internas pesadas (inércia térmica):</b> A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido. Os componentes construtivos com maior inércia térmica, além de promover o aquecimento solar passivo, evitam perda de calor.</p> <p><b>Aquecimento artificial:</b> apenas em locais extremamente frios, onde a estratégia de aquecimento solar passivo não seja suficiente para produzir conforto.</p>

Amorim (2009) apresenta tabela com distinção das estratégias para o dia e para a noite, segundo a NBR 15220-3 (2005).

**Tabela 18:** Estratégias bioclimáticas (dia e noite) recomendadas para o clima de Brasília<sup>46</sup>

Condições de Conforto (em %)	Dia	Noite	Anual
% de Horas de Conforto	61	26	44
% de Horas de Desconforto	39	74	56
Estratégias bioclimáticas (em %)	Dia	Noite	Anual
Ventilação	15	14	15
Massa p/ Resfriamento	4	0	2
Ar Condicionado	0	0	0
Massa / Aquecimento Solar	19	50	34
Aquecimento Solar Passivo	4	9	6
Aquecimento Artificial	1	1	1
Umidificação	0	0	0
Sombreamento	74	34	55

Confirma-se que o desconforto existe mais no período noturno, sendo a massa para aquecimento a melhor estratégia. Já para o período diurno, deve-se buscar principalmente o sombreamento, ventilação e também uso de massa para inércia térmica.

Além dessas estratégias, a norma define que para as habitações unifamiliares, na Zona Bioclimática 4, as aberturas devem ser médias (15% a 25% da área do piso) e sombreadas.

As paredes externas devem ser pesadas, ou seja, com Transmitância Térmica (U) menor que  $U 2,20 \text{ W/m}^2\text{.K}$ , Atraso Térmico ( $\phi$ ) maior que 6,5 h e Fator Solar (FSo) inferior a 3,5 %. Devem contribuir para a inércia térmica, ou seja, manter ao máximo o calor dentro da edificação no inverno e no verão fazer o contrário, não permitir que o calor exterior passe rapidamente para o interior.

Já para a cobertura, é recomendada que seja leve e isolada, com Transmitância térmica (U) menor que  $U 2,00 \text{ W/m}^2\text{.K}$ , Atraso Térmico ( $\phi$ ) menor que 3,3h e Fator Solar (FSo) inferior a 6,5 %. A cobertura deve ser isolada, pois é o elemento da envoltória que recebe maior carga térmica, e o calor é excessivo, sendo mais eficaz o total isolamento, e leve para que resfrie mais rapidamente.

Já para as Habitações Coletivas, os valores de transmitância estão vinculados aos de absorvância na NBR 15575-5 (Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos –

<sup>46</sup> Notas de Aula. Amorim (2009)

Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas). Para transmitâncias maiores, a absorvância deve ser menor (cores claras) e para transmitâncias menores (mas dentro do índice permitido), admiti-se absorvâncias maiores (cores mais escuras). A Capacidade Térmica mínima de todas as paredes deve ser  $CT \geq 130 \text{kJ/m}^2 \cdot \text{K}$ .

Para as Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas, o RTQ-C estabelece como pré-requisito para a envoltória, que as paredes tenham transmitância máxima de  $3,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ , para níveis de eficiência A, B, C e D, e absorvância solar baixa,  $\alpha < 0,4$  (cores claras) para níveis A e B.

As tabelas de Mahoney para Brasília (MACIEL, 2002) reafirmam a indicação da estratégia de inércia térmica para o projeto bioclimático na região e a ventilação é especificada como ventilação seletiva, ou seja, indicada apenas para condições externas favoráveis. Indica ainda a orientação norte-sul do edifício, construção compacta e proteção contra chuva no período de verão. Maciel (2002) salienta que a construção compacta pode ser desfavorável ao uso da estratégia de ventilação.

Segundo as análises de Maciel (2002), as aberturas devem ser adequadas à necessidade de ventilação parcial, apenas nos períodos desejáveis ( $TBS < 32^\circ\text{C}$ ,  $UR > 30\%$ ). Estas aberturas também devem prever proteção contra chuvas no período de verão, que apresenta maior índice de pluviosidade. Quanto à envoltória, a construção deve apresentar uma maior inércia térmica nas paredes com maior capacidade e resistência térmica. Já a cobertura necessita apenas de maior isolamento térmico que corte o pico de temperatura diurno e conserve calor no período noturno.

As construções precisam de elevada capacidade térmica para retardar a transmissão do calor diurno, permitindo que este alcance os espaços internos durante a noite quando a temperatura do ar externa é baixa e o calor, portanto, é bem-vindo. Já durante o dia, quando o frio noturno alcança os espaços internos no momento em que a temperatura externa está em seu pico, é interessante que as taxas de ventilação sejam mantidas baixas, para se obter o melhor proveito do processo de atraso térmico e atenuação na intensidade da onda térmica.

Em geral, as construções devem apresentar pequenas aberturas, grossas paredes de cores claras e pátios. As cores claras das paredes refletem parte significativa da intensa radiação solar. Os pátios criam condições microclimáticas espaciais no interior das construções, onde a temperatura do ar é rebaixada e a



umidade incrementada, pela presença de fontes de água ou vegetação. Além disso, impedem a penetração dos ventos quentes e com poeira.

A partir do estudo dos parâmetros que influenciam no desempenho bioclimático, principalmente térmico e eficiência energética, estudados no capítulo 4, a presente pesquisa desenvolveu uma matriz de relação entre os parâmetros de acordo com as diretrizes para o DF. (ver página 185)

Percebe-se a partir da matriz relacional, que os parâmetros são interdependentes e se influenciam mutuamente. A avaliação da qualidade do projeto com preocupações bioclimáticas precisa ser pelo desempenho global da edificação e não apenas por alguns critérios isolados. Isto direciona para uma necessidade premente de revisão, não apenas dos índices técnicos presentes nos códigos de obra e legislações em geral, mas também da forma de avaliação de aprovação de projetos.

Os parâmetros analisados podem ser incorporados no código, de forma a atualizar os índices defasados existentes, incorporar novos índices e também ser diretrizes para projetos bioclimáticos no DF.

