

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CINTIA AKEMI TAMURA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS EDÍLIOS
NA OBTENÇÃO DE ACESSO SOLAR NAS ZONAS
RESIDENCIAIS DE CURITIBA**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2010

CINTIA AKEMI TAMURA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS
EDIFÍCIOS NA OBTENÇÃO DE ACESSO SOLAR NAS
ZONAS RESIDENCIAIS DE CURITIBA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia, do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica do Paraná. Área de Concentração: Tecnologia e Desenvolvimento.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo L. Krüger

CURITIBA

À memória de meus queridos avós Aparecida e Alfred

AGRADECIMENTOS

Registro aqui a gratidão a todos que de alguma forma influenciaram e favoreceram a elaboração deste trabalho.

Agradeço a oportunidade e a confiança depositada em mim pelo meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Krüger.

Ao Prof. Dr. Herivelto Moreira, Prof. Dr. João Faria e Prof. Dr. Sérgio Scheer, pelo aceite em participar da banca de avaliação deste trabalho.

Aos colegas do PPGTE e do mestrado, especialmente à Flávia Minella, Francine Rossi e Suzana Damico pelo apoio, pelas contribuições ao trabalho e pelos momentos de descontração.

Ao Prof. Me. Adriano Dorigo pelas contribuições ao trabalho, e pela permissão de uso do equipamento Heliodon da Universidade Tuiuti do Paraná.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos, que permitiu a realização deste trabalho.

Aos colegas Klaus, Netão e Rita pela ótima companhia.

Aos queridos amigos Gino Marcomini e Heitor Magnani pela amizade, minha segunda família desde a graduação, e aos amigos de infância André Constantine e Guile Choovanski, pela amizade a toda prova.

À Schmee, pela companhia silenciosa e atenciosa em todas as horas do dia e da noite.

Aos meus pais, Eiji e Lígia, e aos meus irmãos Alexandre e Rachel pela presença amorosa, e pelo apoio dado de forma independente ao tamanho das minhas aventuras.

E agradeço ao André, por tanto carinho.

RESUMO

TAMURA, Cíntia Akemi. Análise da influência dos parâmetros edíficios na obtenção de acesso solar nas zonas residenciais de Curitiba. 2010. 230 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Desenvolvimento) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

Edificações construídas conforme os parâmetros permitidos pela legislação de uso do solo nem sempre garantem bons resultados em relação ao acesso solar. Obras com limites em divisas de terrenos, super utilização dos limites de ocupação e de altura legalmente permitidos no município de Curitiba para edificações em zonas residenciais comumente bloqueiam o acesso solar no interior das edificações, causando frequentemente sombreamento, aumento da umidade e frio no período de inverno, condições agravadas pela tendência atual de adensamento e verticalização urbanos. Considerando que Curitiba é a capital mais fria do Brasil, este fato torna-se preocupante sob a análise do conforto ambiental destes edifícios. O trabalho visa contribuir para a melhoria do conforto ambiental em construções residenciais de Curitiba, a partir da elaboração de modelos para verificação da eficácia da legislação vigente, e a proposição de parâmetros obtidos através do conceito de envelope solar que propiciem o ganho efetivo de insolação e luz natural. Para isto, foram realizadas simulações de ocupação de acordo com o permitido por lei no município com os programas Google SketchUp 7.0.657 Pro, AutoCAD 2007 e através de maquete física no equipamento Heliodon. Foram realizadas também simulações com o programa Relux Professional 2007, que forneceu dados em lux para cada implantação avaliada. Os dados obtidos com a simulação de ocupação permitida por lei foram comparados com os obtidos pela simulação desta mesma ocupação com o uso do envelope solar para dimensionamento dos limites máximos construtivos, que demonstrou um acréscimo significativo no ganho de insolação no interior da edificação. Por fim, foram sugeridas as orientações com o melhor potencial de acesso solar para cada Zona residencial avaliada.

Palavras-chave: Uso e ocupação do solo. Insolação. Iluminação natural. Simulação. Envelope solar.

ABSTRACT

TAMURA, Cíntia Akemi. Analysis of parameters influencing the buildings to obtain solar access in residential areas of Curitiba. 2010. 230 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Desenvolvimento) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

Buildings constructed according to the parameters allowed by the law of soil use and occupation do not always yield satisfactory results with regard to solar access. Buildings erected on the plot limits, overuse of the limits of height and occupancy legally permitted in the city of Curitiba for buildings in residential areas commonly block solar access within the buildings, often causing shading, increased humidity and cold in winter conditions, together with the current trend of urban densification and verticalization. Considering that Curitiba is the coldest capital of Brazil, this fact becomes alarming with regard to indoor comfort analyses in such buildings. The thesis aims to contribute for the improvement of environmental comfort in residential buildings in Curitiba, presenting models to check the effectiveness of the current legislation in providing solar gains and daylight, next to the use of the solar envelope concept. For this, simulations were carried out regarding maximum plot occupation permitted by law with Google SketchUp 7.0.657 Pro, AutoCAD 2007 and by means of a physical model in the Heliodon device. Were also carried out simulations with the software Relux Professional 2007, which provided data in lux evaluated for each deployment. The similarity of the results confirmed the reliability of the method. The data obtained from the simulation of maximum occupancy were compared to those obtained considering the use of the solar envelope concept, the latter showing a significant increase in daylight inside the building. Finally, guidelines have been suggested with the best potential for solar access for each residential area evaluated.

Keywords: Soil use and occupation. Insolation. Daylight. Simulation. Solar envelope.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO DA LUZ VISÍVEL (A) EM NM.....	31
FIGURA 2 – (A) REPRESENTAÇÃO EM PERSPECTIVA DA IMPLANTAÇÃO DE UMA RESIDÊNCIA DA CIDADE DE PRIENE. (B) PLANTA BAIXA E PERSPECTIVA DE IMPLANTAÇÃO DE RESIDÊNCIA GREGA PADRÃO.....	35
FIGURA 3 - (A) PLANTA ESQUEMÁTICA DA CIDADE DE PRIENE. (B) VISTA AÉREA DE PRIENE.....	36
FIGURA 4 - IMPLANTAÇÃO DE RESIDÊNCIAS EM QUARTEIRÃO NA CIDADE DE PRIENE.....	37
FIGURA 5 - DISPOSIÇÃO DE RESIDÊNCIAS EM REGIÃO AO NORTE DE OLINTO.....	38
FIGURA 6 - (A) CORTE LONGITUDINAL DE HELIOCAMINUS ROMANO EM OSTIA; (B) ESQUEMA SOBRE IMAGEM DE HELIOCAMINUS DA VILA ADRIANA, EM TÍVOLI, DEMONSTRANDO POSSÍVEL POSIÇÃO DAS JANELAS RECOBERTAS POR VIDRO OU MICA; (C) IMAGEM ATUAL DO HELIOCAMINUS.	40
FIGURA 7 - (A) PLANTA DA CIDADE DE HERCULANO; (B) PLANTA DA CIDADE DE TREVES.....	41
FIGURA 8 - PLANTA DE SILCHESTER, GRÃ-BRETANHA.....	42
FIGURA 9 - FOTO COM VISTA GERAL DE EDIFICAÇÕES DE ACOMA PUEBLO.....	44
FIGURA 10 - COMPORTAMENTO SOLAR PARA O PERÍODO DE VERÃO E INVERNO EM CONSTRUÇÕES DE ACOMA PUEBLO. (A) ALTURAS SOLARES CORRESPONDENTES AOS PERÍODOS DE INVERNO E VERÃO; (B) COMPORTAMENTO DO SOMBREAMENTO PROVOCADO PELAS CONSTRUÇÕES EM RELAÇÃO ÀS ADJACENTES.....	44
FIGURA 11 - PLANTAS ESQUEMÁTICAS DE AGLOMERADO PUEBLO.....	45
FIGURA 12 - LOCALIZAÇÃO DE SERDAB EM HABITAÇÃO IRAQUIANA.	46
FIGURA 13 - (A) VISTA AÉREA DE CASBÁS, COM DETALHE DAS RESIDÊNCIAS CONSTRUÍDAS AO REDOR DE PÁTIO INTERNO; (B) VISTA AÉREA DE MAQUETE DE CASBÁS FEITA EM 1830.....	47
FIGURA 14 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE VISTA AÉREA DE HABITAÇÕES ENTERRADAS NO SOLO DA CIDADE DE HONNAN.....	48

FIGURA 15 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE CORTE DE HABITAÇÕES DE HONNAN – CHINA COM DETALHAMENTO DAS ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS UTILIZADAS.....	48
FIGURA 16 - (A) PLANTA DA CIDADE DE CANTÃO,1668; PLANTA DE CASA TÍPICA DA CIDADE DE BEIJING, CHINA. SÉCULO 15 D.C.....	49
FIGURA 17 - (A) VISTA GERAL DE NOVA GOURNA; (B) VISTA DE CONSTRUÇÕES; (C) DETALHE DE PÁTIO INTERNO.	51
FIGURA 18 - (A) MAQUETE DA IMPLANTAÇÃO DAS HABITAÇÕES EM NEVEZIN, ISRAEL. (B) FOTOS COM VISTA GERAL DE HABITAÇÕES.....	65
FIGURA 19 - (A) DISPOSIÇÃO DAS VIAS DE ACESSO EM NEVE-ZIN, ISRAEL; (B) “BULK PLANE” DEFININDO O VOLUME MÁXIMO DE EDIFICAÇÃO.	65
FIGURA 20 - LIMITES ESPAÇO-TEMPORAIS DO ENVELOPE PROPOSTO POR KNOWLES, DEMONSTRANDO A VARIAÇÃO DO VOLUME DE ACORDO COM A ALTERAÇÃO DOS ÂNGULOS SOLARES.....	73
FIGURA 21 – CONSTRUÇÃO DO ENVELOPE SOLAR CONFORME METODOLOGIA DE KNOWLES. (A) DETERMINAÇÃO DAS ALTURAS SOLARES; (B) DEFINIÇÃO DA FACHADA ANALISADA; (C) APLICAÇÃO DOS ÂNGULOS SOLARES NA ÁREA ANALISADA; (D) ENVELOPE COMPLETO.	74
FIGURA 22 – RESULTADOS DE COMPARATIVOS ENTRE A ÁREA CONSTRUÍDA E A DETERMINADA PELO ENVELOPE SOLAR: (A) JOAQUIM EGÍDIO; (B) BARÃO GERALDO; (C) PARQUE TAQUARAL; (D) BAIRRO DO CAMBUÍ.....	76
FIGURA 23 – EDIFICAÇÕES SITUADAS NOS SETORES ESTRUTURAIS: (A) IMPLANTAÇÃO ATUAL; (B) IMPLANTAÇÃO CONFORME RELAÇÃO H/6.	77
FIGURA 24 - EXEMPLO DE ENVELOPE DE DIREITO SOLAR (SRE).....	78
FIGURA 25 - EXEMPLO DE ENVELOPE DE COLETA SOLAR (SCE).....	78
FIGURA 26 - EXEMPLO DE VOLUME SOLAR (SV).	79
FIGURA 27 - DETERMINAÇÃO DA ALTURA DO PRÉDIO (H) NA MALHA (P), DE FORMA QUE A CALÇADA NO PONTO C NÃO SEJA SOMBREADA.	80
FIGURA 28 - ÂNGULOS DE LINHAS DE SECÇÃO SOLAR (<i>SOLAR SECTION LINES</i> - SSL) PARA EDIFICAÇÕES PERIFÉRICAS E CENTRAIS DE TEL AVIV...81	
FIGURA 29 - ALTURAS PARA EDIFICAÇÕES EM DIFERENTES ORIENTAÇÕES DE VIAS PARA TEL AVIV CONFORME AS LINHAS DE SECÇÃO SOLAR (<i>SOLAR SECTION LINES</i> - SSL). VOLUMES EM CINZA ESCURO REPRESENTAM	

VOLUMES PARA AS ÁREAS PERIFÉRICAS E VOLUMES EM CINZA CLARO REPRESENTAM A ADIÇÃO DE VOLUME PARA AS ÁREAS CENTRAIS.	81
FIGURA 30 - COMPARATIVO DE DENSIDADE ENTRE A IMPLANTAÇÃO REGULAR (ESQUERDA) E A QUE UTILIZA O PLANO DE DIREITO SOLAR (DIREITA).....	82
FIGURA 31- APLICAÇÃO DE ÂNGULOS SOLARES PARA OBTENÇÃO DO ENVELOPE SOLAR. (A) ÂNGULO LIMITANDO ALTURA DE CONSTRUÇÃO; (B) EXEMPLO DE VOLUME OBTIDO PELA APLICAÇÃO DE ÂNGULOS SOLARES EM UMA ÁREA DETERMINADA.....	84
FIGURA 32 - UTILIZAÇÃO DO CONCEITO DE ENVELOPE SOLAR EM CONJUNTO HABITACIONAL LOCALIZADO EM FLORIANÓPOLIS. (A) IMPLANTAÇÃO DO CONDOMÍNIO; (B) ENVELOPES SOLARES; (C) SOBREPOSIÇÃO DO ENVELOPE SOLAR SOBRE O VOLUME DA CONSTRUÇÃO.....	84
FIGURA 33 - CARTA BIOCLIMÁTICA.	87
FIGURA 34 - CARTA BIOCLIMÁTICA PARA A CIDADE DE CURITIBA, OBTIDA A PARTIR DE DADOS DE ROSSI, DUMKE E KRÜGER (2009).....	90
FIGURA 35 - SOMBREAMENTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO NOS SOLSTÍCIOS DE INVERNO E DE VERÃO EM CURITIBA.	92
FIGURA 36 - SOMBREAMENTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO NOS SOLSTÍCIOS DE INVERNO E DE VERÃO EM CURITIBA.	93
FIGURA 37 - CARTA SOLAR PARA LATITUDE SUBTROPICAL, LOCALIZADA NO HEMISFÉRIO SUL.	94
FIGURA 38 – ZONEAMENTO DO MUNICÍPIO DE CURITIBA CONFORME LEI 9800/2000.	113
FIGURA 39 – DISTRIBUIÇÃO DAS ZONAS RESIDENCIAIS AO LONGO DO PERÍMETRO DE CURITIBA.	117
FIGURA 40 – EXEMPLOS DE OBSTRUÇÕES AO ACESSO SOLAR EM EDIFICAÇÕES ADJACENTES CAUSADAS PELA UTILIZAÇÃO MÁXIMA DO POTENCIAL CONSTRUTIVO PERMITIDO EM ZONAS RESIDENCIAIS EM CURITIBA.....	120
FIGURA 41 – FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DO PLANEJAMENTO DA PESQUISA.	121

FIGURA 42 - DISTRIBUIÇÃO DAS ZONAS RESIDENCIAIS DE CURITIBA NO PERÍMETRO DO MUNICÍPIO DE CURITIBA.	123
FIGURA 43 - MODELOS DE POSSÍVEIS OCUPAÇÕES DE LOTES NAS ZR'S CONFORME OS PARÂMETROS CONSTRUTIVOS EXIGIDOS POR LEI.	127
FIGURA 44 - SIMULAÇÕES COM OS MODELOS DE OCUPAÇÃO DE LOTES, INDICANDO A POSIÇÃO DAS CONSTRUÇÕES ENTRE LOTES VIZINHOS.....	129
FIGURA 45 - POSSÍVEIS IMPLANTAÇÕES PARA AS SIMULAÇÕES DESCARTADAS INDICADAS POR UM "X".....	130
FIGURA 46 – POSSÍVEIS COMBINAÇÕES DE IMPLANTAÇÕES SEGUNDO OS PARÂMETROS DE OCUPAÇÃO ADOTADOS.....	131
FIGURA 47 - IMPLANTAÇÃO ADOTADA PARA A REALIZAÇÃO DAS SIMULAÇÕES NAS ZONAS RESIDENCIAIS DOIS (ZR-2) E UMBARÁ (ZR-U). ...	132
FIGURA 48 - IMPLANTAÇÃO ADOTADA PARA A REALIZAÇÃO DAS SIMULAÇÕES NA ZONA RESIDENCIAL TRÊS (ZR-3).	132
FIGURA 49 - IMPLANTAÇÃO ADOTADA PARA A REALIZAÇÃO DAS SIMULAÇÕES NA ZONA RESIDENCIAL DE OCUPAÇÃO CONTROLADA (ZR-O).	133
FIGURA 50 - IMPLANTAÇÃO ADOTADA PARA A REALIZAÇÃO DAS SIMULAÇÕES NA ZONA RESIDENCIAL UM (ZR-1), SANTA FELICIDADE (ZR-SF), PASSAÚNA (ZR-P), BATEL (ZR-B), MERCÊS (ZR-M) E ALTO DA GLÓRIA (ZR-AG).....	134
FIGURA 51 - DIMENSÕES PARA ABERTURAS EM CM. (A) WWR= 25%; (B) WWR=50%; (C) WWR = 75%.	135
FIGURA 52 – EXEMPLO DE IMPLANTAÇÃO CONFORME PADRÕES DE OCUPAÇÃO ADOTADOS.....	136
FIGURA 53– CARTA SOLAR COM HORÁRIOS DE INSOLAÇÃO PARA A FACHADA N NA LATITUDE DE CURITIBA (25°31'S).....	137
FIGURA 54 - EXEMPLO DE DISPOSIÇÃO DA IMPLANTAÇÃO ANALISADA NA CARTA SOLAR PARA AVALIAÇÃO DAS HORAS DE ACESSO SOLAR PARA A ABERTURA.....	139
FIGURA 55 - ORIENTAÇÕES DE DIVISA DO LOTE PADRÃO, PARA OS SEGUINTE PONTOS CARDEAIS: (A) N, (B) NE, (C) E, (D) NO, (E) SO, (F) O E (G) SE.	142

FIGURA 56 – EXEMPLO DE VOLUMETRIA PARA ENVELOPE SOLAR CONSTRUÍDO SOBRE PATAMAR DE 0,90M.....	145
FIGURA 57 - EQUIPAMENTO HELIODON DE PROPRIEDADE DO LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE TUIUTI DO PARANÁ, CURITIBA.....	147
FIGURA 58 – EXEMPLO DE RESULTADO VISUAL OBTIDO COM SIMULAÇÃO DE PROJEÇÃO DE SOMBRAS NO INTERIOR DA OCUPAÇÃO-PADRÃO COM O EQUIPAMENTO HELIODON.	147
FIGURA 59 – JANELAS DOS COMANDOS <i>MODEL INFO</i> E <i>SHADOW SETTINGS</i> DO PROGRAMA GOOGLE SKETCHUP 7.0.657 PRO.	148
FIGURA 60 – EXEMPLO DE RESULTADO VISUAL OBTIDO COM SIMULAÇÃO DE PROJEÇÃO DE SOMBRAS NO INTERIOR DA OCUPAÇÃO-PADRÃO COM O PROGRAMA SKETCHUP.	149
FIGURA 61 – JANELAS DOS COMANDOS <i>GEOGRAPHIC LOCATION</i> E <i>SUN PROPERTIES</i> DO PROGRAMA AUTOCAD 2007.....	150
FIGURA 62 – EXEMPLO DE RESULTADO VISUAL OBTIDO COM SIMULAÇÃO DE PROJEÇÃO DE SOMBRAS NO INTERIOR DA OCUPAÇÃO-PADRÃO COM O PROGRAMA AUTOCAD.....	150
FIGURA 63 – JANELAS DOS COMANDOS <i>LUZ NATURAL</i> E <i>LOCALIZAÇÃO</i> DO PROGRAMA RELUX.	152
FIGURA 64 - OBTENÇÃO DA FRAÇÃO LUZ/IMAGEM. (A) IMAGEM; (B) ÁREA TOTAL DA IMAGEM; (C) ÁREA ILUMINADA DA IMAGEM.....	153
FIGURA 65 – EXEMPLOS DE RESULTADOS VISUAIS DE SIMULAÇÕES DE ILUMINÂNCIA COM O PROGRAMA RELUX. (A) DISTRIBUIÇÃO DE VALORES NUMÉRICOS; (B) VISUALIZAÇÃO DE ISOLINHAS; (C) REPRESENTAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE ILUMINÂNCIAS POR CORES FALSAS; (D) VISUALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA DISTRIBUIÇÃO DE LUZ.....	155
FIGURA 66– MEDIDAS E ÂNGULOS PARA OS VOLUMES GEOMÉTRICOS RESULTANTES DA APLICAÇÃO DO ENVELOPE SOLAR EM LOTES DAS ZR’S, DE ACORDO COM O TIPO DE ORIENTAÇÃO.....	192

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - TAXAS DE URBANIZAÇÃO COMPARADAS PARA CIDADES MÉDIAS BRASILEIRAS – 1970 A 1991.....	28
GRÁFICO 2 - COMPARAÇÃO ENTRE A MÉDIA DAS TEMPERATURAS MÉDIAS DOS ANOS DE 1969 E 2001.....	89
GRÁFICO 3 - COMPARATIVO NUMÉRICO ENTRE GRAUS DE CONFORTO E DESCONFORTO, COM RESPECTIVAS ESTRATÉGIAS PARA OS ANOS DE 1969 E 2001.....	91
GRÁFICO 4 - CONDIÇÕES DE CÉU FORNECIDOS PELO <i>SOFTWARE</i> DLN PARA A CIDADE DE CURITIBA. (A) SOLSTÍCIO DE INVERNO; (B) SOLSTÍCIO DE VERÃO.....	95
GRÁFICO 5 - CENSOS DEMOGRÁFICOS DO IBGE SELECIONADOS PARA CURITIBA DE 1900 A 2009.	100
GRÁFICO 6– RELAÇÃO FRAÇÃO DE IUZ/IMAGEM PARA AS IMAGENS OBTIDAS PELAS SIMULAÇÕES PARA OCUPAÇÃO CONFORME LEGISLAÇÃO, DIVISA N, NO SOLSTÍCIO DE INVERNO, PARA WWR´S = 25%, 50% E 75%.	158
GRÁFICO 7– DADOS DE ACESSO SOLAR CALCULADOS EM FRAÇÃO DE LUZ POR ÁREA DA IMAGEM A PARTIR DAS IMAGENS OBTIDAS PELOS PROGRAMAS SKETCHUP E AUTOCAD PARA OCUPAÇÃO PERMITIDA POR LEI, DIVISA N, NO SOLSTÍCIO DE INVERNO, PARA WWR´S = 25%, 50% E 75%.	159
GRÁFICO 8– DADOS DE ACESSO SOLAR CALCULADOS EM FRAÇÃO DE LUZ POR ÁREA DA IMAGEM A PARTIR DAS IMAGENS OBTIDAS PELO PROGRAMA SKETCHUP PARA ENVELOPE SOLAR, DIVISA N, NO SOLSTÍCIO DE INVERNO, PARA WWR´S = 25%, 50% E 75%.	160
GRÁFICO 9 – SIMULAÇÃO 1 - DADOS EM FRAÇÃO DE LUZ /IMAGEM E EMÉDIA OBTIDOS EM SIMULAÇÕES PARA IMPLANTAÇÕES CONFORME LEGISLAÇÃO E COM A APLICAÇÃO DO CONCEITO DE ENVELOPE SOLAR DAS ORIENTAÇÕES N, NE, E, SE, SO, O E NO, PARA WWR=50%.	168
GRÁFICO 10– SIMULAÇÃO 2 - DADOS EM FRAÇÃO DE LUZ /IMAGEM E EMÉDIA OBTIDOS EM SIMULAÇÕES PARA IMPLANTAÇÕES CONFORME LEGISLAÇÃO	

E COM A APLICAÇÃO DO CONCEITO DE ENVELOPE SOLAR DAS ORIENTAÇÕES N, NE, E, SE, SO, O E NO, PARA WWR=50%.....	174
GRÁFICO 11 – SIMULAÇÃO 3 - DADOS EM FRAÇÃO DE LUZ /IMAGEM E EMÉDIO OBTIDOS EM SIMULAÇÕES PARA IMPLANTAÇÕES CONFORME LEGISLAÇÃO E COM A APLICAÇÃO DO CONCEITO DE ENVELOPE SOLAR DAS ORIENTAÇÕES N,NE, E, SE, SO, O E NO, PARA WWR=50%.....	180
GRÁFICO 12 – SIMULAÇÃO 4 - DADOS EM FRAÇÃO DE LUZ /IMAGEM E EMÉDIA OBTIDOS EM SIMULAÇÕES PARA IMPLANTAÇÕES CONFORME LEGISLAÇÃO E COM A APLICAÇÃO DO CONCEITO DE ENVELOPE SOLAR DAS ORIENTAÇÕES N, NE, E, SE, SO, E E NO, PARA WWR=50%.	187

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - SITUAÇÃO DAS LEGISLAÇÕES REFERENTES À UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES NO BRASIL.	69
QUADRO 2- IQA (ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS) DOS PRINCIPAIS CURSOS HÍDRICOS DE CURITIBA 1987/1998.	105
QUADRO 3 - ZONAS E SETORES DE USO DEFINIDOS PELO ZONEAMENTO DO MUNICÍPIO DE CURITIBA – 2000.....	115
QUADRO 4 - ZONAS RESIDENCIAIS CRIADAS PELO MUNICÍPIO DE CURITIBA SEGUNDO SUAS CARACTERÍSTICAS E INTENSIDADE DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO – 2000.....	122
QUADRO 5 - QUADRO INDICATIVO DE HORAS COM ACESSO SOLAR PARA CADA PRINCIPAL ORIENTAÇÃO CARDEAL, PARA O SOLSTÍCIO DE INVERNO PARA A LATITUDE DE 25°31'S, SEM OBSTRUÇÃO DE ACESSO SOLAR JUNTO À ABERTURA.	138
QUADRO 6 - ÂNGULOS SOLARES NO SOLSTÍCIO DE INVERNO (21/06) UTILIZADOS NA ELABORAÇÃO DO ENVELOPE SOLAR PARA AS DIVISAS N, NE, E, SE, SO, O E NO, PARA AS HORAS DE CORTE DEFINIDAS, NA CIDADE DE CURITIBA.....	144
QUADRO 7- DADOS DE ACESSO SOLAR CALCULADOS EM FRAÇÃO DE LUZ POR ÁREA DA IMAGEM A PARTIR DAS IMAGENS OBTIDAS PELO PROGRAMA SKETCHUP CONFORME LEGISLAÇÃO E COM UTILIZAÇÃO DO ENVELOPE SOLAR, PARA AS SIMULAÇÕES 1, 2, 3 E 4.....	189

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
1 INTRODUÇÃO	21
2 REFERENCIAL TEÓRICO	26
2.1 ASPECTOS DO ACESSO SOLAR	27
2.1.2 Acesso Solar e Urbanização: Antecedentes Históricos.....	34
2.1.3 Acesso Solar e Arquitetura Moderna e Contemporânea	51
2.3 DADOS CLIMÁTICOS E URBANÍSTICOS DE CURITIBA.....	85
2.3.1 Condições Climáticas, de Insolação e de Disponibilidade de Luz Natural	85
2.3.2 Parcelamento do Solo	95
2.3.4 Políticas de Zoneamento.....	109
2.3.5 As Zonas Residenciais.....	115
3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS	120
3.2 DEFINIÇÕES DE MORFOLOGIA E IMPLANTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO ANALISADA.....	126
3.2.1 Critérios para Seleção das Implantações-Padrão	127
3.2.2 Escolha das Orientações Cardeais para a Divisa e para a Testada das Implantações-Padrão	136
3.2.3 Parâmetros para Aplicação do Conceito de Envelope Solar nas Implantações-Padrão.....	142
3.3. MODELOS FÍSICOS E PROGRAMAS UTILIZADOS NOS PROCESSOS ANALÍTICOS.....	145
3.3.1 Simulação de Iluminação Natural no Interior das Edificações-Padrão com o Equipamento Heliodon.	146
3.3.2 Simulação de Iluminação Natural no Interior das Edificações-Padrão com o Programa Google SketchUp.....	148
3.3.3 Simulação de Iluminação Natural no Interior das Edificações-Padrão com o Programa AutoCAD.....	149
3.3.4 Simulação de Iluminação Natural no Interior das Edificações-Padrão com o Programa RELUX Professional 2007	151
4 RESULTADOS	156

4.1 SIMULAÇÃO 1 – ZONAS RESIDENCIAIS DOIS (ZR-2) E UMBARÁ (ZR-U) ...	157
4.1.1 Simulação 1 – Divisa N	157
4.1.2 Simulação 1 – Divisa NE	163
4.1.3 Simulação 1 – Divisa E.....	164
4.1.4 Simulação 1 – Divisa SE	165
4.1.5 Simulação 1 – Divisa SO.....	165
4.1.6 Simulação 1 – Divisa O	166
4.1.7 Simulação 1 – Divisa NO.....	166
4.1.8 Síntese dos resultados encontrados em termos de fração de luz/imagem e Emédio para a Simulação 1	167
4.2.1 Simulação 2 – Divisa N	169
4.2.2 Simulação 2 – Divisa NE	170
4.2.3 Simulação 2 – Divisa E.....	171
4.2.4 Simulação 2 – Divisa SE	171
4.2.5 Simulação 2 – Divisa SO.....	172
4.2.6 Simulação 2 – Divisa O	172
4.2.7 Simulação 2 – Divisa NO.....	173
4.2.8 Síntese dos resultados encontrados em termos de fração de luz/imagem e Emédio para a Simulação 2	173
4.3 SIMULAÇÃO 3 – ZONA RESIDENCIAL de ocupação controlada (zr-o).....	175
4.3.1 Simulação 3 – Divisa N	175
4.3.2 Simulação 3 – Divisa NE	176
4.3.3 Simulação 3 – Divisa E.....	177
4.3.4 Simulação 3 – Divisa SE	178
4.3.5 Simulação 3 – Divisa SO.....	178
4.3.6 Simulação 3 – Divisa O	179
4.3.7 Simulação 3 – Divisa NO.....	179
4.3.8 Síntese dos resultados encontrados em termos de fração de luz/imagem e Emédio para a Simulação 3	180
4.4 SIMULAÇÃO 4 – Zona Residencial Um (ZR-1), Zona Residencial Santa Felicidade (ZR-SF), Zona Residencial Batel (ZR-B), Zona Residencial Mercês (ZR- M), e Zona Residencial Alto da Glória (ZR-AG).	181
4.4.1 Simulação 4 – Divisa N	181

4.4.2 Simulação 4 – Divisa NE	182
4.4.3 Simulação 4 – Divisa E.....	183
4.4.4 Simulação 4 – Divisa SE	184
4.4.5 Simulação 4 – Divisa SO.....	184
4.4.6 Simulação 4 – Divisa O	185
4.4.7 Simulação 4 – Divisa NO.....	185
4.4.8 Síntese dos resultados encontrados em termos de fração de luz/imagem e Emédio para a Simulação 1	186
4.5 análises	188
5 CONCLUSÕES.....	196
REFERÊNCIAS.....	200
APÊNDICES	211
APÊNDICE A – Simulação 1: resultados de simulações de insolação das 08h00 às 17h00 com o equipamento Heliodon, para ocupação de lote nas ZR-2 e ZR- U, conforme legislação, para a divisa N, no solstício de inverno (21/06).....	211
APÊNDICE B – Simulação 1: resultados de simulações de insolação das 08h00 às 17h00 com o SkethcUp, para ocupação de lote nas ZR-2 e ZR-U, conforme legislação, para a divisa N, no solstício de inverno (21/06).....	212
APÊNDICE C – Simulação 1: resultados de simulações de insolação das 08h00 às 17h00 com o AutoCAD, para ocupação de lote nas ZR-2 e ZR-U, conforme legislação, para a divisa N, no solstício de inverno (21/06).....	213
APÊNDICE D – Simulação 1: resultados de simulações de insolação das 08h00 às 17h00 com o AutoCAD, para ocupação de lote nas ZR-2 e ZR-U, com a utilização do envelope solar, para a divisa N, no solstício de inverno (21/06).	214
APÊNDICE E – Simulação 1: gráfico de cores falsas obtido pelo programa Relux, indicando a distribuição de iluminâncias em simulações para abertura com WWR=25%, 50% e 75% voltada para a divisa N, conforme legislação, para ocupação de lote nas ZR-2 e ZR-U, durante o período definido pelas horas de corte (10h00 às 14h00).....	215
APÊNDICE F – Simulação 1: gráfico de cores falsas obtido pelo programa Relux, indicando a distribuição de iluminâncias em simulações para abertura com WWR=25%, 50% e 75% voltada para a divisa N, utilizando o conceito de	

envelope solar, para ocupação de lote nas ZR-2 e ZRU, durante o período definido pelas horas de corte (10h00 às 14h00).....	216
APÊNDICE G – Carta solar com horários de insolação para a fachada NE na latitude de Curitiba (25°31’S).....	217
APÊNDICE H – Carta solar com horários de insolação para a fachada E na latitude de Curitiba (25°31’S).....	218
APÊNDICE I – Carta solar com horários de insolação para a fachada SE na latitude de Curitiba (25°31’S).....	219
APÊNDICE J – Carta solar com horários de insolação para a fachada S na latitude de Curitiba (25°31’S).....	220
APÊNDICE K– Carta solar com horários de insolação para a fachada SO na latitude de Curitiba (25°31’S).....	221
APÊNDICE L – Carta solar com horários de insolação para a fachada O na latitude de Curitiba (25°31’S).....	222
APÊNDICE M – Carta solar com horários de insolação para a fachada NO na latitude de Curitiba (25°31’S).....	223
APÊNDICE N - Simulações das implantações com obstrução na abertura da divisa com variação da posição da testada com seus respectivos horários de insolação definidos pelo uso da carta solar para a cidade de Curitiba: (a) divisa N com testada voltada para O; (b) divisa N com testada voltada para E.	224
APÊNDICE O - Simulações das implantações com obstrução na abertura da divisa com variação da posição da testada com seus respectivos horários de insolação definidos pelo uso da carta solar para a cidade de Curitiba: (a) divisa NE com testada voltada para NO; (b) divisa NE com testada voltada para SE.	225
APÊNDICE P - Simulações das implantações com obstrução na abertura da divisa com variação da posição da testada com seus respectivos horários de insolação através do uso da carta solar para a cidade de Curitiba: (c) divisa E com testada voltada para N; (d) divisa E com testada voltada para S.	226
APÊNDICE Q - Simulações das implantações com obstrução na abertura da divisa com variação da posição da testada com seus respectivos horários de insolação através do uso da carta solar para a cidade de Curitiba: (e) divisa SE com testada voltada para o NE; (f) divisa SE com testada voltada para o SO.	227

**APÊNDICE R - Simulações das implantações com obstrução na abertura da divisa com variação da posição da testada com seus respectivos horários de insolação através do uso da carta solar para a cidade de Curitiba: (g) divisa SO com testada voltada para o NO; (h) divisa SO com testada voltada para o SE.
.....228**

**APÊNDICE T - Simulações das implantações com obstrução na abertura da divisa com variação da posição da testada com seus respectivos horários de insolação através do uso da carta solar para a cidade de Curitiba: (k) divisa NO com testada voltada para o NE; (l) divisa NO com testada voltada para o SO.
.....230**

1 INTRODUÇÃO

A utilização dos benefícios da insolação e da luz natural, e a obtenção de seus índices mínimos nas edificações é uma preocupação que remonta à origem das cidades, ganhando caráter científico a partir da primeira metade do século XX, e tendo o interesse renovado com o advento da crise energética e consequente aprofundamento da conscientização acerca da necessidade da preservação dos recursos naturais (ALUCCI, 1992).

Entretanto, o que se observa repetidamente em muitos casos são construções que, apesar de cumprirem as determinações da legislação de uso e ocupação do solo da cidade, apresentam clara inadequação às condições mínimas de conforto. Mais ainda, estas construções são pensadas e projetadas individualmente, supondo terreno isolado do entorno, o que resulta em obras que podem causar impactos às residências adjacentes já implantadas, que poderão sofrer com a ausência do acesso solar, retenção de umidade, dificuldade de ventilação, entre outros aspectos. Vários fatores contribuem para esta situação, entre eles a aplicação das determinações legais para recuos e alturas no limite permitido, o fato destas determinações não serem relacionadas à orientação solar dos lotes, e mesmo o fato da própria legislação frequentemente não possuir recomendações precisas para valores mínimos diários de acesso solar.

As consequências desta situação de insalubridade no ambiente construído tornam-se ainda mais preocupantes ao se analisar o caso de edificações destinadas ao uso habitacional, devido aos prejuízos causados na saúde e bem estar físico e emocional do usuário. Cabrita (1995) define a habitação como o invólucro protetor, a delimitação de um espaço que proporciona ao ser humano o desempenho de suas atividades com liberdade, de forma fácil e flexível, seja individualmente ou com o grupo familiar. Estas atividades incluem as necessidades de higiene, de descanso, alimentação, o estabelecimento de relações sociais seletas, e a garantia da proteção de seus bens pessoais e de consumo privado. Existem também os fatores psicológicos: a privacidade; a promoção de um referencial em relação a si e a expressão da territorialidade física e psicológica; e a libertação parcial da norma social.

Assim, devido ao grau de alcance e importância da edificação destinada ao uso habitacional para a população, a **delimitação** do estudo foi focada nas Zonas Residenciais de Curitiba, onde, a partir dos dados da legislação de Uso e Ocupação do Solo da cidade, foram realizadas simulações destes parâmetros para determinação de seu grau de eficácia.

Neste contexto, o **problema de pesquisa** definido foi: qual seria a eficácia dos parâmetros legais atuais de uso e ocupação do solo da cidade de Curitiba em oferecer acesso solar no interior de residências.

Partindo-se desta problemática, a presente pesquisa teve por **objetivo geral** determinar qual seria a eficácia da legislação edilícia em permitir o acesso solar às habitações unifamiliares localizadas nas Zonas Residenciais (ZR's) da cidade de Curitiba. Pela análise das relações entre o potencial construtivo permitido pela legislação vigente e os princípios de ocupação propostos pelo envelope solar, foram elaboradas propostas de modelos que determinaram a real eficácia dos parâmetros construtivos. A partir da análise dos resultados obtidos, esperou-se contribuir para o aprimoramento das determinações do código de obras nas Zonas Residenciais da cidade, contribuindo assim para a garantia e melhoria do conforto ambiental, no que se refere à iluminação e ao acesso solar. Paralelamente, com a divulgação dos resultados da pesquisa, pretendeu-se sensibilizar o poder público, os profissionais ligados à construção civil e a população em geral acerca da importância da preservação do direito ao acesso solar. Sendo assim, podemos citar como **objetivos específicos**:

- Comparar resultados referentes ao acesso solar nas zonas residenciais, obtidos por modelos físicos e virtuais de simulação;
- Verificar de que forma os parâmetros construtivos previstos em legislação na cidade de Curitiba influenciam no provimento do acesso solar no interior de construções localizadas em zonas residenciais;
- Demonstrar qual seria a contribuição em termos de iluminação natural que a aplicação do conceito de envelope solar comparativamente às restrições legais atualmente aplicadas às construções residenciais da cidade poderia proporcionar;

- Contribuir com possíveis modelos e dispositivos legais de uso e ocupação do solo, que incorporados à legislação atual permitam a disponibilização do acesso solar nestas construções.

A pesquisa tem como **justificativa** alinhar-se aos esforços atualmente promovidos por instituições privadas e públicas em direção à promoção e prática do desenvolvimento sustentável das cidades. Podemos citar como exemplo deste panorama a Agenda 21 Brasileira, documento produzido pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). Esta agenda se define como um instrumento de planejamento que objetiva a construção de sociedades sustentáveis, conciliando métodos protetores para questões relativas ao meio ambiente, à justiça social e à eficiência econômica.

A Agenda 21 Brasileira propõe como diretrizes em seus cadernos temáticos, o incentivo ao desenvolvimento e inovação tecnológica, aliado à perspectiva de implementação de um modelo de crescimento econômico sustentável e ao manejo de recursos naturais que resultem em relações econômicas igualitárias.

Em “Cidades Sustentáveis”, um dos seis temas que compõem seus cadernos temáticos, quatro estratégias são indicadas para se alcançar a sustentabilidade humana, sendo a primeira delas:

aperfeiçoar a regulamentação do uso e da ocupação do solo urbano e promover o ordenamento do território, contribuindo para a melhoria das condições de vida da população, considerando a promoção da equidade, a eficiência, e a qualidade ambiental (MMA, 2007. p.02).

Dentro desta perspectiva de racionalização e utilização sustentável de recursos naturais, um item fundamental para a relevância do estudo é a atual tendência à minimização e racionalização do consumo de energia elétrica visando contribuir para a eficiência energética dos edifícios. Nota-se a produção de diversas pesquisas dedicadas à produção de conhecimento relativo à utilização de tecnologias passivas para o provimento de conforto em ambientes internos, aliadas a um movimento de retorno e valorização das práticas vernaculares, intimamente ligadas às condicionantes climáticas e culturais de cada região. É o caso da Norma de Desempenho Térmico de Edificações, NBR 15220 (ABNT, 2005), documento brasileiro produzido pela Comissão de Estudos sobre Desempenho Térmico e Eficiência Energética de Edificações (CE-02:135.07), vinculada à Comissão Brasileira de Construção Civil (CB-02) da Associação Brasileira de Normas Técnicas

(ABNT). Esta norma divide o território brasileiro em oito zonas bioclimáticas distintas, possibilitando a identificação das estratégias bioclimáticas mais adequadas para cada uma de acordo com o estudo de seu clima particular, com a utilização da carta bioclimática de Givoni (1992).

Neste sentido, a pesquisa espera contribuir para a melhoria da promoção da qualidade de vida da população que reside nas ZR's da cidade de Curitiba, com a otimização do uso de recursos naturais de forma sustentável, beneficiando-se da iluminação e aquecimento passivos obtidos pelo Sol e obtendo condições mais salubres de moradia.

Paralelamente, ao promover a discussão e reflexão da questão no meio acadêmico, espera-se contribuir para a criação de bases técnicas apoiadas na diversificação do leque de elementos a serem analisados na questão do aproveitamento solar, para racionalização do espaço urbano sem perda de qualidade ambiental.

Como **processo metodológico**, adotou-se a pesquisa de natureza experimental. Esta busca estabelecer as relações entre os padrões construtivos permitidos por lei e sua aplicabilidade na garantia ao acesso solar em residências. Para isto, realizou-se o levantamento preliminar da legislação da cidade, juntamente com seu histórico urbano. A partir da análise destes dados, foram realizadas simulações com modelos físicos e processos analíticos com auxílio de programas específicos, para se verificar a eficácia das recomendações legais para o provimento de condições de acesso à iluminação natural. Com os resultados, foram obtidos subsídios para a construção de um modelo baseado no conceito de envelope solar de Knowles (2003). Nele, variantes específicas para cada lote como latitude, orientação, dimensões, que influem diretamente em afastamentos e aspectos volumétricos da edificação e, em escala maior, na própria morfologia urbana, são utilizados para determinar o “máximo volume edificável para um determinado terreno de modo que não prejudique as edificações adjacentes e estas tenham acesso à energia solar” (SUGA, 2005).

De forma a contextualizar o assunto principal abordado neste estudo, que é o acesso solar no interior de edificações, foi necessário retomar alguns de seus principais conceitos, bem como outros relacionados a este. Também foram

levantados alguns dos estudos mais relevantes acerca do tema, dentro e fora do país.

Sendo assim, o trabalho apresenta a seguinte estrutura. O Capítulo 2 faz uma revisão do referencial teórico, abordando questões ligadas à história do acesso solar ao longo do desenvolvimento das cidades e sua relação com a saúde. É levantado também o conceito de envelope solar e sua aplicação na obtenção do acesso solar. Trata também do direito urbanístico, com ênfase às questões relativas ao parcelamento do solo e às características das Zonas Residenciais de Curitiba. O Capítulo 3 detalha a metodologia adotada, e o Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos, juntamente com sua análise. O Capítulo 5 finaliza o estudo, relatando as propostas de ação, as recomendações, as limitações do trabalho e sugestões para futuras pesquisas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A garantia de acesso à luz natural no interior das edificações sempre foi alvo de atenção por parte dos povos de vários continentes, desde as mais antigas civilizações. A chamada arquitetura vernacular por eles praticada provém o conforto das edificações a partir da utilização racional dos elementos naturais do entorno como materiais de construção, em conformidade com as características do clima e da cultura local.

Esta forma “natural” de pensar e projetar o espaço tem ressonância em inúmeras culturas, como é o caso, por exemplo, de agrupamentos humanos (Pueblos), localizados em regiões desérticas da América do Norte (KNOWLES, 2003). Entretanto, esta forma intuitiva de pensar e projetar o espaço urbano, respeitando recuos e alturas necessárias para prover o direito ao acesso solar de todos os usuários é frequentemente deixada de lado nos grandes centros, visto a tendência cada vez maior de adensamento. Este capítulo trata dos aspectos relacionados à iluminação natural e à saúde, e faz uma revisão bibliográfica acerca das técnicas urbanísticas e construtivas de alguns povos. Como o tema é extenso, e a intenção da pesquisa não é esgotá-lo, mas apenas promover uma reflexão acerca dele, são relacionados alguns exemplos clássicos espalhados pelo mundo e localizados temporalmente em diferentes períodos, apresentando sumariamente as técnicas de adaptação climática utilizadas. O capítulo também traz reflexões acerca das relações entre o acesso solar e a arquitetura moderna e contemporânea, discorre sobre estudos realizados na área e sobre alguns exemplos de recomendações edilícias adotadas por alguns países, e descreve o procedimento para obtenção do envelope solar, conceito que visa restringir o volume de edificações a fim de que, em grupo, todas possam usufruir do acesso solar. São descritas as características climáticas relacionadas à disponibilidade de luz natural da cidade de Curitiba, onde o presente trabalho está concentrado, e é apresentado o histórico urbanístico da cidade, juntamente com a revisão da legislação vigente para as ZR's de Curitiba.

2.1 ASPECTOS DO ACESSO SOLAR

Salvo um reduzido número de exceções, os mamíferos, classificação à qual o ser humano se insere, reconhecem de forma intuitiva a necessidade de se possuir acesso ao sol. Pode-se facilmente observar este fato no comportamento de alguns animais domésticos, como por exemplo, os gatos, que estão sempre procurando por manchas de sol pelo chão e pelos móveis da casa, onde possam realizar sua higiene pessoal e dormir devidamente aquecidos, especialmente nos períodos mais frios do ano. Seres de outras espécies também podem apresentar uma dependência fisiológica imprescindível ao aquecimento proporcionado pela exposição aos raios solares, caso dos animais denominados poiquilotérmicos ou pecilotérmicos (répteis e alguns tipos de peixes). Os processos químicos de organismos fotossintetizantes, como as plantas verdes, e de alguns tipos de algas e bactérias também são essencialmente ligados à exposição solar.

Para os seres humanos, o sol representa um papel fundamental, tanto em seus processos biológicos quanto em fatores psicológicos. Conforme Knowles,

“O sol é fundamental a toda vida. É a fonte de nossa visão, calor, energia e do ritmo de nossas vidas. Seus movimentos informam nossa percepção de tempo e espaço e de nossa escala no universo. A garantia de acesso ao sol é, assim, essencial à conservação de energia e à qualidade de nossas vidas”. (KNOWLES, 2003, p.15). – tradução livre¹.

Pérez (2007) define acesso solar relacionando-o às variações espaço-temporais que a trajetória solar realiza e sua conseqüente influência na forma como sentimos seus efeitos no clima.

O conceito de acesso solar deve ser definido pela variação da trajetória diária e sazonal do sol em sua relação com a terra. O acesso solar é, também, uma referência ao tempo e ao espaço, pois existe uma relação entre quando e onde o acesso ao sol pode ser obtido. A garantia de acesso ao sol é, por conseqüência, uma questão de estar em um lugar por um período de tempo determinado. Onde e quando se quer o acesso ao sol, torna-se assunto de controle associado a uma finalidade. O sol se movimenta por dia e estação do ano, e é sempre uma fonte de calor e de luz; é uma fonte de caráter dinâmico e eterno. (PÉREZ, 2007, p. 9).

¹ The sun is fundamental to all life. It is the source of our vision, warmth, energy, and the rhythm of our lives. Its movements inform our perception of time and space and our scale in the universe. Guaranteed access to the sun is, thus, essential to energy conservation and to the quality of our lives.

Entretanto, contraditoriamente ao senso comum e à experiência natural humana de valorização do acesso solar, as edificações contemporâneas frequentemente aparentam apresentar pouca ou nenhuma preocupação com este aspecto em projetos urbanísticos e arquitetônicos, ficando a questão de sua garantia durante o processo de urbanização relegada ao esquecimento.

O notável crescimento populacional mundial atual, a concentração humana nos centros urbanos e o aumento exponencial da quantidade de empreendimentos imobiliários em atendimento à demanda imobiliária cada vez maior são alguns dos elementos que provocaram ao longo do tempo o fenômeno de urbanização. Firkowski (2006) afirma que 47% da população mundial concentra-se nas cidades, e que projeções realizadas pela Organização das Nações Unidas (ONU) indicam que até 2030 este número chegará a 60%.

Para Camarano e Beltrão (2000), a partir da segunda metade do século XX ocorreu no Brasil um processo de desruralização, o que pode ter colaborado para o aumento da densidade populacional nas áreas urbanas. Dados do Instituto Brasileiro de Geografia (IBGE)², citados por Andrade e Serra (1998) apresentados no Gráfico 1 demonstram a acelerada urbanização por que passou o Brasil entre 1970 a 1991.

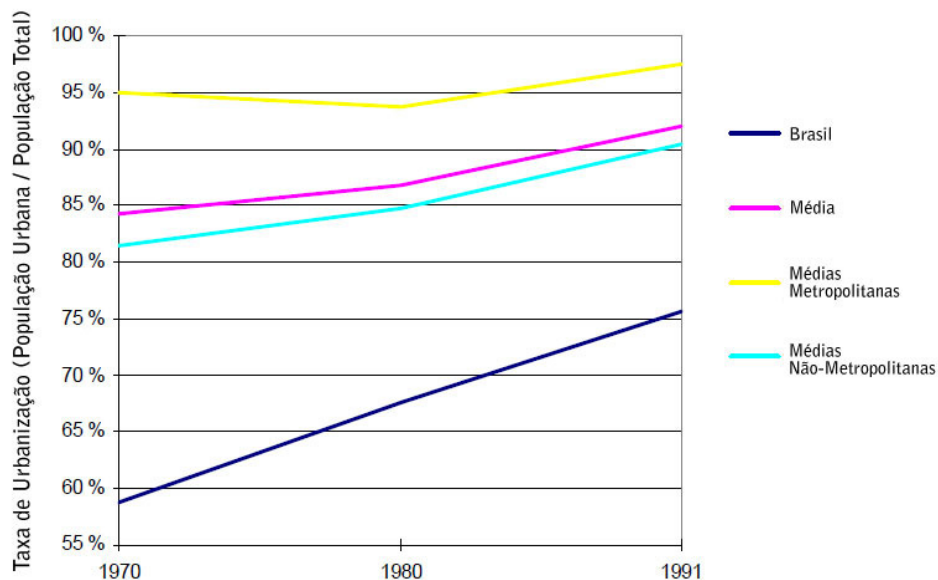


Gráfico 1 - Taxas de Urbanização Comparadas para Cidades Médias Brasileiras – 1970 a 1991.

Fonte: Adaptado de Andrade e Serra (1998).

² IBGE. Regiões de influência das cidades: revisão atualizada do estudo divisão do Brasil em regiões funcionais urbanas. IBGE, 1987, 183 p.

Observa-se no Gráfico 1 acima que em 1970 as cidades médias metropolitanas já possuíam taxas de urbanização elevadas. Isto justifica seu crescimento menor em termos percentuais quando comparado à taxa de crescimento de cidades médias não-metropolitanas. Observa-se também que o crescimento médio da taxa de urbanização no país permaneceu constante neste período, ultrapassando os 75% em 1991. Estes dados parecem corroborar a projeção feita por Santos (2008), que afirma que até o ano de 2000, a taxa média de urbanização brasileira aproximar-se-ia dos 80%.

Para atender à demanda cada vez maior por unidades habitacionais que este crescente contingente humano produz, cidades inteiras transformam-se em canteiros de obras, e construções antigas são demolidas para dar lugar a construções mais modernas, com dimensionamento mínimo dos ambientes e aproveitamento máximo do potencial construtivo permitido por lei, a fim de proporcionar o maior número possível de moradias/m².

Edwards e Torcellini (2002) afirmam que até os anos quarenta do século XX, a iluminação natural era a fonte primária de luz nos edifícios. A partir daí, em um curto período de vinte anos, a utilização maciça da energia elétrica transformou os ambientes, passando a ser a principal fonte de obtenção de iluminação para seus ocupantes. A questão da habitabilidade em ambientes exíguos e sem acesso solar ficou delegada a um segundo plano em prol do retorno financeiro, resultando em edificações cujo conforto do usuário é por vezes altamente prejudicado.

Recentemente, a necessidade de economia de energias não renováveis e o interesse crescente pela preservação ambiental contribuíram para a redescoberta da utilização da luz natural como item a ser considerado em projetos arquitetônicos.

Entretanto, os benefícios da utilização da iluminação natural se estendem para além de questões de economia e de projeto. Os aspectos fisiológicos e psicológicos devem ser igualmente considerados para garantia do conforto dos ocupantes das edificações.

2.1.1 Acesso Solar e Saúde

Conforme Vianna e Gonçalves (2001), o conceito de conforto pode ser entendido como uma avaliação das experiências humanas, pois se relaciona diretamente ao esforço que o indivíduo realiza para se adaptar. Sendo assim, um ambiente cujas condicionantes ambientais estejam em um grau impróprio, mantém seu usuário em permanente esforço de adaptação, gerando desconforto e provocando um *stress* que a longo, médio ou mesmo curto prazo pode desencadear reações orgânicas de fadiga, que por sua vez tem o significativo potencial de causar enfermidades.

Ao lado de fatores diversos como ruído, temperatura e umidade, a iluminação é uma das variáveis que definem o conforto ambiental de um ambiente interno. Dela depende o grau de acuidade visual, necessário à grande maioria das tarefas produtivas. Assim, a quantidade e a qualidade da luz de um ambiente definem seu grau de conforto visual.

O conforto visual relaciona-se então às condições do ambiente, nas quais o ser humano desenvolve suas tarefas visuais com o máximo de precisão, com o esforço minimizado, e com a possibilidade reduzida de prejuízos ao seu aparelho visual e a acidentes (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997). Baker, Fanchiotti e Steemers (1998) definem o conforto visual ou luminoso baseando-se no conceito de mensagem visual. Conforme este conceito, o olho capta a luz ambiente e forma as imagens, que são interpretadas e significadas pelo cérebro. Assim, o conjunto olho-cérebro constitui o mecanismo da percepção visual. O aparelho visual capta as mensagens visuais e se esforça para minimizar as interferências na recepção destas pelo cérebro. Conforto visual estaria então ligado à recepção nítida da mensagem visual transmitida pelo ambiente, sem que isto cause esforço ao mecanismo da visão.

Da mesma forma como níveis adequados de luz podem proporcionar conforto e incremento à produtividade, níveis de iluminação reduzidos ou inadequados podem prejudicar o conforto visual e afetar o ser humano, tanto fisiologicamente quanto psicologicamente, causando diversas moléstias e provocando a diminuição da capacidade produtiva do indivíduo.

A evolução da espécie humana deu-se sob a luz solar, estando assim mais adaptada a ela do que a qualquer outro tipo de iluminação. Hathaway et al. (1992) afirmam que a luz natural é a que melhor atende às necessidades das funções biológicas humanas.

O Sol, fonte de iluminação natural, é uma fonte de radiação eletromagnética, que emite ondas de diversos comprimentos. A radiação solar possui três principais espectros: o infravermelho, que é responsável pela sensação de calor; o espectro visível, que se denomina luz; e o ultravioleta, que possui ação bactericida e fungicida, e é responsável pelo bronzeamento da pele quando nos expomos ao sol.

Luz então é a radiação eletromagnética que possui a capacidade de produzir uma sensação visual, tendo um comprimento de onda (λ) visível que vai de 380 a 780 nm, conforme pode ser observado na Figura 1.

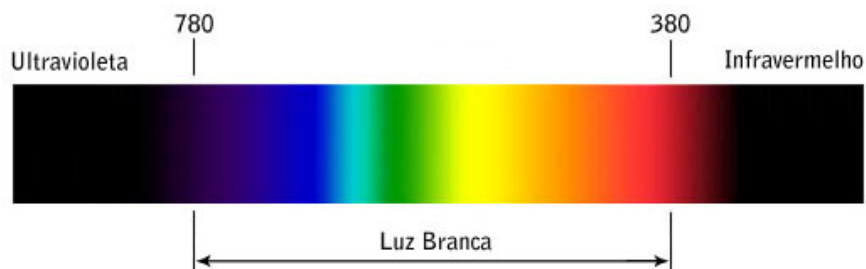


Figura 1 - Espectro eletromagnético da luz visível (λ) em nm.

Fonte: Pesquisa.

Edwards e Torcelinni (2002) afirmam que os efeitos da luz sobre o corpo humano variam conforme seus diferentes comprimentos de onda. A grande maioria das fontes artificiais de luz não possui o espectro eletromagnético necessário para que as funções biológicas ocorram de forma satisfatória. Isto contribui para que as pessoas tenham preferência por ambientes naturalmente iluminados, cuja luz proporcionada pelo Sol consiste num espectro de cores equilibrado, com picos na porção azul e verde do espectro visível.

A radiação eletromagnética da luz natural favorece o controle da química do corpo humano. De acordo com Hathaway et al. (1992), o espectro com maior impacto no ser humano é o compreendido entre 290 a 770 nm. A síntese de vitamina D realizada pela pele ocorre durante a exposição entre 290 a 315 nm. A pigmentação da pele e a redução de cáries dentárias ocorrem entre 280 a 440 nm. A visão é mais sensível numa faixa compreendida entre 500 a 650 nm (luz amarelo-

esverdeada), e a degradação da bilirrubina³ ocorre como resposta à exposição entre 400 a 500nm (luz azulada). A luz possui efeitos biológicos significativos, que se dividem em duas categorias, conforme o órgão que recebe a exposição ao sol: os que modificam os estados endócrinos, hormonais e metabólicos pela exposição da retina, e os que resultam da exposição da pele. Funções como as dos sistemas endócrino e nervoso, das glândulas pineal e pituitária e do ciclo circadiano são diretamente afetadas de acordo com o grau de exposição à radiação eletromagnética da luz a que o organismo é exposto.

Wurtman (1975) sugere que a exposição da retina à luz media funções neurológicas e endócrinas, que por sua vez, regulam mecanismos como pubescência, ovulação e uma grande variedade de ritmos orgânicos. Os mesmos autores tratam da relação entre a exposição do olho à luz como a responsável pela secreção de hormônios pela glândula pineal.

Wurtman (1975) e Liberman (1985)⁴, citado em Edwards e Torcellini (2002) relatam que a energia fotoelétrica influencia também o funcionamento da glândula pituitária, reguladora do sistema hormonal, que gerencia nossos mecanismos emocionais.

Outra função orgânica dependente da exposição à luz natural é o ciclo circadiano. O ciclo circadiano, ou ritmo circadiano, é como se designa o período recorrente de aproximadamente 24h em que se baseiam os ciclos biológicos e psicológicos do ser humano, como digestão, sono, renovação celular e regulação da temperatura corporal. O ciclo circadiano é regulado pela melatonina, que é produzida pela glândula pineal, localizada na base do cérebro. Para que esta seja estimulada a produzir o hormônio, é necessário que a retina receba altas doses de luz solar. Segundo Baker e Stemmers (2002), experimentos demonstram que o ciclo circadiano acontece mesmo sem o estímulo lumínico, entretanto sofre neste caso um atraso de 1h10 para cada 24h. O acúmulo destes atrasos pode ocasionar em pessoas que habitam ou frequentam ambientes artificialmente iluminados e que não estão expostos, ou são expostos de forma intermitente ou insuficiente à luz forte o que se denomina Desordem Emocional Sazonal (*Seasonal Affective Disorder* -

³ Produto de aparência vermelho-amarronzado derivado do processo de metabolização da heme da hemoglobina (pigmento que dá cor aos glóbulos vermelhos do sangue).

⁴ Liberman, Jacob. **Light Medicine of the Future**. Novo México: Bear & Company Publishing, 1991.

SAD). Seus sintomas estão relacionados à letargia e às mudanças no humor e no comportamento. Este distúrbio pode ocorrer em indivíduos que habitam em altas latitudes, podendo provocar de leve mal estar à severa incapacitação durante o período de inverno. Ressalta-se que, enquanto em habitantes de altas latitudes o risco de desenvolver a SAD é maior no inverno, em usuários de prédios com iluminação inadequada o risco é alto em qualquer latitude e estação do ano.

O conforto do espaço construído e sua conexão com o meio ambiente proporcionam aos seus ocupantes benefícios que vão além da economia de energia. A impossibilidade de acesso solar em edificações torna-se mais um fator de inviabilização na garantia de sua habitabilidade. Indivíduos que permanecem em locais de trabalho com iluminação deficiente apresentam queixas não específicas de alterações corporais como cansaço, distúrbios no humor e falta de concentração (DUMONT; BEAULIEU, 2006).

O conforto térmico, ainda que não seja o foco deste trabalho, merece citação, pois também pode ser prejudicado pela falta de acesso solar. O conforto em geral, e especialmente o térmico, é elemento essencial para a satisfação do usuário de uma edificação. O grau de desconforto que se sente no interior de uma construção é um dos fatores que determinará a quantidade de energia que será consumida para sua climatização. Quando não há acesso a fontes energéticas para condicionamento artificial, e técnicas passivas não são aplicadas, as consequências em casos extremos podem ser por vezes fatais. No Reino Unido, são atualmente registrados altos índices de mortalidade no período de inverno entre a população de baixa renda. Habitando edificações inadequadas sob o ponto de vista do conforto térmico, por terem valores de aluguel mais acessíveis, estes indivíduos nem sempre possuem os recursos necessários para a aquisição de combustíveis que alimentam os antigos sistemas de arrefecimento destas construções, o que por vezes acaba causando óbitos por exposição ao frio extremo (ROAF; CRICHTON; NICOL, 2009).

A falta de contato visual com o exterior também contribui para o desconforto. Usuários de edificações sem acesso ao ambiente externo e às alterações naturais na iluminação que ocorrem ao longo do dia apresentam índices maiores de estresse, depressão e ansiedade que usuários que possuem esse acesso (MARTAU, 2009). Este conjunto de sintomas já é atualmente reconhecido como a “Síndrome da Iluminação Doente” (BEGELMAN; VAN DEN BELD; TENNER, 1997).

Assim, a noção de conforto ambiental, e notadamente neste trabalho o conforto lumínico, ultrapassa as questões ergonômicas ou até mesmo estéticas, para adentrar o domínio da saúde pública.

2.1.2 Acesso Solar e Urbanização: Antecedentes Históricos

Relações entre condicionantes climáticas, disponibilidade local de materiais e aspectos culturais são elementos que historicamente pautaram decisões de projetos arquitetônicos e urbanísticos. Um dos fatores considerados ao se determinar a localização e o desenho destas edificações é a trajetória solar. Civilizações há cerca de 2.500 anos atrás já utilizavam seus conhecimentos acerca das mudanças dos ângulos solares ao longo das estações para captar o calor do sol e aproveitá-lo em sistemas passivos de aquecimento (BUTTI; PERLIN, 1985).

Relatos sobre ações para conciliar o acesso solar em edificações situadas em aglomerados urbanos localizam-se historicamente na Grécia. Sócrates⁵ defendia que a casa ideal deveria ser fresca no verão, e quente no inverno. Entretanto, o ideal de habitação de Sócrates não era fácil de ser obtido na Grécia antiga, pois os gregos não possuíam conhecimento acerca de técnicas que possibilitassem condicionar termicamente de forma passiva o interior de suas construções. O aquecimento das residências no inverno era realizado pela queima de carvão em braseiros portáteis. Entretanto, o consumo indiscriminado deste combustível causou sua escassez na Antiguidade⁶, e no século V a.C., vários territórios da Grécia estavam praticamente sem cobertura arbórea. Diante da inviabilidade do uso do carvão para o aquecimento das edificações, a utilização da energia solar se constituiu em uma resposta positiva à escassez energética. Estando expostos a um clima ensolarado em quase todo o período do ano, os gregos aprenderam a construir de forma a se beneficiarem dos raios solares durante seu ameno período de inverno, e a proteger-se do excesso de calor no verão. Conforme Butti e Perlin (1985) nascia a arquitetura solar, em que o desenho da forma dos edifícios visava à

⁵ (469–399 a.C.). Filósofo ateniense, um dos fundadores da Filosofia Ocidental.

⁶ Antiguidade, ou Idade Antiga, é o período compreendido entre a invenção da escrita (4000 a.C.) e a queda do Império Romano do Ocidente (476 d.C.).

racionalização do aproveitamento solar. A casa grega tinha sua morfologia definida de forma a controlar racionalmente sua exposição ao sol.

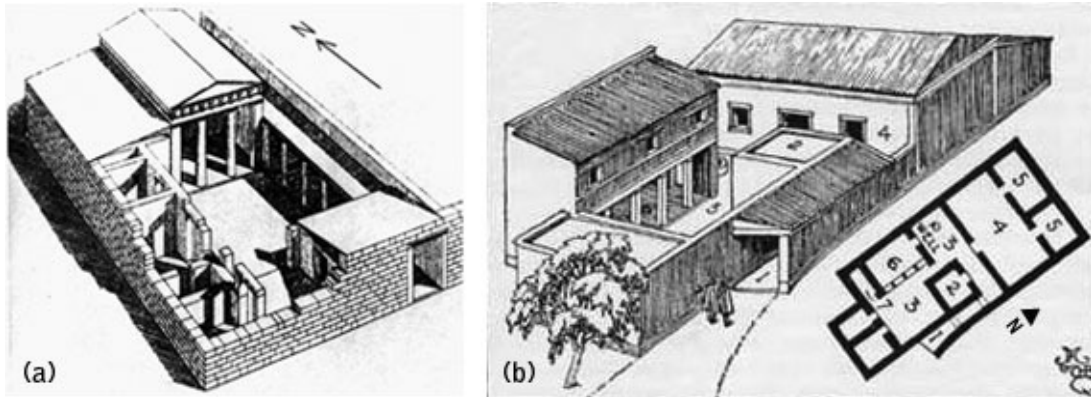


Figura 2 – (a) Representação em perspectiva da implantação de uma residência da cidade de Priene. (b) Planta baixa e perspectiva de implantação de residência grega padrão.

Fonte: (a) Butti e Perlin (1985); (b) Adaptado de Quennell (1954).

Observa-se na Figura 2 que as casas eram projetadas para que o sol do inverno pudesse penetrar facilmente nos ambientes internos por um pórtico voltado para o sul (comportamento solar para o hemisfério norte). Este pórtico criava um espaço livre no interior do lote, que permitia que os raios solares alcançassem a construção situada mais ao fundo do terreno. Assim, as acomodações principais da casa tinham acesso aos raios solares procedentes do sul, e eram resguardadas do norte para evitar os ventos frios. Sócrates⁷, citado em Butti e Perlin (1985) explicava este mecanismo de condicionamento passivo desta forma:

Em casas orientadas para o sul, o sol penetra pelo pórtico no inverno, enquanto que no verão o arco solar descrito se eleva sobre nossas cabeças e por cima do telhado, de maneira que haja sombra (BUTTI; PERLIN, 1985, p. 5) – tradução livre⁸.

⁷ Memorabilia, VIII.

⁸ En las casa orientadas al sur, el Sol penetra por el pórtico en invierno, mientras que en el verano el arco solar descrito se eleva sobre nuestras cabeças y por encima del tejado, de manera que hay sombra.

O desenho urbano hipodâmico⁹ das cidades gregas acompanhava a preocupação com o acesso solar. Um exemplo é a cidade grega de Priene¹⁰. Com sua topografia acidentada, possuía todas as casas dispostas de acordo com o princípio geométrico de disposição mais favorável à captação solar, em patamares escalonados que acompanhavam a topografia local. As ruas principais de Priene tinham a orientação geográfica sentido leste-oeste, enquanto que as vias secundárias apresentavam orientação geográfica sentido norte-sul, com quarteirões de 120 x 150 pés¹¹ (BENEVOLO, 1999).

Os ambientes principais davam sempre para um espaço coberto orientado ao sul. Todos os habitantes, dos mais ricos e ilustres aos menos favorecidos podiam efetivamente desfrutar do calor do sol no inverno e evitar seu excesso durante o verão (BUTTI; PERLIN, 1985).

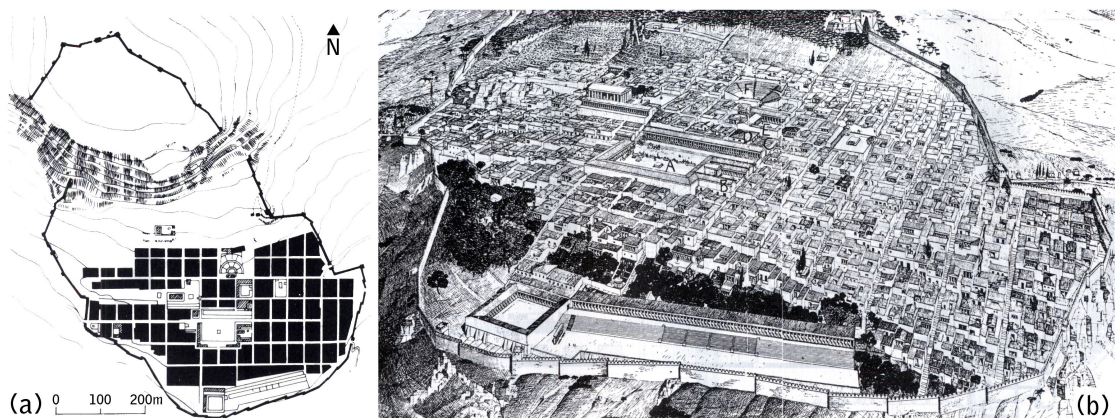


Figura 3 - (a) Planta esquemática da cidade de Priene. (b) Vista aérea de Priene.

Fonte: Adaptado de Benevolo (1999).

⁹ Traçado urbanístico composto de uma malha reticulada com orientação norte-sul, criação do urbanista grego Hipodamo de Mileto (séc. VI a.C.).

¹⁰ Cidade grega fundada por volta de 350 a.C. Possuía cerca de 4000 habitantes.

¹¹ Aproximadamente 35 x 45 metros.

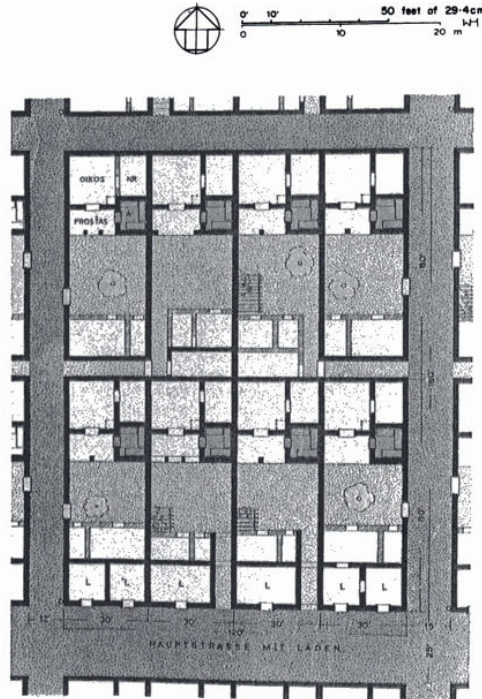


Figura 4 - Implantação de residências em quarteirão na cidade de Priene.

Fonte: Kent (1990).

A Figura 4 apresenta a disposição das residências da cidade no interior dos lotes, tendo o pórtico de entrada para a edificação com orientação sempre voltada para a face sul, independentemente da face do lote que está voltada para a testada, e a face norte protegida dos ventos frios pela parte mais robusta da construção. Observa-se também que os lotes que se situavam nas extremidades da quadra tinham a entrada pela lateral, e que permitiam um corredor de acesso que desembocava na entrada dos lotes que se situavam no centro da quadra.

Outra cidade grega, Olinto¹², também era construída seguindo o traçado hipodâmico em sua parte mais nova. Com terreno menos acidentado que Priene, possuía as principais vias com orientação leste-oeste, que eram cortadas no sentido norte-sul por vias mais estreitas. As vias eram alinhadas desta forma para que todos os lotes pudessem ter a face sul disponível. As casas, a exemplo de Priene, também eram construídas em volta de um pátio que sempre se situava na face sul do lote, de forma que o sol de inverno pudesse penetrar profundamente até o fundo da habitação principal (GOITIA, 1982).

¹² Cidade da Macedônia, fundada em 432 e destruída em 347 a.C.



Figura 5 - Disposição de residências em região ao norte de Olinto.

Fonte: Adaptado de Butti e Perlin (1985).

Em sintonia com o pensamento grego, Vitrúvio¹³ se ocupou da questão bioclimática em seu tratado *Dez Livros de Arquitetura de Vitruvius*¹⁴. No capítulo I de seu livro VI, descreve a importância da adaptação da arquitetura ao clima:

Caso desejemos que os desenhos de nossas casas estejam corretos, devemos começar por tomar nota dos países e climas em que estas estão construídas. Um estilo de casa parece apropriada para ser construído no Egito, outro estilo para a Espanha, outro para *Pontus*, outro ainda diferente para Roma, e assim sucessivamente para regiões e países de características diferentes. É assim porque uma parte da Terra está diretamente embaixo do curso do sol, outra é distante dele, enquanto que outras estão na metade do caminho entre as anteriores. Daqui da Terra, como a posição do céu no que se refere a um intervalo dado sobre a Terra conduz naturalmente a características diferentes, devido à inclinação do círculo do zodíaco e do curso do sol, é evidente que o desenho de nossas casas deve, de forma similar, se conformar à natureza do país e às diversidades do clima (VITRÚVIO, 1914, p. 170) – tradução livre¹⁵.

¹³ Marcus Vitruvius Pollio. Arquiteto, engenheiro, agrimensor e pesquisador romano que viveu perto do séc. I d.C. Defendia em sua obra os princípios de *utilitas*, *firmitas* e *venustas* (utilidade, firmeza e beleza) na arquitetura.

¹⁴ *De Architectura*, célebre tratado composto por 10 volumes que fazia uma compilação do conhecimento arquitetônico greco-romano da época.

¹⁵ If our designs for private houses are to be correct, we must at the outset take note of the countries and climates in which they are built. One style of house seems appropriate to build in Egypt, another in Spain, a different kind in Pontus, one still different in Rome, and so on with lands and countries of other characteristics. This is because one part of the earth is directly under the sun's course, another is far away from it, while another lies midway between these two. Hence, as the position of the heaven with regard to a given tract on the earth leads naturally to different characteristics, owing to the

Evidencia-se neste fragmento de texto que Vitruvius compreendia as disparidades sazonais e climáticas intrínsecas às diversas regiões do globo terrestre como um fenômeno diretamente ligado à sua posição geográfica. Sendo assim, era natural para ele que, a exemplo das distintas condicionantes climáticas, diferentes e particulares deveriam ser as estratégias construtivas adotadas para se adequar ao clima.

Da mesma forma como a Grécia enfrentou a escassez de combustível, a Roma de Vitruvius também viu suas reservas se esvaírem rapidamente. A partir do ano I D.C., o alto custo da madeira inviabilizou seu uso para o aquecimento das residências e forçou os romanos a adotarem as técnicas gregas de arquitetura solar no traçado de suas cidades e habitações, adaptando-as de forma particular às diversas condições climáticas de seu vasto império.

A fim de racionalizar a exposição solar em suas edificações, surge na adensada Roma do século II d.C., o *heliocaminus*¹⁶, o “caminho do Sol”, ou “sala solar”. O *heliocaminus* foi a denominação inventada por Plínio¹⁷ na Roma antiga, e designava seu ambiente favorito na casa, que era mais aquecido que o interior da casa devido às aberturas ao sudoeste, cobertas com vidro ou mica, que proporcionavam grande ganho térmico.

A Lei do *Heliocaminus* é promulgada por Ulpiano¹⁸ no século II d.C., e visava garantir o acesso ao sol ao povo romano, proibindo, pela aplicação de legislações urbanísticas, a interrupção ao seu acesso (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997). A importância dada à garantia ao acesso solar pelos romanos também fica clara no Código do Imperador Justiniano¹⁹. Este afirmava que, caso um objeto estivesse colocado de maneira a ocultar o sol para um *heliocaminus*, estaria criando sombra onde a luz solar era uma absoluta necessidade e, portanto, seria uma violação ao direito ao sol (CORBELLA; YANNAS, 2003).

inclination of the circle of the zodiac and the course of the sun, it is obvious that designs for houses ought similarly to conform to the nature of the country and to diversities of climate.

¹⁶ Quarto em complexo romano de banho com grandes janelas térmicas que eram usadas para reter o calor do sol (ROBINSON, 2006, p.93).

¹⁷ Plínio, o Jovem. Rico e influente escritor romano do século II d.C.

¹⁸ Eneo Domitius Ulpianus (150 a 228 d.C.). Jurista e prefeito pretoriano.

¹⁹ *Flavius Petrus Sabbatius Justinianus*, conhecido como Justiniano I ou Justiniano, o Grande, imperador de Roma no século VI d.C.

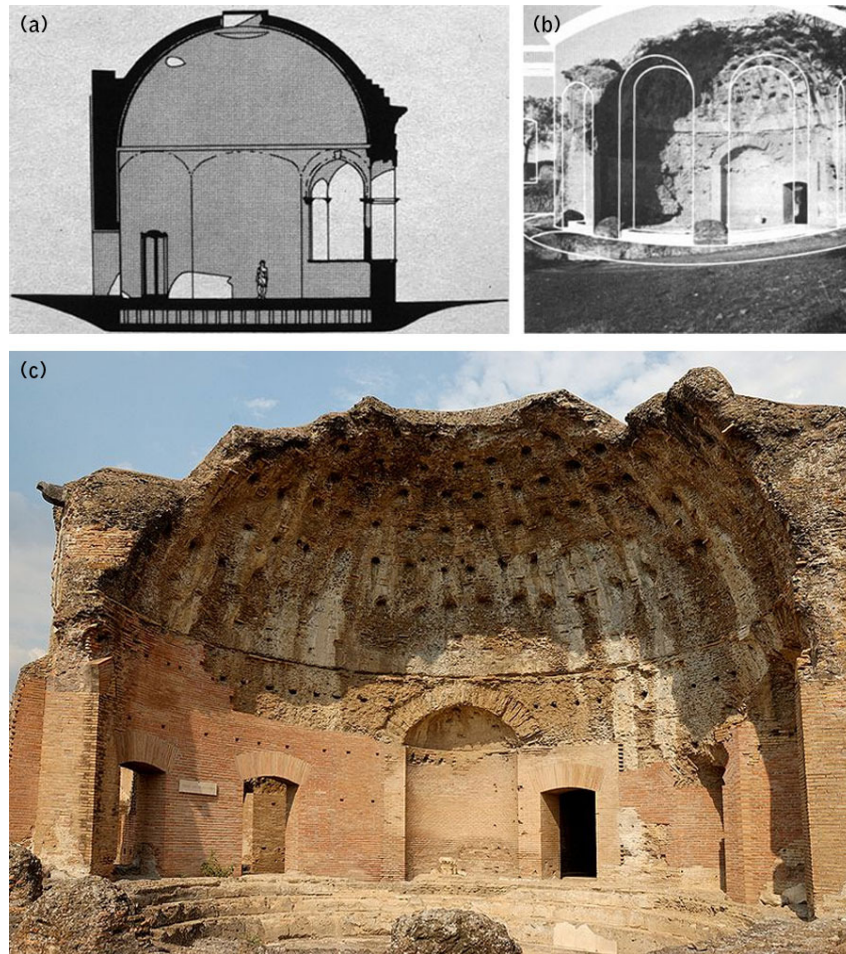


Figura 6 - (a) Corte longitudinal de heliocaminus romano em Ostia; (b) Esquema sobre imagem de heliocaminus da Vila Adriana, em Tívoli, demonstrando possível posição das janelas recobertas por vidro ou mica; (c) Imagem atual do heliocaminus.

Fonte: (a) Desenho de Edwin D. Tatcher in: Butti e Perlin (1985); (b) Butti e Perlin (1985); (c) Imagem feita por Marie-Lan Nguyen (2006).

A Figura 6 demonstra a morfologia dos *heliocaminus* romanos. Estes eram comuns nos banhos públicos, e apresentavam grandes aberturas recobertas por vidro ou mica voltadas geralmente para o sul e sudeste, e especialmente para o sudoeste, de forma que a maior incidência solar coincidissem com o final da tarde, horário tradicionalmente reservado pelos romanos para a utilização dos banhos. Estes *heliocaminus* funcionavam como “fornos solares”, permitindo a passagem da radiação solar, e impedindo a dispersão do calor para o ambiente externo.

O urbanismo romano, a exemplo da arquitetura, também foi fortemente influenciado pelo traçado hipodâmico grego, acrescido de rituais sagrados baseados

nos aprendidos com os etruscos. Harouel (1998) relata que o processo de desenho de uma nova cidade romana era constituído de quatro fases. A primeira era a realização de um sortilégio, para verificar a posição favorável ou desfavorável dos deuses; a segunda era a determinação do *orientatio*, dois eixos, com duas ruas principais que se cruzavam em ângulo reto; a terceira fase era a criação do *decumanus*, eixo de orientação leste-oeste, e finalmente a quarta fase era a criação do *cardo*, um eixo de orientação norte-sul. A partir deste marcos iniciais, a cidade recebia um traçado ortogonal, que iria definir os espaços públicos e privados da cidade. São exemplos as cidades de Herculano²⁰ e Treves, uma das capitais regionais no período próximo ao fim do Império. Com a expansão romana ocorrida entre os séculos III e II a.C. este modelo urbanístico se espalhou pelos territórios tomados, e este traçado é encontrado em cidades espalhadas por toda Europa, Mediterrâneo e Norte da África, como é o caso da cidade de Silchester, localizada na Grã-Bretanha. As Figuras 7 e 8 a seguir demonstram as plantas das cidades romanas de Herculano e Treves, e da cidade inglesa de Silchester, quando de sua ocupação romana.



Figura 7 - (a) Planta da cidade de Herculano; (b) Planta da cidade de Treves.

Fonte: Adaptado de Benevolo (1999).

²⁰ Cidade litorânea próxima à baía de Nápoles, que foi enterrada juntamente com Pompéia na erupção do vulcão Vesúvio em 79 d.C.

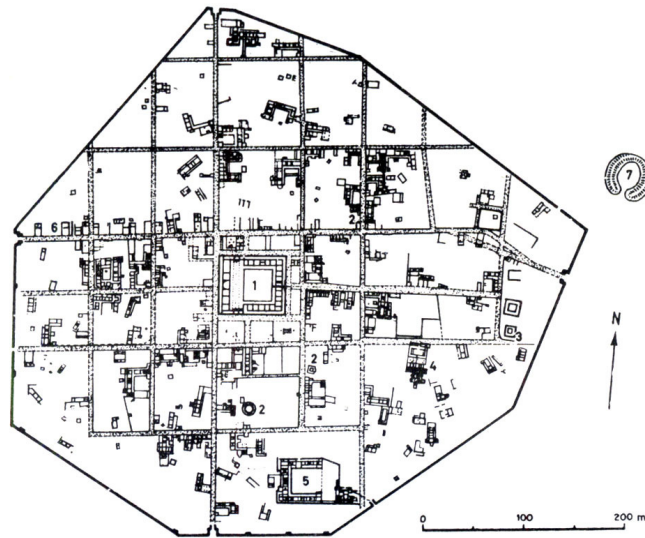


Figura 8 - Planta de Silchester, Grã-Bretanha.

Fonte: Benevolo (1999).

Contraditoriamente, segundo Butti e Perlin (1985), o que na Grécia garantia o direito ao acesso solar a qualquer cidadão independente de seu status social, na Roma transformou-se em uma lei pouco democrática, já que na prática, enquanto as residências das classes ricas obtinham o acesso efetivo, as vivendas mais humildes nem sempre desfrutavam de orientações solares adequadas.

Com a queda de Constantinopla e o fim do Império Romano em 476 d.C., os princípios de utilização da geometria solar em edificações caíram em desuso na Europa por um período de aproximadamente mil anos. A arquitetura vernacular manteve a tradição, baseada no senso comum, na utilização dos materiais e fontes de energia disponíveis, e na aplicação de técnicas construtivas consagradas pela cultura local.

Localizamos exemplos deste tipo de arquitetura solar em muitas regiões do mundo, como América do Norte, América Central e América do Sul, no mediterrâneo europeu, e em povoados situados no continente africano e asiático.

A adaptação ao clima é o objetivo principal dos povos que utilizaram técnicas passivas de condicionamento ambiental em edificações, especialmente os situados em regiões de clima quente e seco, caso dos assentamentos Pueblos (KNOWLES, 2003; BUSTOS ROMERO, 2000). Os Pueblos são aglomerações de tribos que se

desenvolveram no sudoeste dos Estados Unidos por volta do séc. VI d.C. Estes grupos encontram-se em uma região árida, de grande amplitude térmica, com verão quente e seco, e noites frias no período de inverno. Estes povoados são um exemplo clássico de edificação vernacular que utiliza técnicas simples, porém altamente eficazes de controle solar.

O clima árido da região, com amplitudes térmicas bastante acentuadas pelos dias quentes e secos durante o período de verão e pelas noites frias teve seu desconforto significadamente reduzido para os moradores da região com a utilização de técnicas passivas para regulação da temperatura interna das construções. O Assentamento de Acoma Pueblo, no Novo México, representa um dos mais sofisticados exemplos de controle solar.

As casas do assentamento, que contabilizam em média cerca de 1000 anos de existência, possuem de dois a três pavimentos escalonados com as fachadas, portas e aberturas direcionadas para o sul, o que no hemisfério norte é a orientação mais favorável para captação de luz solar. Isto faz com que no inverno haja uma boa exposição da edificação ao sol, proporcionando acesso solar, e evita a exposição direta no período de verão, quando as alturas solares são maiores.

As construções são cuidadosamente dispostas em grupos, numa complexa estrutura arquitetônica de caráter aditivo e comunitário. Sua morfologia compacta proporciona o máximo volume edificado, com a minimização da superfície exposta; este fator somado à espessura dos muros e ao sombreamento proporcionado pelas fachadas contribui para a elevada inércia térmica, que garante bons resultados para o conforto em todas as épocas do ano (BUSTOS ROMERO, 2000).

A ocupação territorial e disposição do aglomerado são feitas em meia-lua, com o côncavo voltado para o sul, de forma que todas as fachadas recebam o sol no período de inverno. O agrupamento é compacto, para obter o mínimo de variação na temperatura do interior do assentamento.

O espaçamento de cada volume é definido de acordo com os ângulos solares variáveis de acordo com cada estação do ano, princípio que Knowles (2003) afirma ter adotado para a formulação do conceito de envelope solar.



Figura 9 - Foto com vista geral de edificações de Acoma Pueblo.

Fonte: Disponível em: <http://picasaweb.google.com/lh/photo/NRCFLvRIETv_NvXxzCPDCg>.

Acesso em: 10. Ago. 2009.

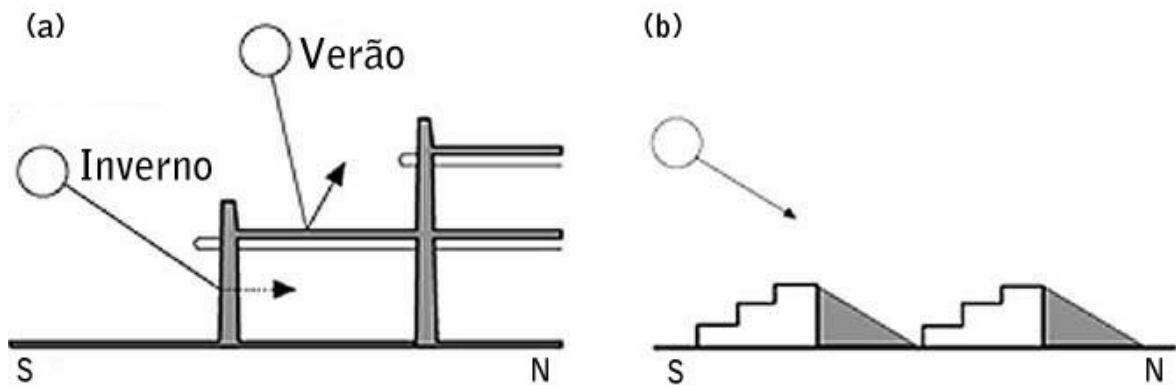


Figura 10 - Comportamento solar para o período de verão e inverno em construções de Acoma Pueblo. (a) alturas solares correspondentes aos períodos de inverno e verão; (b) comportamento do sombreamento provocado pelas construções em relação às adjacentes.

Fonte: Adaptado de Knowles (2003).

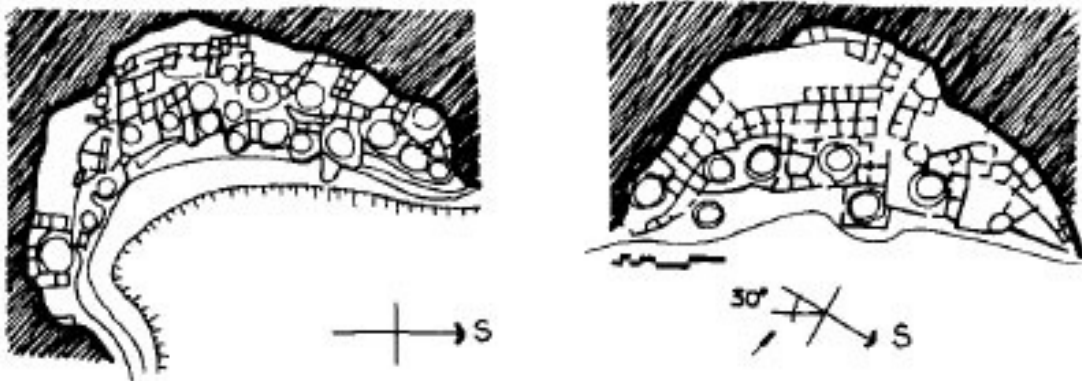


Figura 11 - Plantas esquemáticas de aglomerado Pueblo.

Fonte: Bustos Romero (2000)

Na América do Sul pré-colombiana, o traçado das cidades contemplava aspectos dos elementos cósmicos fundamentais na cultura destes povos, como o sol e a lua. Suas construções em formato de pirâmide sugerem a utilização de princípios do envelope solar. São exemplos as cidades de Cuzco, Chanchán e Teotihuacan.

A ordenação urbana de Cuzco, capital da cultura inca, era fundamentada em dois eixos principais não perpendiculares, que marcavam quatro caminhos alinhados aos quatro eixos cardeais principais, que por sua vez faziam a comunicação da capital com as quatro regiões que compunham o império. Para os incas, o sol era a maior divindade religiosa reconhecida (denominado *Wirakocha*), e eram dele que originavam as regras sociais e os atos religiosos.

Chanchán caracteriza o auge do urbanismo das civilizações andinas centrais. Apresenta tecido urbano fechado, labiríntico, e orienta-se no sentido norte-sul. A cidade era construída em adobe e possuía paredões com até 12m de altura. Estes paredões eram dispostos no eixo norte-sul, e tinham simultaneamente a função defensiva e de fonte de sombreamento, além de captar a brisa marinha e conduzi-la para o interior da cidade, arrefecendo-a. O deserto impõe sua rígida influência na morfologia da cidade, e origina o nome Chanchán, que significa fogo-fogo na língua nativa, numa alusão à relação entre o deserto e o sol.

Teotihuacán, capital do império Azteca, situava-se no centro do lago Texcoco, e era um centro para cerimoniais. Seu traçado era ordenado e preciso, estruturado em dois eixos principais com orientação norte-sul e leste-oeste. O eixo norte-sul determinava o acesso ao centro cerimonial e era onde passava a denominada Avenida dos Mortos, que apresentava uma rotação de 15° e 30' em relação ao norte

astronômico. O sofisticado conhecimento acerca da astronomia e da geometria solar era evidenciado pela marcação do eixo leste-oeste, que indicava a época em que o percurso solar realizava o caminho com a maior altura solar, passando pelo zênite do céu de Teoyihuacan (BUSTOS ROMERO, 2003; PÉREZ, 2007).

Encontramos exemplos de arquiteturas solares também entre algumas cidades islâmicas, como o Iraque. Em habitações iraquianas, é utilizado o *serdab*, recurso antigo utilizado desde os tempos da Babilônia. O *serdab* consiste em um ou mais compartimentos enterrados, com aberturas situadas na cobertura ou áreas superiores voltadas para um pátio. Estas aberturas direcionam os ventos, canalizando-os para o interior do *serdab*. Neste ambiente, são tradicionalmente feitas as sesta durante o meio da tarde, quando as temperaturas são mais altas (AL-AZAWWI, 1969).

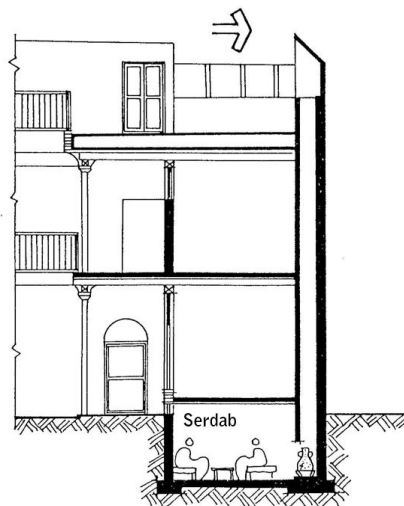


Figura 12 - Localização de serdab em habitação iraquiana.

Fonte: Adaptado de Al-Azawwi (1969).

No vale de Casbás, próximo ao deserto do Saara, a disposição das edificações no tecido urbano é compacta, a fim de amenizar a exposição à radiação solar proporcionada pelo clima quente e árido. As construções se beneficiam da grande inércia térmica proporcionada pelos materiais utilizados nas estruturas e nos pisos (barro e troncos de palmeiras), que retardam o aquecimento durante o dia e à noite disponibilizam o calor acumulado. As habitações apresentam pátio interno, elemento característico da arquitetura iraquiana e são agrupadas em blocos compactos a fim de minimizar a exposição à radiação solar direta. O traçado das

ruas segue uma hierarquia definida, com as ruas principais contornando os blocos das habitações, que são subdivididos em blocos menores por vias mais estreitas que as anteriores, que por sua vez terminam em becos sem saída (BUSTOS ROMERO, 2000).

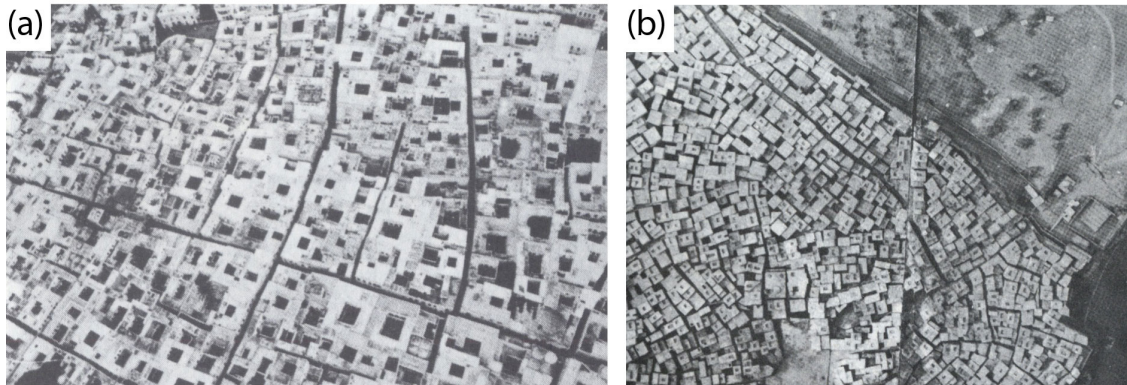


Figura 13 - (a) Vista aérea de Casbás, com detalhe das residências construídas ao redor de pátio interno; (b) Vista aérea de maquete de Casbás feita em 1830.

Fonte: (a) Benevolo (1999); (b) adaptado de Al-Azawwi (1969).

No oriente, encontra-se a província de Honnan. Situada no norte da China, apresenta um clima bastante rigoroso, com períodos de frio austeros e extensos, e tempestades de vento. Para se proteger dos percalços climáticos, as habitações são escavadas na terra, e apenas os pátios ficam expostos a céu aberto. Estes pátios atendem a várias famílias, e possuem aproximadamente 24m x 9 m, com profundidade que varia de 7m a 9m. A orientação, o tamanho e a forma destes pátios permitem a entrada do sol no inverno, e protegem dos raios solares do verão. As habitações se beneficiam da inércia térmica da terra, mantendo-as quentes no inverno e frescas no verão (BUSTOS ROMERO, 2000).

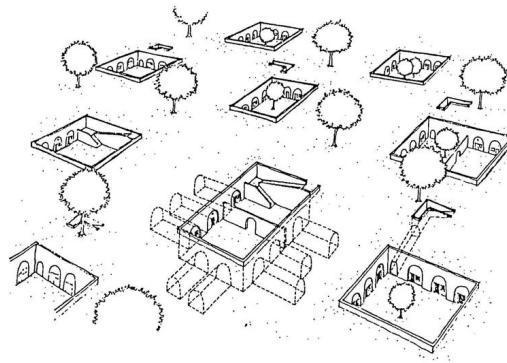


Figura 14 - Representação gráfica de vista aérea de habitações enterradas no solo da cidade de Honnan.

Fonte: Viaro e Ziegler (1983).

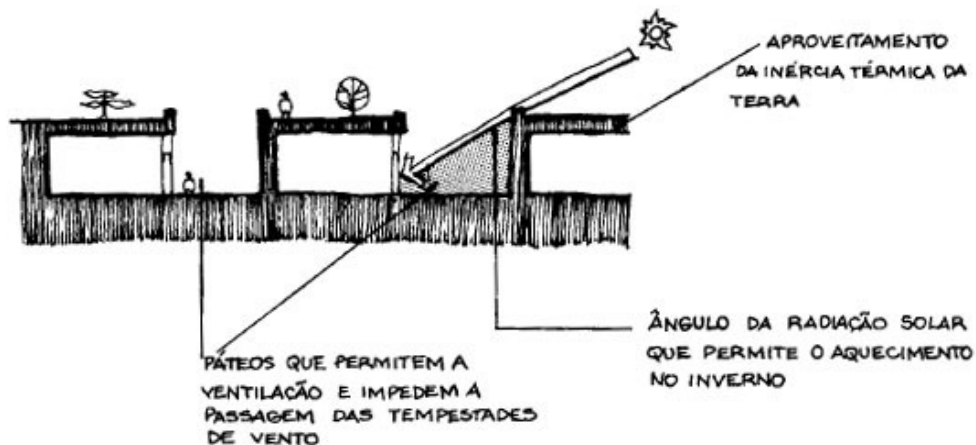


Figura 15 - Representação gráfica de corte de habitações de Honnan – China com detalhamento das estratégias bioclimáticas utilizadas.

Fonte: Bustos Romero (2000).

Da mesma forma que as habitações de Honnan, a casa chinesa urbana também utiliza o pátio central para se beneficiar do controle solar. As propriedades são constituídas por um complexo simétrico que acompanha o eixo norte-sul, e o pátio central é um jardim protegido dos frios ventos do norte e da forte incidência solar do sul.

O ambiente urbano na China é caracterizado por uma oposição fundamental: os perigos que vem do norte de seu território, e o elemento vital, o sol, que vem do sul:

ao norte, as montanhas hostis e desconhecidas, de onde vêm os ventos frios, os inimigos, os animais selvagens; ao sul, a planície cultivada e o mar, onde o sol dá seu calor e onde se desenvolvem as atividades civis (BENEVOLO, 1999, p. 55).

Neste contexto, a cidade surge com o papel de mediador destes poderes antagônicos, regulando-os e harmonizando-os. A ordem desejada às forças naturais se manifesta em uma ordenação física visível de origem geométrica. A cidade se alinha rigorosamente aos eixos cardeais num traçado de ângulos predominantemente retos, e esta ordenação espacial se repete de forma análoga à habitação, que possui o acesso voltado geralmente à face sul. A Figura 16 a seguir demonstra um exemplo de planta de uma típica residência chinesa da cidade de Pequim do século XV d.C. Nela, pode-se observar a distribuição lateral dos cômodos, voltados para o pátio interno, que proporcionam acesso solar e ventilação ao interior dos cômodos da residência, e a malha urbana da cidade chinesa de Cantão, onde se observa o marcante traçado geométrico alinhado ao eixo norte-sul (BENEVOLO, 1999).

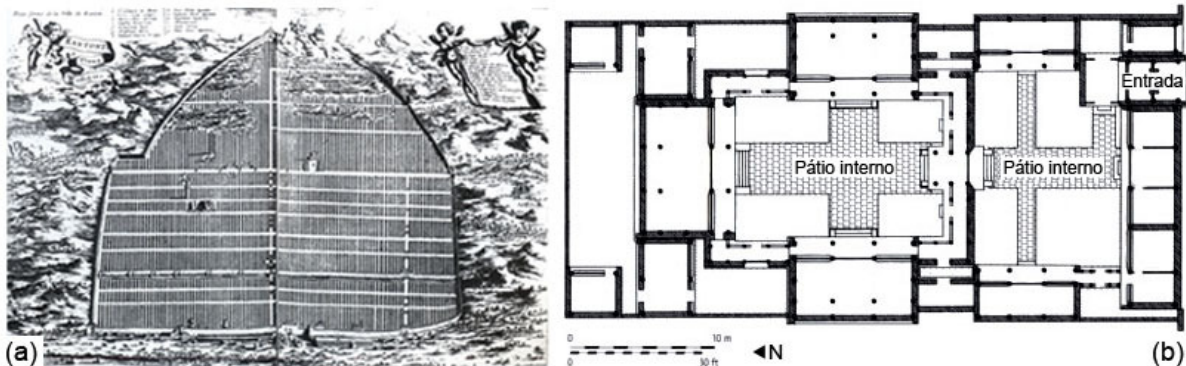


Figura 16 - (a) Planta da cidade de Cantão,1668; Planta de casa típica da cidade de Beijing, China. Século 15 d.C.

Fonte: (a) Benevolo (1999); (b) Adaptado de Moffet, Fazio e Wodehouse (2003).

Com o fim do Império Romano e o início da Idade Média, a ocorrência da peste negra²¹ provocou a drástica redução da população européia, fazendo com que

²¹ A peste negra ou peste bubônica foi uma pandemia que assolou a população da Europa por volta de 1347-1348 d.C., provocando a morte de aproximadamente 75 milhões de pessoas (1/3 da população total da época).

a necessidade de adensamento deixasse de ser um problema a ser resolvido pelo urbanismo até a Revolução Industrial (BUTTI; PERLIN, 1985).

A utilização de técnicas vernaculares ecoou ao longo dos tempos, chegando até a atualidade. Surgem iniciativas para a incorporação de técnicas passivas de condicionamento de edificações em alguns agrupamentos habitacionais recentes, num retorno às consagradas práticas vernaculares. Como exemplo cita-se a cidade de Gourná, no Egito.

O arquiteto egípcio Hassan Fathy foi o responsável pela edificação a partir de 1946 de Nova Gourná, localizada próxima a Luxor, Egito. Nova Gourná personificava a arquitetura vernacular regional, utilizando elementos da cultura árabe como as torres de vento, o domo e o muxarabi²² como estratégias para minimizar o desconforto causado pelo clima desértico. As paredes eram edificadas com adobe, possuíam pátios internos e a mão de obra era formada pelos próprios futuros ocupantes do imóvel. Hassan Fathy tinha como objetivo demonstrar que era possível a construção de habitações de baixo custo e eficientes de uma forma autossuficiente pela população de renda mais baixa, valorizando a cultura e as tradições locais. O projeto da vila previa sua ocupação por cerca de 7000 pessoas, que seriam remanejadas de outro local.

Entretanto, as técnicas modernistas de construção industrializada e a utilização de materiais como aço e vidro já estavam postas como o modelo ideal, sinônimo de eficiência e referência em qualidade, e forçavam insistentemente a ruptura com as tradições construtivas locais. Assim, a grande resistência por parte da população e de autoridades mal informadas decretou o fim do experimento, deixando o plano inicial da cidade apenas parcialmente construído (FATHY, 1980). Restam atualmente do plano inicial a mesquita, o mercado e algumas residências, que permanecem abertos para visitação.

²² Muxarabi  ou muxarabi. Balcão protegido em toda altura da janela por uma treliça de madeira. Sua finalidade   assegurar ventila o e sombra, permitindo que se olhe para o exterior sem ser visto.



Figura 17 - (a) Vista Geral de Nova Gurna; (b) Vista de construções; (c) Detalhe de pátio interno.

Fonte: Adaptado de Inter-American Institute for Advanced Studies in Cultural History. Disponível em: <http://www.interamericaninstitute.org/new_page_10.htm>. Acesso em 22 nov. 2009.

Na Figura 17, podem ser observados alguns aspectos morfológicos de Nova Gurna. Notam-se as edificações feitas de adobe com paredes grossas para favorecer sua inércia térmica, o tamanho pequeno das aberturas para minimizar a entrada do ar quente durante o dia, e manter o ar climatizado no interior da habitação à noite, e a presença dos pátios internos arborizados, como estratégias para favorecer o conforto dos usuários.

A partir deste breve levantamento de alguns exemplos de arquitetura solar como civilizações antigas, verifica-se o conhecimento que estas possuíam acerca da necessidade de acesso ao sol em habitações, e suas técnicas simples, porém eficazes, de promover seu controle de maneira a se obter o maior conforto possível passivamente.

2.1.3 Acesso Solar e Arquitetura Moderna e Contemporânea

A automação de sistemas produtivos ocorrida durante a Revolução Industrial forçou a urbanização das cidades, ajustando-as à necessidade de facilitar a movimentação de matéria-prima e de produtos manufaturados. Outro fator determinante para a drástica mudança na malha urbana que se seguiu foi o violento aumento populacional, causado pela massa de migrantes que saíram do campo rumo às cidades em busca de trabalho nas indústrias e de melhores condições de vida. Estimativas afirmam que nos países que encabeçavam o processo de

industrialização (Alemanha, Estados Unidos, França e Inglaterra), a população total somada em 1800 era de aproximadamente 64 milhões de habitantes, passando no final do século XX para 207 milhões (SUTTCLIFE, 1981). Choay (1979) relata que na cidade de Londres, localizada na Inglaterra, país considerado o berço da Revolução Industrial, a população passou de 864.845 habitantes em 1801 para 1.873.676 em 1841, saltando para 4.232.118 em 1891. Paralelamente, a quantidade de cidades inglesas com mais de cem mil habitantes passa de duas em 1800 para trinta, em 1895.

Paradoxalmente, as condições encontradas nas cidades por este contingente humano foram as piores possíveis. A acomodação desta massa humana ocorreu de forma totalmente inadequada, modificando sensivelmente a paisagem urbana e tornando-a altamente adensada, caótica e insalubre. O escoamento satisfatório de detritos residenciais tornou-se impossível, e águas servidas e esgoto corriam a céu aberto por entre as vias. A malha urbana era um reservatório onde se acumulavam toda espécie de lixo e imundície, vetores de inúmeras moléstias. Construções antigas eram precariamente adaptadas para funcionar como habitações, gerando uma profusão de cortiços com severas restrições quanto à disponibilidade de iluminação e ventilação naturais. Os novos bairros residenciais eram construídos contiguamente e alternadamente a indústrias e oficinas, provocando entre si todo tipo de perturbação. Nos versos do inglês Jonathan Swift²³, citado por Rosen (1994), tem-se um retrato da situação do espaço das cidades.

De todas as partes as sarjetas inchadas afluem,
E enquanto avançam, ostentam seus troféus.
Imundícies de todas as cores e odores parecem contar,
Pelo aspecto e pelo cheiro, de que rua velejaram.
Refugos das tendas dos açougueiros, bosta, tripas e sangue,
Cãezinhos afogados, arenques fedidos, todos encharcados na sujeira,
Gatos mortos e folhas de nabo, rolam corrente abaixo (ROSEN, 1994, p.127).

A criticidade do espaço urbano era tal que movimentos para promover sua recuperação pouco a pouco surgiram na Europa. Datam desta época projetos ambiciosos de urbanização como o do Barão Haussman²⁴, que empreendeu uma

²³ Escritor irlandês do séc. XVI.

²⁴ Prefeito da cidade de Paris entre 1853 e 1870.

radical reestruturação em Paris, e cujo modelo foi posteriormente influenciador na reforma de várias outras cidades européias como Viena, Berlim e Roma, e em outros continentes, como na cidade do Rio de Janeiro (MOREIRA; ROCHA, 2006).

As cidades medievais possuíam uma morfologia orgânica, resultado de seu lento surgimento e desenvolvimento causado, entre outros diversos fatores de ordem social e cultural, pela restrição técnica e escassez de recursos financeiros da época. Para adequá-las às novas necessidades de acomodação, os muros defensivos das antigas vilas medievais são demolidos para expandir cidades, e dar espaço a bairros novos; as cidades são remodeladas, e os antigos centros exíguos são ampliados para acomodar espaços viários mais adequados à necessidade crescente de circulação da população e de mercadorias. Novos padrões de ocupação e dimensionamento de sistemas sanitários são implantados, bem como sistemas de iluminação e transporte. São realizados também projetos paisagísticos de áreas verdes, e a criação de espaços monumentais de valorização cultural e cívica.

O movimento de reordenação destas cidades teve como origem a combinação de interesses de ordem social e política, mas, sobretudo, o interesse econômico. Assim, ao contrário de algumas iniciativas isoladas de fragmentação do espaço seguindo os preceitos modernistas de setorização das cidades em espaços denominados de espaços de trabalho, circulação, e cultivo de corpo e espírito, como foi o caso emblemático de Brasília (HOLSTON, 1993), o modelo que se impôs foi o da sensível verticalização dos edifícios que formam aglomerados de usos mistos, favorecendo a formação de *clusters*, células produtivas locais para a produção e rápido escoamento de matéria-prima e produtos.

A primeira metade do século XX foi marcada pelos grandes avanços científicos e pelo surgimento das “maravilhas tecnológicas” em todos os setores do conhecimento humano. Para o homem, tudo podia ser realizado pelo intelecto humano, e os recursos naturais eram considerados permanentemente disponíveis e inesgotáveis (GALAFASSI, 1996). Este desenvolvimento norteado pela lógica determinista é reforçado pela sedimentação desta visão por vários setores sociais: jornalistas, acadêmicos, artistas e escritores faziam o ser humano sonhar ante as visões futuristas de um porvir dominado pelas facilidades tecnológicas (MARX; SMITH, 1996).

Entretanto, a euforia e a confiança iniciais na natureza positiva e benéfica da evolução tecnológica vão enfraquecendo frente à desilusão trazida pelo período pós-guerra. Este mal estar se intensifica com a divulgação dos primeiros resultados de estudos acerca dos impactos ambientais causados pela extração desenfreada de recursos, do despejo indiscriminado de subprodutos industriais em meios naturais, e das consequências do consumo exacerbado de produtos industrializados. Frente a este panorama de incertezas, iniciam-se os questionamentos acerca do modelo de desenvolvimento vigente e seus desdobramentos, que se articulam nos anos 50 e explodem na forma de movimentos sociais contra culturais nos anos 60. Movimentam-se dialeticamente neste período movimentos antagônicos de apologia e recusa à tecnologia.

A Segunda Guerra Mundial impulsionou o avanço no campo técnico-científico, e o término da guerra permitiu a aplicação de muitos destes conhecimentos adquiridos na posterior reconstrução dos países envolvidos no conflito. Paralelamente, as novas tecnologias aliadas à industrialização intensa que se seguiu proporcionaram o ambiente ideal para a consolidação de uma economia estável. Conforme Suga (2005, p.21) “de certo modo, a industrialização intensiva proporciona uma maturação na construção de cidades e um adensamento necessário nos centros urbanos das grandes metrópoles”. Desta forma, o capital disponível pela intensiva industrialização e comercialização de bens ocorrida no pós-guerra colaborou no processo de maciça reurbanização que se seguiu.

Neste contexto, surge na arquitetura o movimento modernista, adotando a extrema racionalização de técnicas e materiais construtivos. Em raciocínio similar à lógica de produção industrial em massa da época, as construções são encaradas de acordo com a definição de Le Corbusier como “máquinas de morar”.

Essas habitações eram um produto produzido e reproduzido em larga escala nas mais diversas condições, e deveriam atender a critérios de eficiência, economia, simplicidade, elegância, com uma forma clara de acordo com sua função. Como os projetos modernistas permitiam rapidez na construção, seu impacto nas cidades foi devastador, com centros históricos sendo destruídos para dar lugar a estruturas de concreto e aço pré-fabricadas. Segundo Roaf, Crichton e Nicol (2009), o que Le Corbusier, arquiteto expoente do movimento modernista não previu, ou talvez não de forma explícita, foi a necessidade de a habitação oferecer conforto em todas as

estações do ano e proporcionar gastos baixos com consumo de energia e manutenção, além de satisfazer fatores psicológicos relacionados à sensação de segurança e privacidade.

Le Corbusier produziu vários escritos acerca de sua proposta para uma arquitetura moderna. Em 1926, desenvolve seus “Cinco Pontos para uma Nova Arquitetura”. Roaf, Crichton e Nicol (2009, p. 241) os citam da seguinte forma:

1. Os pilotis elevam a massa da edificação do solo.
2. A planta livre, obtida da separação das colunas portantes das paredes que dividem os espaços.
3. A fachada livre, o corolário da planta livre no plano vertical.
4. As longas janelas de correr em fita.
5. O jardim de cobertura, devolvendo à casa a área de solo perdida.

Os autores avaliam que, dos cinco pontos, apenas o quinto contribui de forma positiva ao conforto da edificação, pois utilizar um jardim como cobertura pode reduzir a carga térmica absorvida, proporcionando algum conforto em determinados tipos de clima. Entretanto, elevar a edificação é desconectá-la do solo e de suas temperaturas estáveis, além de deixar uma sexta face exposta ao clima instável da atmosfera. Aumentar as plantas arquitetônicas deixando-as profundas leva ao uso de sistemas de condicionamento de ar consumidores de energia, pois a ventilação natural só é obtida em plantas relativamente estreitas. A troca das tradicionais paredes externas de grande espessura e elevada inércia térmica por fachadas livres que isolam o interior do exterior apenas por uma fina lâmina de vidro expõem o usuário a qualquer variação climática externa, impondo ônus com o consumo energético para climatização. E a utilização de janelas longas em fita e de correr dificulta o uso de janelas de abrir e a possibilidade de conexão entre o clima externo e interno.

Em relação ao acesso solar, os prédios resultantes da aplicação da estética modernista, que perdura ainda por vezes nos dias atuais, apresentam sérios empecilhos, pois quanto maior a altura de um edifício, maior será a sombra que será projetada nos prédios ao seu redor. Estes prédios de grande envergadura podem assim sombrear áreas imensas da cidade:

se um prédio estiver próximo de uma torre, ele ficará na sombra durante a maior parte do ano, mas, se estiver longe, talvez este problema ocorra apenas durante um período do dia, embora seja possível que este seja justamente o momento em que o sol seria mais bem vindo (ROAF, CRICHTON, NICOL, 2009, p. 272).

Quanto à iluminação no interior dos prédios comerciais, os indivíduos que ocupam os postos de trabalho que estão próximos aos fechamentos envidraçados são expostos ao ofuscamento causado pelo excesso de iluminação provocado pelo dimensionamento inadequado das aberturas; assim, as persianas ficam sempre cerradas e todos os postos de trabalho são privados do contato visual com o exterior, da ventilação natural e da luz natural, tendo de contar com mecanismos de iluminação artificiais para desenvolver suas atividades de forma minimamente salutar.

A radiação solar passa pela pele de vidro destes edifícios e, tendo sido absorvida e reemitida, muda seu comprimento de onda, que não consegue mais fazer o caminho inverso pelo vidro, num comportamento similar ao efeito estufa. A leveza das envidraçadas e delgadas torres de aço resultam assim em construções de baixa massa e conseqüentemente baixa inércia térmica, situação que prejudica seriamente seu desempenho térmico. Um exemplo extremo deste comportamento térmico são edifícios de vidro presentes em locais do Oriente Médio onde, conforme relatam Roaf, Crichton e Nicol (2009), já houve registros de temperaturas internas superiores a 60 ou 80 °C.

O resultado da utilização em conjunto de estratégias arquitetônicas modernistas são edificações cuja ocupação só é possibilitada, em geral, pelo uso de ar condicionado. Somente pelo surgimento e pela utilização deste artefato tecnológico, alimentado por fontes de energia não renováveis, é que foi possível a consolidação do paradigma do “edifício moderno”. As primeiras tentativas de se produzir edifícios com condicionamento do ar ocorreram no Reino Unido e nos Estados Unidos em 1890. A partir de 1930, estes sistemas se popularizaram entre os prédios norte-americanos, e por volta de 1940 os melhores hotéis já disponibilizavam a climatização artificial em seus ambientes aos seus hóspedes (ROAF; CRICHTON; NICOL; 2009).

Enquanto se considerava que as fontes de energia disponíveis eram inesgotáveis, cidades inteiras eram compostas por edifícios que consumiam quantidades espantosas de energia. Entretanto, a arquitetura modernista passa por

um processo de desgaste a partir dos anos cinquenta do mesmo século. Seu enfraquecimento foi um reflexo da difusão indiscriminada e em larga escala de sua linguagem formal, que prima pela abstração das formas geométricas. Seus elementos esvaziados de significados éticos e regionais evidenciam sua incapacidade de proporcionar níveis satisfatórios de usabilidade e de conforto para seus usuários, gerando “uma infinidade de construções impertinentes, sob todos os pontos de vista” (PRADO, 2006, p.11). O chamado Estilo Internacional, surgido como um sub-movimento do modernismo, planta no imaginário humano a imagem de gigantescas torres de aço, concreto e vidro como os arquétipos de um urbanismo pontuado pela sofisticação dos artefatos tecnológicos e que poderia ser reproduzido em qualquer lugar do planeta.

Esta concentração e padronização das construções, particularmente nos centros urbanos, transformaram os edifícios em espaços sem relação com a escala humana, isolados do exterior e desligados de seu contexto local. Um sentimento de insatisfação geral paira sobre arquitetos do período, sendo ilustrado nesta passagem de Fry (1982),

Embora membro ativo do movimento arquitetônico dos anos 30, nunca fui um colaborador completo da indústria. Sempre encarei a máquina mais como uma fatalidade do que uma oportunidade, e à medida que o período de pós-guerra se desenrolou, minha apreensão cresceu tão intensamente que passei a perguntar-me, temeroso, se tal colaboração era possível ou salutar, ou de qualquer modo em que termos ela poderia ser possível e que tipo de considerações poderiam modificá-la (FRY, 1982, p.112).

Os ideais modernistas passam a ser criticamente analisados a partir dos anos sessenta por arquitetos, urbanistas e engenheiros. Esta reflexão estende-se para o restante dos atores sociais e amplia-se, já que o desenvolvimento da ciência e da tecnologia contraditoriamente dá mostras de sua insuficiência em garantir a predição e o controle dos riscos envolvidos na utilização de cada novo artefato tecnológico. A convivência com esta constante insegurança caracteriza uma sociedade de risco, conforme definição de Beck (1998, p.5), que afirma que nesta os riscos são híbridos, sendo “produzidos industrialmente, externalizados economicamente, individualizados juridicamente, legitimados cientificamente e combinam ética, matemática e tecnologias”.

Na arquitetura, as consequências do risco recaem imperativamente no usuário, que tem a habitabilidade comprometida, não raro tornando-a impraticável. Em prédios onde as noções de conforto ambiental e climatologia urbana são negligenciadas ainda durante a fase de projeto, o conforto do usuário só é garantido à custa da presença de sistemas dispendiosos e complexos para controle das variáveis climáticas. A citação de Prado (2006) mostra-se elucidativa e demonstra de forma pontual esta perspectiva:

A grande maioria das construções são quentes quando deveriam ser frescas, geladas quando deveriam armazenar calor, mal ventiladas em lugares úmidos, abertas aos ventos em lugares descampados, quase sempre absolutamente inapropriadas à realidade do lugar em que se inserem. O convívio forçado dos usuários destas edificações com o calor ou o frio excessivos, com as goteiras, com o mofo, e a conseqüente necessidade de utilização de aparelhos de ar condicionado, calefação, umidificação, desumidificação (...). Isso se agrava se considerarmos além do fracasso destas construções como arquiteturas adequadas, também a forma como aumentam a demanda por energia elétrica num país onde esse bem tem se tornado cada vez mais escasso. A arquitetura média das grandes cidades brasileiras hoje é, portanto, energívora exatamente por sua impertinência do ponto de vista climático e ambiental (PRADO, 2006, p. 12).

Conforme dados de Lamberts, Dutra e Pereira (1997), 42% da energia total consumida no Brasil têm como destino a alimentação de edifícios públicos, comerciais e residenciais. Entretanto, Roaf, Crichton e Nicol (2009) afirmam que atualmente as edificações consomem mais de 50% de toda a energia gerada mundialmente, produzindo mais da metade das emissões responsáveis pelas mudanças climáticas. Relatam ainda que, nos Estados Unidos, o condicionamento do ar é responsável por 30% a 40% de toda energia consumida em edificações, resultando que, de toda energia consumida neste país, 20% se destinam à alimentação de sistemas de ar condicionado.

Assim, a sofisticação de materiais e técnicas construtivas proporcionou uma desvinculação do edifício ao clima. No entanto, para custear seu isolamento das variáveis climáticas, o ser humano torna-se dependente de fontes não renováveis de energia. Esta é essencial para alimentar mecanismos de controle de ganhos térmicos com aparelhos de ar condicionado, e para proporcionar níveis satisfatórios de iluminação em ambientes que são impossibilitados de se utilizar da luz natural, tanto pela ausência desta no ambiente, quanto devido à iluminação deficiente causada pela utilização de persianas para evitar o ofuscamento.

2.1.4 Acesso Solar: Recomendações Edilícias

A tendência ao forte adensamento nos centros urbanos é notada mundialmente, como consequência direta do significativo aumento populacional. Conforme dados das Nações Unidas (2008), a população mundial em 2008 atingiu um marco histórico: pela primeira vez na história a população urbana se igualou à população rural, e na sequência, a população urbana passou a ser maioria. Este fato ocorreu devido à rápida urbanização ocorrida nas últimas décadas, especialmente nas regiões menos desenvolvidas. Entre 2007 e 2050, a população mundial aumentará em 2,5 bilhões, passando de 6,7 bilhões para 9,2 bilhões. Ao mesmo tempo, projeta-se que a população que vive em áreas urbanas ganhe 3,1 bilhões, passando de 3,3 bilhões em 2007 para 6,4 bilhões em 2050. E este contingente populacional adicional terá de ser acomodado no já esgarçado tecido urbano das grandes cidades.

Dentro desta dinâmica, os edifícios conhecidos como “arranha-céus” despontam na malha urbana como uma possibilidade de modelo ocupacional. Estes gigantes de vidro e aço tornam-se parte da solução vigente adotada para a acomodação da população crescente.

Pela sofisticada tecnologia e materiais de última geração utilizados em sua construção, tornam-se símbolos de poder econômico, referência geográfica, e colaboram na criação da identidade das cidades, reaproximando o ser humano de seu sonho idealizado de “construir uma torre que chegasse ao céu ou edificar construções altas que detivessem uma conotação de reaproximação com o divino” (SUGA, 2005). A especulação imobiliária também contribuiu para a consolidação deste modelo de ocupação, garantindo lucros consideráveis com a produção e venda de imóveis nestes centros.

Entretanto, a decadência dos paradigmas do Estilo Internacional enfraqueceu sua prática. Posteriormente, com a crise do petróleo ocorrida na década de 70 do século XX, o pensamento balizador das decisões projetivas na construção de edifícios e cidades pouco a pouco se modificou, passando a considerar questões relativas à reciclagem de materiais, à economia de recursos não renováveis e à adaptação da edificação às características climáticas e morfológicas locais.

Paralelamente ao movimento de surgimento, disseminação e crise do modernismo, ocorrem estudos e o surgimento de legislações específicas para a ordenação urbana, de forma que esta propicie o acesso solar nas edificações. Em resposta às recomendações frequentemente pouco relacionadas a aspectos climáticos e topográficos do local, e que se constituem na maioria das vezes na mera repetição de fórmulas e recomendações genéricas tradicionalmente praticadas, são realizadas algumas iniciativas por parte de pesquisadores, acadêmicos e órgãos públicos a fim de estabelecer condições mais racionais de ocupação. Nestes estudos são relacionados parâmetros como afastamento entre edificações, altura máxima, e recuos frontais e laterais.

A ocorrência de extensos corredores sombreados nas cidades, oriundos da formação dos cânions urbanos pelos edifícios de grande envergadura trouxe à tona a necessidade de uma revisão em seus parâmetros de ocupação.

As primeiras iniciativas neste sentido ocorreram entre 1870 e 1880 na cidade de Manhattan. Após diversos embates entre poder público e proprietários particulares que se viram destituídos de seu direito ao acesso solar pelo sombreamento imposto pelos arranha-céus vizinhos, é instituído em 1885 pela legislatura de Nova York um limite para a altura de prédios residenciais que fossem construídos a partir de então. A legislação determinava uma altura de 70 pés²⁵ para prédios situados em ruas mais estreitas e 80 pés²⁶ nas ruas mais largas e nas avenidas (FORD²⁷, citado em MONTGOMERY, 2003).

Esta legislação foi revista em 1901 pelo Ato de Habitação. Ele previa novas restrições para a altura dos edifícios residenciais: estes não poderiam exceder mais de 50% da largura da rua. Assim, os novos prédios de ruas com 80 pés tiveram seu limite de altura reduzido de doze para dez pavimentos, enquanto nos prédios locados em avenidas com 100 pés²⁸ de largura ainda puderam ser construídos com 12 pavimentos (MONTGOMERY, 2003).

²⁵ 21 metros.

²⁶ 24 metros.

²⁷ FORD, J. *Slums and Housing. (with special reference to New York City): History, Conditions, Policy.* Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1936.

²⁸ 30 metros.

Uma relevante experimentação acerca do acesso solar foram as recomendações de Walter Gropius²⁹. O arquiteto defendia a ideia de que os *Zeilenbau*, edifícios modernistas alemães típicos, caracterizados como barras de altura média a grande, orientados em fila ou linha orientada para o sul para a captação dos raios solares, tivessem alturas entre 8 a 10 pavimentos. Estas recomendações eram resultado de uma reflexão acerca da necessidade de exposição à iluminação natural, derivadas dos ângulos de incidência solares e de distâncias ótimas para afastamento entre os edifícios. O pensamento de Gropius relativo à necessidade de aumento do distanciamento conforme se incluía mais pavimentos fica evidenciada na passagem de uma palestra proferida por ele em 1930³⁰, citada em Eskinazi (2007):

nestes casos, no 10° ou 12° pavimento de uma torre habitacional, também os moradores do pavimento térreo podem ver o céu! Ao invés de abrirem-se para um corredor de 20m, as janelas revelam áreas verdes de 100m de largura, que auxiliam na circulação de ar puro e oferecem espaços para as crianças brincarem. (GROPIUS, 1979, p.96).

Para Gropius, quanto maiores as torres residenciais, mais ganhos com espaços livres verdes e de lazer os usuários poderiam usufruir. Estes argumentos claros e simples foram proferidos pelos urbanistas durante as décadas de 1920 e 1930 na Europa, e eram promessas para a solução de problemas sociais, espaciais e estéticos das cidades modernas, sendo exportados da Alemanha para outras cidades européias e para os Estados Unidos.

Pouco a pouco, a questão do acesso solar passou a ser incorporada em legislações edilícias específicas como ferramenta para promover a salubridade dos espaços urbanos, e para o aproveitamento na produção de energia solar.

Nos Estados Unidos, várias localidades desenvolveram legislações próprias acerca do planejamento urbano visando ao acesso solar, baseados em conceitos do

²⁹ Arquiteto alemão (1883 - 1969), fundador da Escola alemã Bauhaus, marco da arquitetura e design modernos. Posteriormente, foi também diretor do curso de arquitetura da Universidade de Harvard.

³⁰ GROPIUS, Walter. Flach-, Mittel- oder Hochbau? Palestra proferida no III CIAM em 27 jan. 1930, em: **CIAM, Dokumente 1928-1939**. Stuttgart: Martin Steinmann, 1979.

envelope solar. A Califórnia possui o *Solar Rights Act* de 1978, que estabelece a criação de mecanismos que propiciem o recebimento da luz solar para os sistemas de captação de energia solar (ANDERS; GRIGSBY; KUDUK; 2007).

Em Boulder, Colorado, os *Solar Access Regulations* garantem o acesso à luz solar para proprietários de edifícios. As diretrizes fixam limites de sombreamento para as novas construções. Elas preveem a proteção ao acesso solar por quatro horas em 21 de dezembro, data do solstício de inverno no hemisfério norte. São determinadas três zonas diferentes para a cidade, cada uma com disposições diferentes para projeções máximas de sombra, conforme o tipo de ocupação (BOULDER, 2006).

Castro Pérez (2007) relata que a cidade de San Diego oferece isenção de taxas tributárias para os usuários que utilizam seu acesso solar para a produção de energia, e na cidade de San José a quantidade de sombra sobre uma edificação determina seu nível de acesso solar, limitando o sombreamento de uma estrutura ou vegetação que seja vizinha. Este sombreamento não deve exceder 20% da área total de paredes voltadas para o sul, ou 10% para aberturas voltadas para o sul, ou então uma área de no máximo 1,86m², às 12h00 do dia 21 de dezembro.

Hong Kong, cidade chinesa que possui 7,5 milhões de habitantes, apresenta uma densidade populacional de cerca de 50.000 hab/km², um nível nunca alcançado por outra cidade do mundo até então. As construções preveem uma ocupação de cerca de 3000 pessoas por hectare, o que demanda um adensamento intenso, com alguns edifícios possuindo de 40 a 80 andares, construídos muito próximos uns aos outros. Para o controle deste adensamento, o Departamento de Planejamento de Hong Kong trabalha com um sistema de controle de altura, resultando em torres semelhantes em envergadura (NG, 2005). Assim, evita-se que ocorra sombreamento entre as edificações.

A primeira experiência relativa à obrigação do uso de sistemas de aquecimento solar em edificações ocorreu em Israel, em 1980. Israel localiza-se na latitude 30° N, onde a radiação solar incidente anual é abundante. Os recursos energéticos naturais não renováveis do país são escassos, e a energia elétrica do país é obtida por combustíveis derivados do carvão, que é importado, e do petróleo. A crise energética ocorrida em 1974 deu início a uma série de projetos inovadores relacionados à utilização de energia solar por iniciativas privadas e governamentais.

Alguns dos mais relevantes foram realizados pelo setor privado na produção de energia elétrica no Mar Morto, e para a utilização de aquecimento solar com fins industriais ao noroeste do Negev. Em 2002, a capacidade de geração de energia elétrica era de cerca de 6,5 GW, o que representava aproximadamente 1kW/habitante. A necessidade de consumo de energia elétrica tem aumentado desde então, e este aumento é um dos fatores que explicam seu grande interesse pela produção de energia por fontes alternativas, e o pioneirismo do país na utilização de energia solar. Este fato somado à presença de grandes áreas desérticas (cerca de 60% do país) torna o deserto de Negev uma fonte substancial de energia solar que poderá ser explorada em um futuro próximo.

Israel é conhecido por possuir um "inverno quente", pois neste período os dias são quentes, porém as noites apresentam uma queda considerável de temperatura. Isto acontece em localidades como Jerusalém e mesmo no deserto de Negev. O clima é ideal para o emprego do aquecimento solar passivo. A primeira casa solar passiva de Israel foi construída no final da década de 1970 com tijolos de adobe secos ao sol e está localizada no campus de Sde Boqer da Universidade Ben-Gurion. Desde sua conclusão, os princípios do design solar passivo têm sido amplamente adotados pelos arquitetos em todo o país (FAIMAN, 2002).

Em Israel, encontramos a comunidade Neve-Zin, no deserto de Negev, um exemplo atual de utilização de estratégias passivas de condicionamento, baseadas no conceito de envelope solar. Ela localiza-se ao lado da Universidade de Ben-Gurion, Campus de Sde Boqer, de onde grande parte dos ocupantes de Neve-Zin se originam, e foi realizada em conformidade com o plano de desenvolvimento escrito pelo Instituto de Arquitetura e Unidade de Planejamento Urbano no Deserto (PEARLMUTTER, 2000). O deserto de Negev localiza-se ao sul de Israel e seu clima é caracterizado por grande amplitude térmica, por ar seco e céu limpo, e intensa radiação solar. Neve-Zin é constituída por 80 lotes de casas unifamiliares, projetadas para atender às necessidades de conforto de seus ocupantes, com grande atenção para a criação de uma atmosfera propícia para a circulação de pedestres dentro do bairro. As ruas principais que dão acesso à comunidade são orientadas no eixo leste-oeste. Apesar de manter como principal usuário os pedestres, estas ruas são largas o suficiente para acomodar também dois sentidos de trânsito de carros. Esta largura também tem como objetivo proporcionar uma distância entre os edifícios

situados na direção norte-sul, de modo que as fachadas voltadas ao sul desfrutem livremente da radiação solar no inverno, período em que estes apresentam ângulos de incidência menores, quando comparados com os observados durante o verão.

A rede secundária de vias de acesso é composta por passarelas de acesso único a pedestres, com sua maioria alinhada ao eixo norte-sul. Estas passarelas são protegidas da incidência solar de manhã e à tarde no período de verão pelas sombras proporcionadas pelas construções, juntamente com a utilização de pérgulas. Reduz-se assim a utilização de paisagismo e de fontes de água, por razões de ordem ecológica e financeira.

Os lotes individuais são agrupados quatro a quatro e cada lote individual contém um ponto "P" em um dos cantos externos, no qual a futura habitação deve se alinhar. A finalidade deste ponto é incentivar a ocupação de forma tal que as vias públicas sejam definidas pelas paredes de proteção dos edifícios adjacentes, enquanto que o espaço livre resultante por esta ocupação no centro do agrupamento permita livre circulação de ar e incentive a jardinagem particular de cada morador.

O plano do bairro prevê também um mecanismo que garante os direitos de acesso solar a cada morador. Para isso, as alturas das edificações são limitadas em relação à altura solar no período de inverno, restringindo assim as sombras projetadas ao norte. Um plano derivado de uma linha imaginária com um ângulo fixo que nasce na linha de divisa do lote adjacente ao sul (*bulk-plane*) define o volume da construção, garantindo assim que todas as casas tenham acesso solar durante todos os dias de inverno. Nas figuras apresentadas a seguir é demonstrado o comportamento das sombras produzidas pelas edificações, de forma a evitar o sombreamento das construções adjacentes, bem como exemplos da morfologia das construções, que seguem um padrão distinto, de forma que o resultado final seja a harmonização entre as edificações e a paisagem natural (Figura 18). Na Figura 19, é demonstrada a distribuição das vias de acesso no interior do agrupamento, que hierarquiza os meios de transporte, privilegiando a movimentação de pedestres, e a construção do envelope solar que delimita a volumetria total da edificação permitida, de forma a não prejudicar o acesso ao sol pelas construções do entorno.

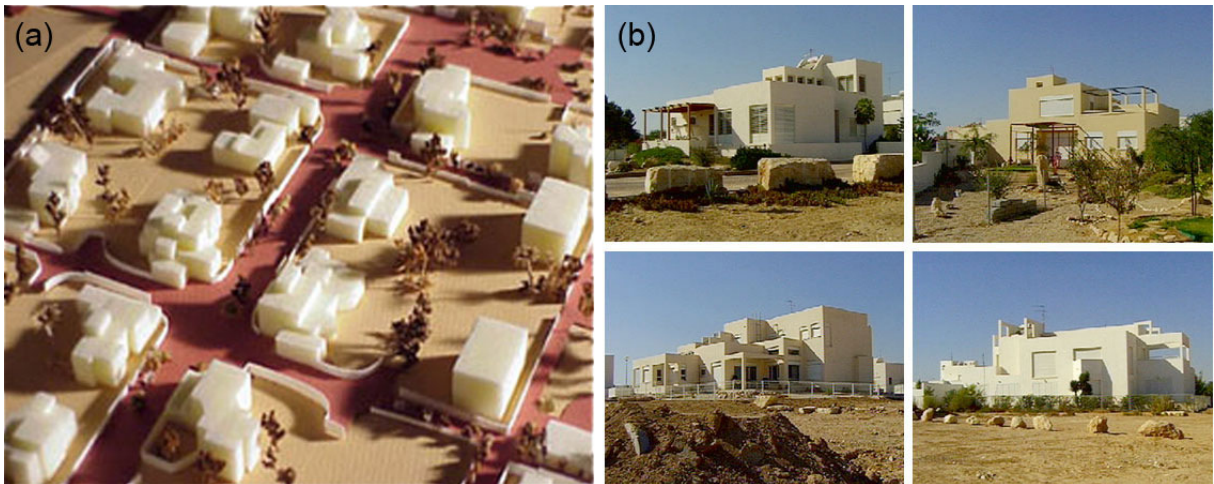


Figura 18 - (a) Maquete da implantação das habitações em Nevezin, Israel. (b) Fotos com vista geral de habitações.

Fonte: Adaptado de Center of Desert Architecture & Urban Planning – Ben-Gurion University, Sde Boqer Campus, Israel. Disponível em: < <http://www.bgu.ac.il/CDAUP>>. Acesso em 24 nov. 2009.

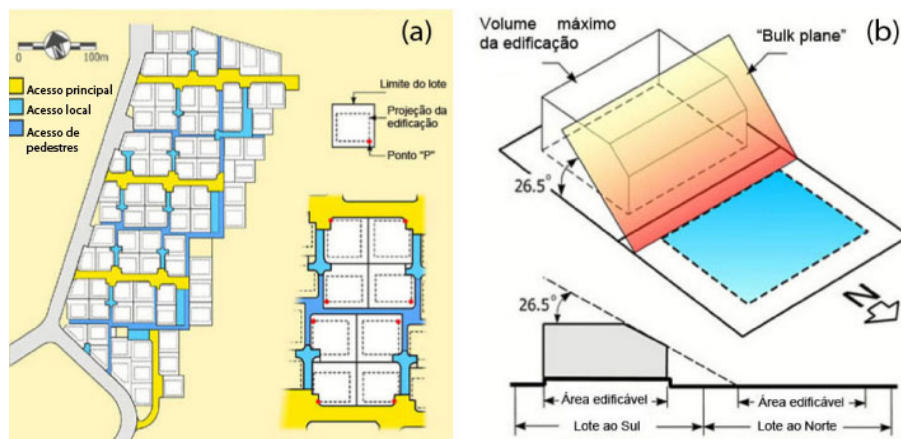


Figura 19 - (a) Disposição das vias de acesso em Neve-Zin, Israel; (b) “Bulk Plane” definindo o volume máximo de edificação.

Fonte: Adaptado de Center of Desert Architecture & Urban Planning – Ben-Gurion University, Sde Boqer Campus, Israel. Disponível em: < <http://www.bgu.ac.il/CDAUP>>. Acesso em 25 nov. 2009.

Motivados pela necessidade de redução do consumo de fontes de energia não renováveis, outras localidades passaram a adotar práticas de exploração da energia solar, como a cidade de Barcelona, na Espanha (1999) e mais 50 outras cidades neste país desde então.

Na Europa também acontecem diversos incentivos às práticas de valorização da energia solar, com ênfase em sua utilização para o aquecimento de água em edificações.

A Iniciativa Européia Cidades Solares³¹ (*EU Solar Cities: Habitats for tomorrow*) visa promover a utilização de energias renováveis no contexto do planejamento urbano sustentável de longo prazo das cidades envolvidas. Propõe metas para a difusão de tecnologias ligadas a energias renováveis pelos próximos vinte anos por parte dos governos.

Freiburg³², Alemanha, é considerada exemplo de Cidade Solar. Localizada ao sul do país, com uma população de aproximadamente 200 mil habitantes, sedia a maior feira de energia solar do mundo, a *Intersolar*.

A origem de sua preocupação com o fator de aproveitamento solar remonta à década de 1980, quando a cidade foi pioneira na Alemanha ao criar um planejamento energético urbano por um período de dez anos, com ênfase na utilização de energias renováveis e na eficiência energética, visando reduzir o consumo de energias não renováveis e favorecer a diminuição de emissão de CO₂.

A prefeitura de Graz, cidade da Áustria com população de aproximadamente 245.000 habitantes, em parceria com diversas entidades criou um plano comunitário de energia (*Communal Energy Plan*)³³. Suas diretrizes preveem programas de treinamento para construtores e projetistas, criação de um centro de referência em tecnologia solar, implantação de sistemas demonstrativos em prédios públicos, e legislação que torna obrigatório o uso de sistemas de aquecimento solar em edificações. Além disto, o município de Graz criou uma Agência de Energia responsável pelo planejamento e financiamento do plano.

³¹ The European Solar Cities Project (EU Solar Cities. Disponível em: <http://sc.ises.org/>. Acesso em: 10 dez. 2009.

³² Freiburg Solar City. Disponível em: http://www.solarregion.freiburg.de/solarregion/freiburg_solar_city.php>. Acesso em: 10 dez. 2009.

³³ Thermal solar energy – Graz (Áustria). Disponível em: <http://www.cidadessolares.org.br/downloads/boas_praticas/graz.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2009.

Eindhoven³⁴, quinta maior cidade da Holanda com uma população de 200 mil habitantes é um centro internacional de energia. O conselho municipal da cidade aprovou em 1994 um plano de energia focado em energias renováveis. Em 1997, foi aprovada uma proposta para promoção de subsídios para instalações de energia solar térmica, acompanhada de uma campanha de promoção para a população. Esta política faz parte de uma maior, que visa à construção de áreas residenciais atrativas como forma de reduzir o êxodo da população urbana para vilarejos em outras regiões. Esta preocupação também está ligada à necessidade de redução de custos com transporte populacional e à redução de níveis de produção de CO₂.

Ballerup³⁵, cidade situada na Dinamarca, possui uma população de 45.000 habitantes e, segundo estimativas, 1750 horas de sol anuais, com temperatura média anual de 7,8°C. É considerada referência desde o início da década de 1980 em assuntos ambientais, pelos diferentes projetos implantados nesta área nas zonas urbanas da cidade, relacionados à área de eficiência energética. Destaca-se o projeto de *Skotteparken*, que em 1994 ganhou o prêmio internacional *World Habitat Award*, implantado em 1992 em uma região urbana que acomoda cerca de 100 apartamentos alimentados por um sistema de aquecimento solar. *Skotteparken* provou ser possível reduzir a demanda de energia elétrica para aquecimento de água e calefação por volta de 50%, quando comparado às construções convencionais.

No Brasil, observa-se que as iniciativas para implementação de legislações direcionadas ao acesso solar são motivadas pela necessidade de racionalização do consumo de energia elétrica. Relacionam-se à regulamentação de práticas relativas à utilização de energia solar em sistemas hidráulicos para o aquecimento de água em edificações.

Em Porto Alegre, foi criado o Programa de Incentivo ao uso de aquecimento solar, com a Lei Complementar n°. 560 de 03 de janeiro de 2007. Esta lei instituiu no município o Programa de Incentivos ao Uso de Energia Solar nas Edificações,

³⁴Thermal solar energy – Eindhoven (The Netherlands). Disponível em:

<http://www.cidadessolares.org.br/downloads/boas_praticas/eindhoven.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2009.

³⁵Solar district heating: Ballerup (Denmark). Disponível em:

http://www.cidadessolares.org.br/downloads/boas_praticas/ballerup.pdf. Acesso em: 10 dez. 2009.

incentivando práticas voltadas ao desenvolvimento de sistemas de aproveitamento da energia solar para aquecimento de água e prevendo incentivos fiscais, bem como a promoção da conscientização da população acerca dos benefícios da energia solar (PMPA, 2007).

Na cidade de São Paulo, a maior cidade do país, e listada entre as dez maiores do mundo, foi sancionada em 3 de julho de 2007 a Lei 14.459, que incorporada ao código de obras do município, obriga a instalação de sistemas para aquecimento de água por energia solar em edificações residenciais, comerciais, de serviço e indústrias.

Cidades Solares³⁶ relata que existem atualmente 26 leis já aprovadas no Brasil, relacionadas à utilização de energia solar, sendo que apenas duas aguardam a finalização do decreto oficial para entrarem em vigor. Apresenta-se a seguir o Quadro 1, que lista as legislações brasileiras que tratam da utilização de energia solar em edificações e sua situação.

³⁶ Cidades Solares é uma iniciativa do DASOL (Departamento Nacional de Aquecimento Solar), ligado à ABRAVA (Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento).

Leis	Projetos/tramitações	Vetados/retirados/arquivados
Vitória	Manaus	Estado CE
Estado GO	Salvador	Campo Grande
Estado MT	Vitória	Estado MG
Belo Horizonte	Goiânia	Belo Horizonte
Juiz de Fora	Estado MG	Curitiba
Varginha	Belo Horizonte	Londrina
Estado PR	Divinópolis	Rio de Janeiro
Estado RJ	Montes Claros	Estado SC
Gramado	Ponte Nova	Estado SP
Porto Alegre	Uberaba	Americana
Americana	João Pessoa	Araçatuba
Assis	Curitiba	Campinas
Avaré	Estado Pernambuco	Hortolândia
Birigüi	Rio de Janeiro	Ilhabela
Diadema	Caxias do Sul	Osasco
Franca	Novo Hamburgo	Santos
Jundiá	Estado SC	Vinhedo
Marília	São José	Vitória
Peruíbe	Araraquara	
Piracicaba	Campinas	
Ribeirão Pires	Ribeirão Preto	
Ribeirão Preto	Santo André	
São Caetano do Sul	São José dos Campos	
São J do Rio Preto		
São Paulo		
Total: 26	Total: 31	Total: 22

Quadro 1 - Situação das legislações referentes à utilização de energia solar para aquecimento de água em edificações no Brasil.

Fonte: Adaptado de Cidades Solares (2009)³⁷.

Em Curitiba, existe atualmente um projeto de lei em trâmite, que trata da utilização de energia solar. É o Projeto de Lei n°. 236/2006 (PMC, 2006), que prevê a instituição de programas de disseminação do uso de energia solar em edificações urbanas. Este seria dado pela concessão de incentivos fiscais para os cidadãos que utilizarem equipamentos de captação de energia solar. O projeto de lei considera a utilização de sistemas de aquecimento solar como uma alternativa bastante

³⁷ Disponível em: < http://www.cidadessolares.org.br/conteudo_view.php?sec_id=10>. Acesso em: 10 dez. 2009.

vantajosa para o aquecimento de água para chuveiros, contribuindo para a diminuição dos impactos sócio-ambientais causados pelo setor elétrico, por substituir a hidroeletricidade e o consumo de combustíveis fósseis. Os aquecedores solares também provocariam vantagens sociais promovidas pela redução de gastos com energia elétrica, e pela geração de novos postos de empregos no setor. Ainda segundo o documento, a proposição da lei representa uma tentativa de alinhamento às diretrizes propostas por diversos encontros, reuniões e convenções de porte nacional e internacional, de cunho ambientalista. São exemplos a Agenda 21 Brasileira (1992), a Declaração do Rio (1992), a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (1992), e o Protocolo de Kyoto (1997).

Um segundo documento jurídico sobre o tema foi vetado, o Projeto de Lei n.º 245/2007. Este tratava da política municipal de combate ao aquecimento global e às mudanças climáticas, tornando obrigatório o uso de sistemas e/ou procedimentos visando à eficiência energética dos imóveis, e criando incentivos para sua utilização. O projeto de lei determinava diretrizes ligadas a políticas de utilização de equipamentos de eficiência energética e de geração de energia distribuída, e a utilização de fontes alternativas de energia, como o sol, os ventos e a biomassa em edificações para usos diversos.

Quanto a edificações de uso habitacional, o projeto de lei determinava que sobre os edifícios residenciais unifamiliares com área igual ou superior a 200m², e sobre os edifícios residenciais ou unidades habitacionais com área construída superior a 500m², recaísse a obrigatoriedade de adoção de equipamentos que possuem eficiência energética para aquecimento de água.

Quanto a fatores ligados ao conforto ambiental, o projeto de lei era vago. Propunha apenas que para refrigeração de ar e iluminação artificial, em projetos de edificações residenciais unifamiliares com área construída igual ou superior a 200m², e para edifícios residenciais ou unidades habitacionais plurifamiliares com área superior a 500m² elaborados após sua entrada em vigor, deveriam ser adotadas "técnicas arquitetônicas que diminuam a necessidade de iluminação artificial e refrigeração artificial de ar" (PMC, 2007, p.3).

Cabe ainda citar uma iniciativa atualmente vigente na cidade para os setores estruturais, que possui como proposta prover a garantia do acesso solar. A Lei n.º 9800/00 do município, que dispõe sobre o zoneamento e uso e ocupação do solo,

estabelece um afastamento entre as edificações, que é determinado pela altura da construção dividida pelo valor de seis ($H/6$). Este critério foi adotado a partir de estudos elaborados pela prefeitura de Curitiba em conjunto com a Universidade Federal do Paraná. Segundo Schmid (2001), esta relação representaria uma fórmula simplificada para o conceito de envelope solar.

2.2 ENVELOPE SOLAR

Por volta da década de 1980, surge o conceito de “envelope solar” criado pelos arquitetos Ralph Knowles e Richard D. Berry, baseado em estudos realizados acerca de estratégias para a incorporação do acesso solar em edificações utilizadas pelos Pueblos, descritos anteriormente.

Acompanhando a tendência da necessidade de um ajuste equitativo da capacidade de produção de energia elétrica com seu consumo, notadamente nos edifícios para condicionamento térmico e lumínico, Knowles (2003) iniciou em 1976 na Universidade da Carolina do Sul (USC), Estados Unidos, os estudos acerca do conceito de envelope solar. Conforme o autor, o envelope solar representa uma alternativa à utilização de energias não renováveis, provocando profunda alteração na percepção do ambiente, e diferenciando a forma com que se julga a estética dos edifícios. Knowles entende a malha urbana e seu entorno como entidades unidas intrinsecamente por relações rítmicas espaço-temporais que as transformam continuamente. Dentro desta dinâmica, o envelope solar é uma construção situada dentro de limites pré-estabelecidos de tempo e espaço, de acordo com as necessidades de insolação do sítio analisado.

A aplicação do conceito de envelope solar como estratégia de projeto tem como resultado a obtenção de edificações que apresentam insolação e iluminação naturais adequadas, conforme as horas de acesso e o tempo de incidência desejado.

O conceito de envelope é apresentado em várias versões, sempre com a manutenção de duas características: são utilizados geralmente em regulamentos de

zoneamento estritos, com a intenção de assegurar os direitos ao sol em futuros movimentos de parcelamento de solo.

A revisão da literatura permitiu o levantamento de três possíveis metodologias para a obtenção do envelope solar, relacionadas também por Grazziotin (2003) e por Castro Pérez (2007). São as sugeridas por Knowles (1981), por Shaviv e Capeluto (2001), e por Pereira e Silva (2001).

A metodologia para obtenção do envelope solar descrita por Knowles (2003) baseia-se na utilização do percurso solar aparente para períodos específicos do ano, quando se deseja ter acesso a determinada quantidade de radiação solar. O envelope solar consiste no máximo volume que pode ser edificado, sem que este prejudique o acesso solar das edificações adjacentes.

O método descrito pelo autor para obtenção do envelope solar consiste na aplicação dos ângulos de altura solar correspondentes às horas de corte (*cut-off times*) selecionadas nos cantos da divisa do lote ou área, determinando o volume final do envelope pelo cruzamento diagonal destes ângulos. Assim, a elaboração do envelope solar leva em consideração os dados geográficos da localidade em que se pretende utilizá-lo.

A aplicação do envelope solar proporciona o controle sobre o surgimento de sombras indesejáveis sobre os limites definidos ao longo das divisas do lote ou área de estudo, denominados barreiras de sombra (*shadow fences*).

As horas de corte determinam o espaço de tempo em que a volumetria proporcionada pelas relativas alturas solares não provocará sombras, permitindo o acesso solar direto. Por conta das alturas solares, os horários para as horas de corte especificadas para períodos no início da manhã e ao final da tarde tem como resultado volumes edificáveis menores que as horas de corte determinadas no final da manhã e início da tarde (KNOWLES, 2003). A Figura 20 apresentada a seguir demonstra a variação que pode ocorrer no volume do envelope solar conforme a diferença das horas de corte e conseqüentemente, da diferença entre os ângulos solares utilizados em sua construção.

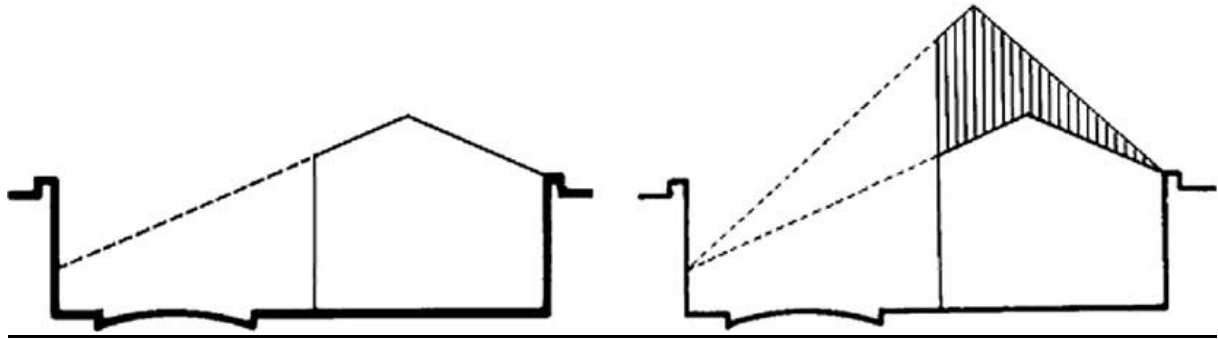


Figura 20 - Limites espaço-temporais do envelope proposto por Knowles, demonstrando a variação do volume de acordo com a alteração dos ângulos solares.

Fonte: Knowles (2003).

Vale destacar outro tipo de controle do acesso solar por meio da manipulação da morfologia da edificação, que é o envelope de luz natural. Este método visa garantir o acesso à luz natural no máximo volume que pode ser construído em determinada área ou terreno das edificações vizinhas, sem que haja necessariamente insolação direta (BROWN; DEKAY, 2001).

Suga (2005) ressalta que a diferença básica entre o envelope solar e o envelope de luz natural é que o primeiro privilegia o acesso solar direto, enquanto que o segundo garante o acesso à luz natural proveniente da abóbada celeste. Frisa-se que, para o trabalho, optou-se pela utilização do envelope solar, com a metodologia adotada por Knowles (2003). Este método foi escolhido pela facilidade de construção do volume do envelope, com a utilização dos ângulos solares definidos pelas horas de corte, quando comparado aos métodos que relacionam não apenas o acesso solar da edificação, mas também o provimento de condições favoráveis à instalação de coletores solares, questão que possui grande importância, especialmente quando se considera o conteúdo do Projeto de Lei 005-245-2007 atualmente em trânsito em Curitiba e anteriormente citado, cujo conteúdo trata da necessidade de exploração de fontes de energia não renováveis, mas que não é o objetivo do trabalho.

O método de Knowles prevê como etapas para a elaboração do envelope solar:

- Levantamento dos dados geográficos da localidade (latitude, longitude).
- Determinação da orientação da fachada (N, E e O).
- Definição das horas de corte (*cut-off times*).

- Levantamento do azimute e da altura solar para o solstício de verão e de inverno.

Como exemplo, descreve-se a seguir a metodologia utilizada para a construção do envelope solar em edificações na cidade de Curitiba, divisa norte, com horas de corte definidas entre as 10h00 e 14h00. A cidade localiza-se na latitude $25^{\circ}31'S$, e longitude $49^{\circ}11'O$. Para esta localização, selecionam-se as alturas solares referentes ao período em que estas estão mais baixas; no caso de localidades do hemisfério sul, isto ocorre durante o período de inverno. Para este método de construção do envelope solar, são adotadas as horas de corte cujas alturas solares são simétricas (07h00 e 17h00; 08h00 e 10h00; 09h00 e 15h00; 10h00 e 14h00, por exemplo).

Para as condições pré-determinadas, os ângulos solares serão os seguintes: para o dia 21 de junho, das 10h00 às 14h00, o azimute será $\pm 33^{\circ}$, e a altura solar coincidentemente também terá o mesmo valor, 33° .

Com estes valores definidos, inicia-se o processo de construção do envelope solar. A Figura 21 apresenta os passos para a construção do envelope solar conforme Knowles.

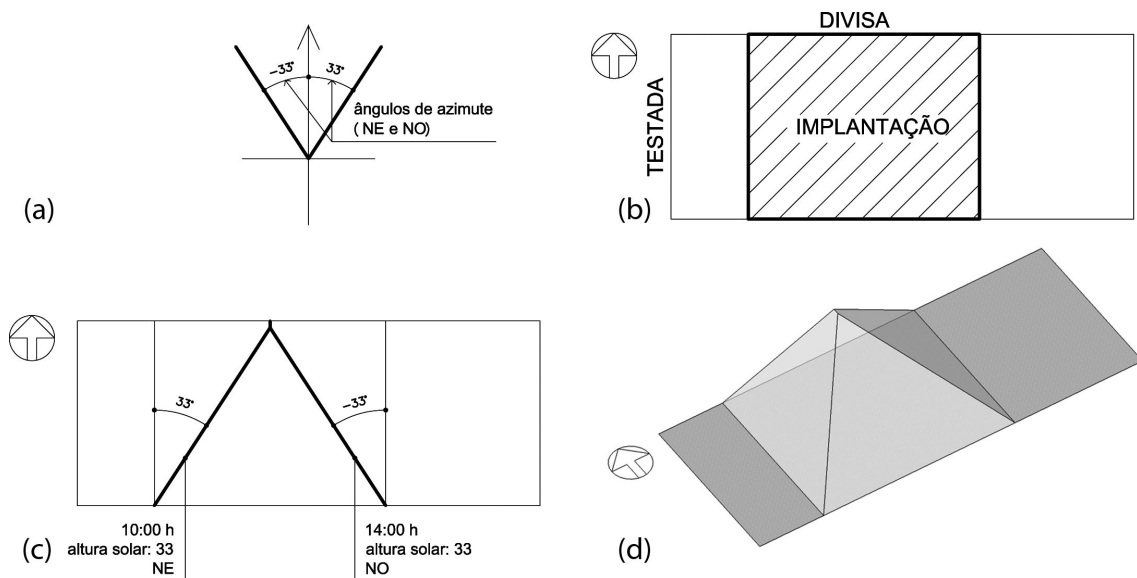


Figura 21 – Construção do envelope solar conforme metodologia de Knowles. (a) determinação das alturas solares; (b) definição da fachada analisada; (c) aplicação dos ângulos solares na área analisada; (d) envelope completo.

Fonte: Pesquisa.

Inicia-se a construção selecionando-se as alturas solares, conforme os parâmetros descritos anteriormente. A seguir, é feita a aplicação destes ângulos nas extremidades do lote; a intersecção dos dois ângulos define a cumeeira. No caso apresentado, como a face oposta aos ângulos é a fachada sul, supõe-se um limite vertical para esta. Com a intersecção dos limites das duas fachadas feita pela linha da cumeeira, obtém-se o volume do envelope solar.

Castro Pérez (2007) realizou um estudo relativo à eficiência dos parâmetros construtivos da cidade de Campinas em prover acesso solar em edificações utilizando o conceito de envelope solar descrito por Knowles. Para isto, os envelopes solares foram concebidos para lotes de edificações construídas em diferentes zonas urbanas com densidades distintas, definidos a partir de dados de latitude, orientação, horas de corte para o solstício de inverno. Com as simulações, foram realizadas análises relativas à insolação e densidade obtidas com o uso do envelope.

As áreas avaliadas foram: Joaquim Egídio, localizada em uma APA (Área de Proteção Ambiental); Barão Geraldo, área denominada de urbanização controlada, o Parque Taquaral, classificada com área residencial, e o bairro do Cambuí. Na Figura 22 a seguir são apresentados os resultados das simulações obtidas no estudo. Com o estudo, Castro Pérez verificou que apenas nas zonas com disponibilidade de terrenos grandes e de pouco adensamento garantiu-se o acesso solar; das quatro análises, apenas a do Conjunto Joaquim Egídio apresentou resultados satisfatórios, ficando as edificações dentro dos limites do volume do envelope solar.

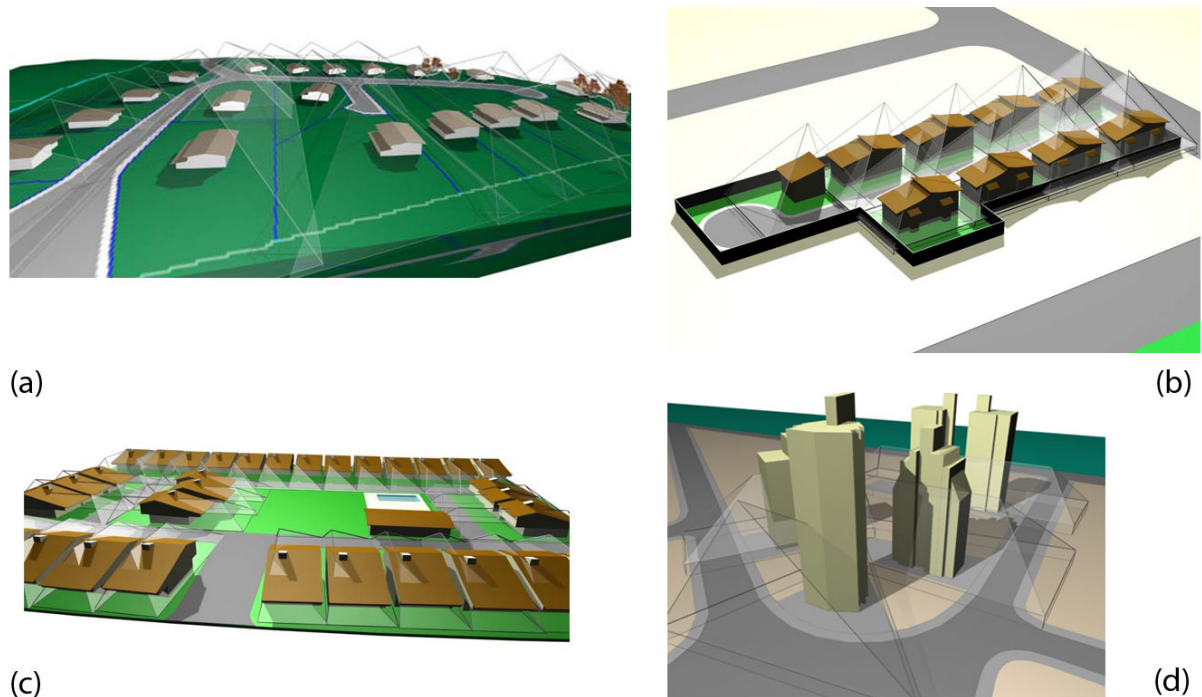


Figura 22 – Resultados de comparativos entre a área construída e a determinada pelo envelope solar: (a) Joaquim Egídio; (b) Barão Geraldo; (c) Parque Taquaral; (d) Bairro do Cambuí.

Fonte: Adaptado de Castro Pérez (2007).

Em Curitiba, Campos (2005) realizou um estudo para análise da relação H/6 adotada pela legislação edilícia da cidade nas Zonas Estruturais. Segundo seus criadores, esta relação teria o efeito de um envelope solar simplificado, com a vantagem de não demandar cálculos geométricos para sua definição. Foi feito um diagnóstico das características de insolação para os lotes com orientação da testada norte em comparação com os lotes de face sul.

A partir de três variáveis: uso, porte (quantidade de pavimentos) e tipologia em relação à insolação, chegou-se aos índices de ocupação para as duas orientações. Com estes dados, gerou-se um modelo síntese representando tridimensionalmente estas três variáveis.

Finalmente, realizou-se uma análise da incidência de insolação em uma quadra durante o período de inverno, com os parâmetros definidos pela legislação (Lei n. 9800/00), em comparação à legislação anteriormente em vigor, cuja morfologia já estava consolidada. A Figura 23 demonstra os resultados obtidos para as simulações realizadas pelo estudo. Observa-se que a utilização da relação H/6 para definição de futuras ocupações promoveu uma utilização mais racional do

espaço, promovendo o acesso solar e evitando que prédios adjacentes provoquem sombra entre si.

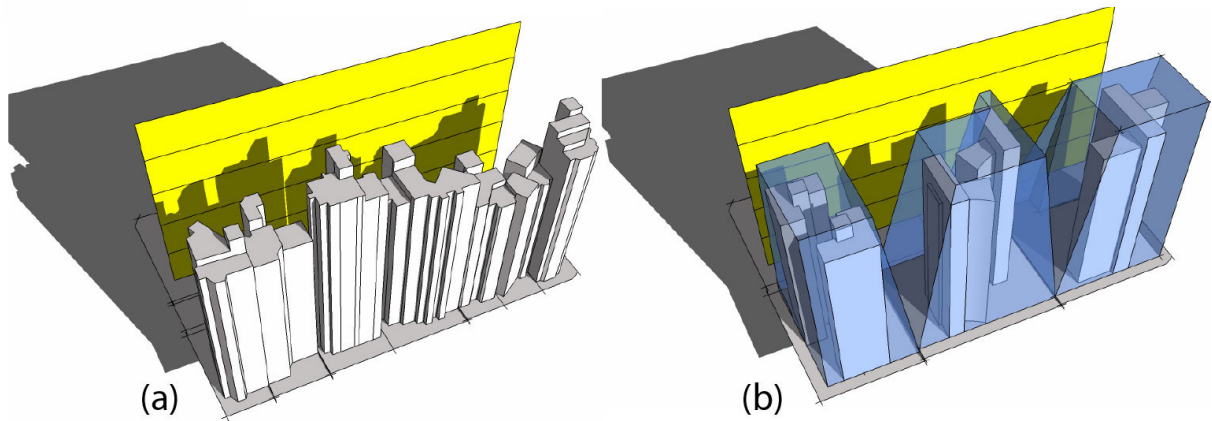


Figura 23 – Edificações situadas nos Setores Estruturais: (a) Implantação atual; (b) implantação conforme relação H/6.

Fonte: Adaptado de Campos (2005).

Como relatado anteriormente, Israel foi o país pioneiro na exploração de sua grande disponibilidade de energia solar como uma opção aos seus escassos recursos naturais. A fim de propiciar o ambiente urbano adequado para a maximização do acesso ao sol, Shaviv e Capeluto (2001) idealizaram um modelo que tem por objetivo permitir a geração e a avaliação das configurações dos edifícios, de forma a preservar os direitos solares de cada prédio vizinho, assim como os espaços abertos entre eles.

Os autores defendem que, durante a concepção do espaço urbano, o projetista lida com diversas variáveis relacionadas à altura, orientação e largura das edificações, bem como a largura dos espaços abertos e das calçadas. Os autores avaliam que cada uma destas variáveis já é complexa por si, tornando especialmente difícil sua avaliação em conjunto.

Para isto, sugerem a elaboração de dois envelopes, o Envelope de Direito Solar (*Solar Rights Envelope - SRE*), e o Envelope de Coleta Solar (*Solar Collection Envelope - SCE*).

O SRE representa as alturas máximas dos edifícios para que não prejudiquem o direito de acesso solar de nenhum dos edifícios existentes em um

determinado período do ano. O SCE apresenta a menor altura possível onde se podem posicionar aberturas como janelas e coletores solares, para que estes não sejam sombreados pelas construções vizinhas, durante o período do inverno. Da intersecção destes dois envelopes obtém-se o Volume Solar (*Solar Volume - SV*), que representa as alturas das edificações para que o acesso solar seja garantido a todas, e para que nenhuma cause ou receba sombreamento.

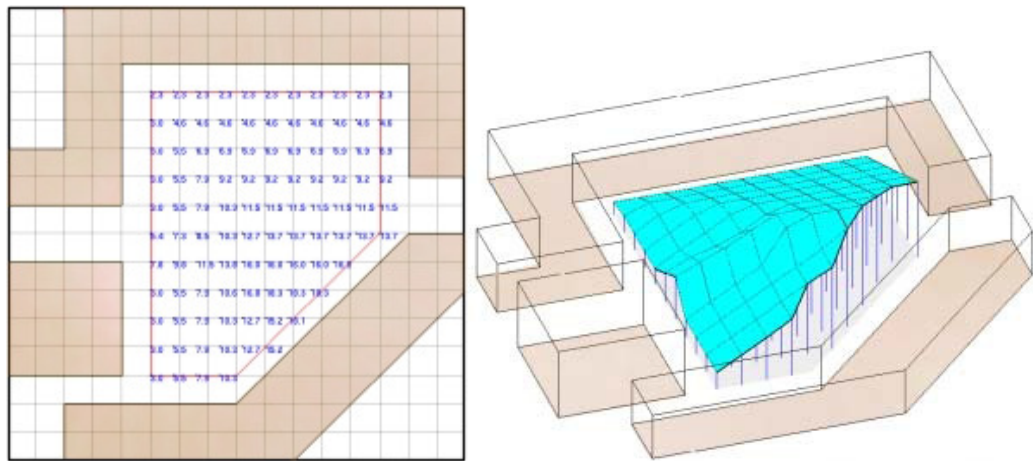


Figura 24 - Exemplo de Envelope de Direito Solar (SRE).

Fonte: Shaviv e Capeluto (2001)

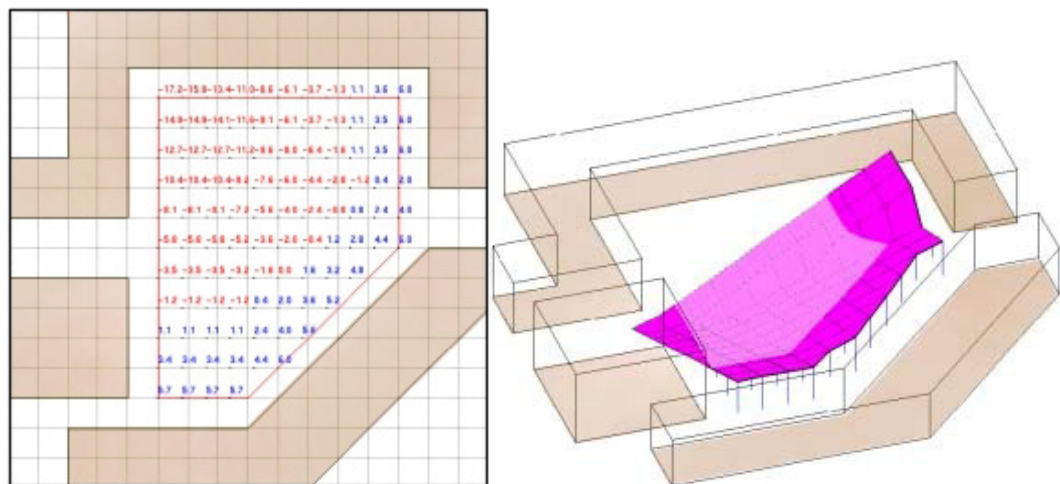


Figura 25 - Exemplo de Envelope de Coleta Solar (SCE).

Fonte: Shaviv e Capeluto (2001).

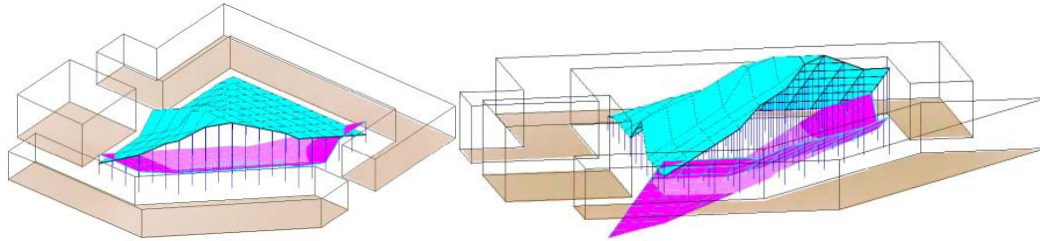


Figura 26 - Exemplo de Volume Solar (SV).

Fonte: Shaviv e Capeluto (2001).

As volumetrias resultantes da aplicação do SER e do SCE em uma implantação hipotética, dão origem ao SV. Este volume, gerado da intersecção dos dois volumes, permite que a orientação e a geometria da edificação promovam o acesso solar para cada edifício e acesso ao sol pelos pedestres que transitam pelas calçadas no período de inverno, e sombreamento para estes no período de verão (SHAVIV; CAPELUTO, 2001). Assim, o diferencial da metodologia apresentada é permitir não apenas o direito solar para edificações em isolado, mas em conjunto, juntamente com a garantia de acesso solar para os coletores solares destinados ao aquecimento de água, exigência prevista em legislação para edificações de Israel. Por levar em conta a altura de cada edifício em relação ao nível do solo, este método pode ser utilizado mesmo em terrenos irregulares.

Shaviv e Capeluto (2001) afirmam que não está claro se há uma condição que satisfaria a ambas as soluções sempre. Por exemplo, quando em um ponto específico a altura calculada para o coletor solar for maior que a altura para assegurar o direito solar. Nestes casos trabalha-se com a possibilidade de que apenas em algumas partes de uma determinada área estudada ambas as condições possam ser satisfeitas.

Em estudo realizado pelos autores (SHAVIV; CAPELUTO, 2001), é apresentado de que forma este conceito é aplicado em um exemplo de ocupação. Os autores utilizaram a metodologia descrita em Shaviv³⁸, onde a altura (h) da construção é determinada conforme a altura de um poste localizado em um ponto (P) da malha que limita a altura, de forma que sua sombra chegue exatamente na

³⁸ Shaviv Edna. A design tool for determining the form of fixed and movable sun-shades. **ASHRAE Trans.**, Atlanta, v.90, n.4, p. 1-14, 1983.

parte mais baixa do limite do prédio vizinho, ou calçada (C). Assim se garante que a altura do ponto P será o máximo permitido, que nunca provocará sombra pelo período determinado. Desta forma, a altura do edifício será o máximo permitido, sem nunca permitir que uma sombra alcance a linha pertencente ao limite do prédio vizinho. A apresentação ilustrada da disposição destes pontos é representada na Figura 27 abaixo.

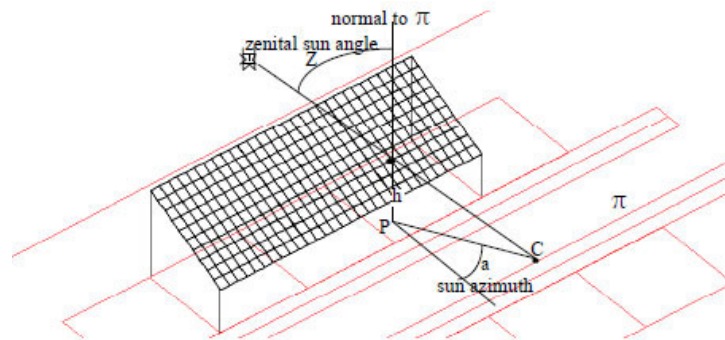


Figura 27 - Determinação da altura do prédio (h) na malha (P), de forma que a calçada no ponto C não seja sombreada.

Fonte: Shaviv e Capeluto (2001).

Yezidoro et al. (2008), baseados no mesmo conceito, realizaram estudo para sugestão de regulamentação específica acerca do acesso solar para Israel, simplificando o conceito de Volume Solar de Shaviv e Capeluto (2001). Para isto, basearam-se inicialmente em três princípios. A Zona Climática, de onde se determina a severidade do inverno e a necessidade de horas ensolaradas; a orientação da elevação da construção que ficará encarregada de captar a carga solar; e a localização do edifício, já que uma insolação maior é possível na periferia da cidade, enquanto que na área central uma densidade maior é necessária, o que faz com que as horas com acesso solar permaneçam, porém um pouco mais restritas.

Com os parâmetros definidos para atender a cada uma das três variáveis, foram definidas as alturas máximas com a utilização de tabelas com as Linhas de Secção Solar (*Solar Section Lines - SSL*). As SSL representam o mais crítico (menor) ângulo solar para o período de tempo desejado. Com a utilização do SSL nos edifícios ao redor da área onde se está avaliando, o acesso solar não será bloqueado durante as horas especificadas. As Figuras 28 e 29 a seguir demonstram

as alturas solares para edificações periféricas e centrais em Tel Aviv, e a volumetria para cada orientação para estas mesmas área.

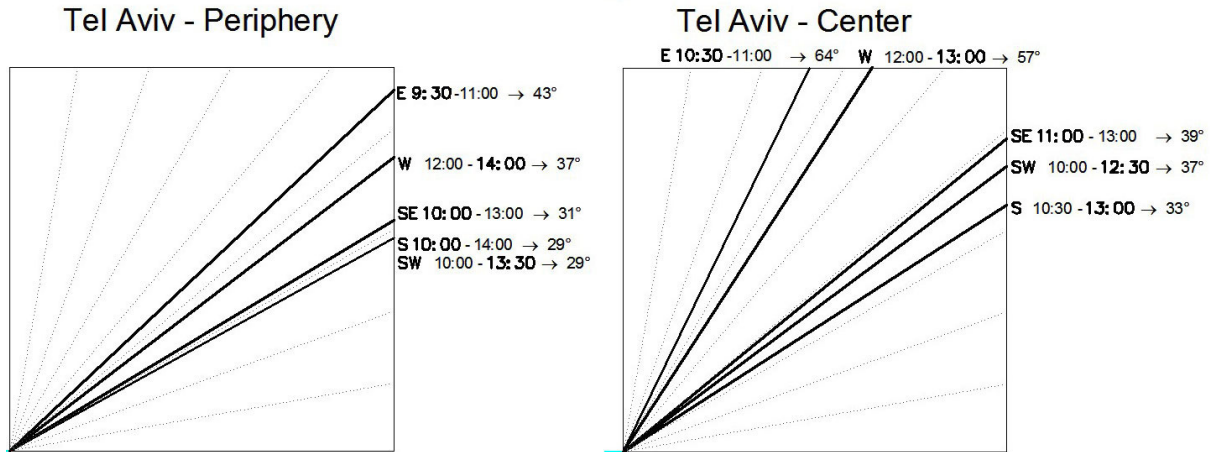


Figura 28 - Ângulos de Linhas de secção solar (*Solar Section Lines - SSL*) para edificações periféricas e centrais de Tel Aviv.

Fonte: Adaptado de Yezidoro et al. (2008).

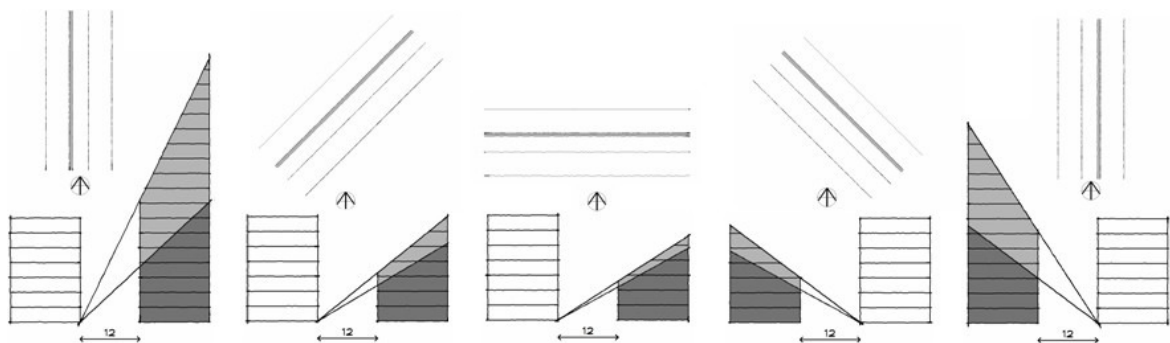


Figura 29 - Alturas para edificações em diferentes orientações de vias para Tel Aviv conforme as Linhas de Secção Solar (*Solar Section Lines - SSL*). Volumes em cinza escuro representam volumes para as áreas periféricas e volumes em cinza claro representam a adição de volume para as áreas centrais.

Fonte: Adaptado de Yezidoro et al. (2008).

Como exemplo da aplicação deste conceito, Yezidoro et al (2008) fazem a análise do acréscimo de densidade urbana obtida em um grupo de edifícios projetados para uma cidade litorânea, com a aplicação das SSL. Os critérios para a ocupação foram: 1. definição dos espaços abertos e das áreas de exposição ao sol; 2. limitação dos edifícios circundantes com a utilização do SSL ao sul; 3. garantia do

direito solar para as calçadas; 4. garantia do direito solar dos edifícios entre si; 5. garantia do direito solar dos edifícios, com a limitação volumétrica das faces que obstruam outras construções.

Após a aplicação das SSL, obteve-se como resultado 324% de densidade, quando a média do plano original era de 197%, representando um acréscimo de 127% e provendo as edificações com acesso solar. A Figura 30 a seguir representa a implantação original e a implantação com a aplicação do SSL.

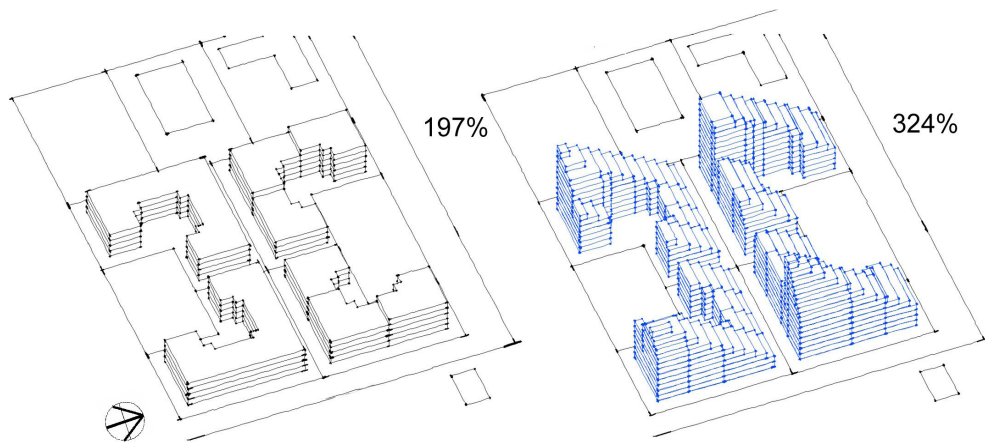


Figura 30 - Comparativo de densidade entre a implantação regular (esquerda) e a que utiliza o plano de direito solar (direita).

Fonte: Adaptado de Yezidoro et al. (2008).

Pereira e Silva (2001) utilizam o processo dos ângulos de obstrução verticais; estes são medidos tendo por referência um determinado nível ou altura de abertura. São aplicados os ângulos nos limites laterais, frontais e de fundos da área em análise, tendo como resultado a formação de planos imaginários cujas intersecções definem o volume do envelope solar.

O critério principal utilizado na abordagem dos autores é o balanço das diferentes necessidades de radiação solar no longo do ano, que pode ser traduzido pelo conceito de "radiação solar desejável ou indesejável". Sendo assim, a aceitação (sol passivo) ou a rejeição (sombra) da radiação solar é uma das principais estratégias utilizadas para controlar a adequação de edificações às condições climáticas. Para isto, são utilizadas três fontes de informação: condições climáticas; necessidades psico-fisiológicas das pessoas sujeitas a variantes relativas ao clima; e

geometria existente, representada pelas relações geométricas de insolação e ambiente construído.

O estado de satisfação ou insatisfação com a radiação solar incidente pode ser representado em um sistema que faz a ponderação da radiação solar relativa às magnitudes entre a temperatura externa do ar e a temperatura neutra. A diferença entre estas duas é revertida em fatores de ponderação, e serão negativos (insolação indesejável) quando a temperatura do ar for mais alta que a neutra, ou positivos (insolação desejável) quando a temperatura do ar for mais baixa que a neutra. A seguir é feita a integração destas informações pelo produto dos fatores de ponderação pelos valores de radiação solar (direta e difusa) para cada fachada ao longo do ano. Os dados obtidos são denominados radiação ponderada, e são projetados sobre um diagrama da trajetória aparente solar para a latitude analisada. Com a realização da somatória destas radiações ponderadas para cada orientação, obtêm-se valores gerais que podem ser interpretados para verificação do máximo de radiação desejada e para o mínimo de radiação indesejada. O método visa excluir do ambiente urbano a radiação indesejável, e aceitar a que é desejável. Como uma otimização completa não é possível, utilizam-se alguns critérios iniciais para a definição dos ângulos a serem respeitados para cada orientação, em cada situação de implantação. Estes critérios são: 1. o equilíbrio positivo da radiação ponderada durante o ano; 2. o equilíbrio positivo nos equinócios; 3. 1h30 a 2h /dia de insolação para o período de inverno (GRAZZIOTIN, 2003).

A definição dos ângulos de obstrução é feita conforme critérios adotados como o período diário de insolação desejado e a orientação da fachada. Com a aplicação dos ângulos correspondentes nos limites do lote ou área definida, obtém-se o envelope solar (PEREIRA; PEREIRA, 1995). A Figura 31 abaixo demonstra um exemplo de aplicação dos ângulos solares para determinação da altura da edificação, e o volume do envelope solar resultante.

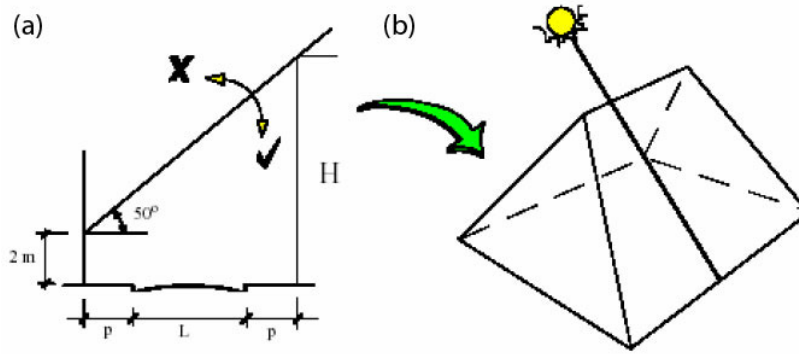


Figura 31- Aplicação de ângulos solares para obtenção do envelope solar. (a) ângulo limitando altura de construção; (b) exemplo de volume obtido pela aplicação de ângulos solares em uma área determinada.

Fonte: Pereira, Nome Silva e Turkievicz (2001).

Este método para obtenção de envelope solar foi utilizado para o estudo realizado por Pereira, Nome Silva e Turkievicz (2001), em um Conjunto Habitacional denominado Panorama, na cidade de Florianópolis. A partir da análise da implantação das edificações existente, foram realizados estudos para verificar a eficácia da mesma na provisão do acesso solar. Os resultados obtidos são demonstrados na Figura 32.

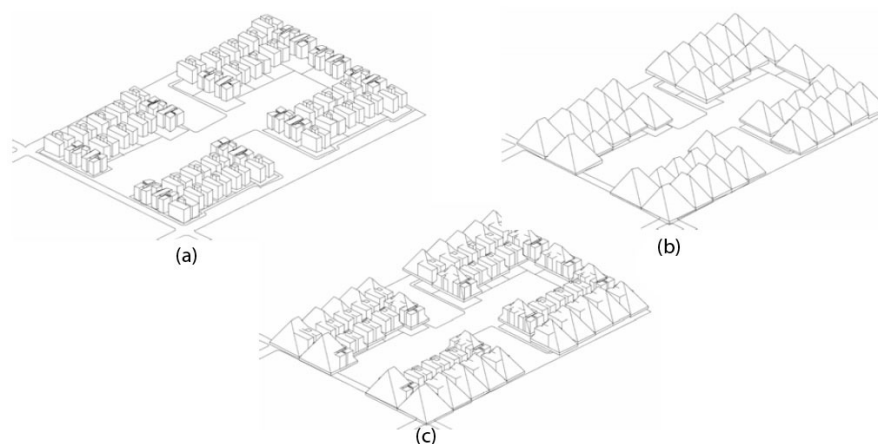


Figura 32 - Utilização do conceito de envelope solar em Conjunto Habitacional localizado em Florianópolis. (a) Implantação do Condomínio; (b) envelopes solares; (c) sobreposição do envelope solar sobre o volume da construção.

Fonte: Pereira, Nome Silva e Turkievicz (2001).

O envelope solar foi calculado a partir dos ângulos de obstrução, com a base apoiada em um plano horizontal paralelo ao solo, distante dele em 2 metros. Conforme se observa pela imagem, quando o envelope solar é sobreposto ao volume das edificações, não comporta a volumetria destas, demonstrando que as mesmas não apresentam características morfológicas que garantam o acesso solar, causando condições inadequadas de insolação e iluminação para as edificações vizinhas (PEREIRA; NOME SILVA; TURKIEVCZ, 2001).

2.3 DADOS CLIMÁTICOS E URBANÍSTICOS DE CURITIBA

As características climáticas de uma região estão diretamente ligadas a fatores denominados estáticos e dinâmicos. Os fatores estáticos são os responsáveis pela quantidade de energia solar que chega à localidade, e relacionam-se a dados como latitude, altitude, e proximidade a grandes volumes de água, como os oceanos. Os fatores dinâmicos são os responsáveis pela sucessão dos estados atmosféricos, e são representados pelas massas de ar e frentes (DANNI-OLIVEIRA, 1999). São relatadas a seguir as características destes fatores para Curitiba, e traçado o perfil climatológico da cidade, bem como as características de insolação e de disponibilidade de luz natural.

São tratadas também das questões relativas ao histórico do planejamento urbano de Curitiba, traçando um breve histórico da trajetória da legislação de uso do solo da cidade, juntamente com a revisão das suas políticas de zoneamento.

2.3.1 Condições Climáticas, de Insolação e de Disponibilidade de Luz Natural

Curitiba situa-se na latitude 25°31'S, longitude 49°11'O, e altitude média de 917m. Localiza-se ao sul do Trópico de Capricórnio, na borda oriental do Primeiro Planalto Paranaense. Limita-se ao norte pela Serra do Açungui, ao sul por grandes extensões planas, a E pela Serra do Mar, e a oeste pela escarpa devoniana de São Luiz do Purunã (COMEC, 2008).

As variações sazonais na temperatura da cidade ocorrem devido às trocas meridionais de fluxos de ar que se individualizam nos centros de ação localizados na América do Sul, sendo quatro os responsáveis pelos mecanismos de troca no Brasil Meridional: o Anticiclone Subtropical do Atlântico, o Anticiclone Migratório Polar, a Depressão do Chaco e a Zona de Convergência Intertropical. Nestes centros de ação são geradas as massas de ar que atuam no Sul. São elas a Massa Tropical Atlântica (TA), a Massa Polar Atlântica (PA), a Massa Tropical Continental (Tc) e a Massa Equatorial Continental (Ec).

No período de inverno, atuam a PA e a TA, que originam a Frente Polar Atlântica, que é acompanhada de nebulosidade e chuvas, diminuição da temperatura, com a formação esporádica de geada. No verão, além das duas massas citadas atuam a Tc, quente e seca, que provoca ondas de calor e tempo bom, e a Ec, que é quente e úmida e gera chuvas.

O verão apresenta temperaturas elevadas (até 35°C) em dezembro, janeiro e fevereiro (sendo este último o mês mais quente), o que proporciona maior quantidade de energia solar disponível, e a atuação dos sistemas atmosféricos intertropicais se intensifica (TA, EC e TC) enquanto que a Frente Polar Atlântica é enfraquecida.

O inverno é rigoroso, com temperaturas mais baixas nos meses de junho, julho e agosto, sendo o mês de junho comumente o mais frio. Neste período, a disponibilidade de energia solar se reduz, e predomina a ação dos sistemas atmosféricos polares (PA), que ocasionam as baixas temperaturas na cidade.

A precipitação é bem distribuída durante todos os meses do ano, com predominância no verão, especialmente nos meses de janeiro e fevereiro. No inverno, a ocorrência de chuva é menor, sendo o mês de agosto o mais seco (DANNI-OLIVEIRA, 1999).

A cidade de Curitiba possui clima subtropical úmido. Neste tipo de clima as temperaturas médias se posicionam normalmente abaixo dos 20°C, e a amplitude anual varia de 9 a 13°C.

De acordo com a Norma NBR 15220 – Desempenho Térmico de Construções, o território brasileiro foi dividido em 8 zonas de acordo com cada tipo de clima, de forma a estabelecer um zoneamento bioclimático brasileiro. Com base nos dados

fornechos por esta divisão, é possível estabelecer recomendações de diretrizes construtivas e estratégias de condicionamento necessárias em cada região.

Curitiba é caracterizada nesta classificação como pertencente à Zona Bioclimática 1, que representa cerca de 0,8% do território nacional. Para esta zona são aconselhadas as seguintes estratégias de condicionamento térmico passivo: o aquecimento solar da edificação e a utilização de vedações internas pesadas a fim de se obter inércia térmica, lembrando que o condicionamento passivo será insuficiente no período mais frio do ano, sendo necessária a complementação com o condicionamento artificial.

Conforme Lamberts, Dutra e Pereira (1997), Curitiba é considerada a capital mais fria do Brasil. Com base no trabalho de Givoni³⁹ com recomendações para países em desenvolvimento, onde os limites máximos de expansão são ampliados considerando-se que os habitantes destes países possuem adaptação às condições climáticas, os autores construíram a carta bioclimática sobre o diagrama psicrométrico, que relaciona dados da temperatura do ar com a umidade relativa, obtendo as nove zonas de atuação relacionadas na Figura 33.

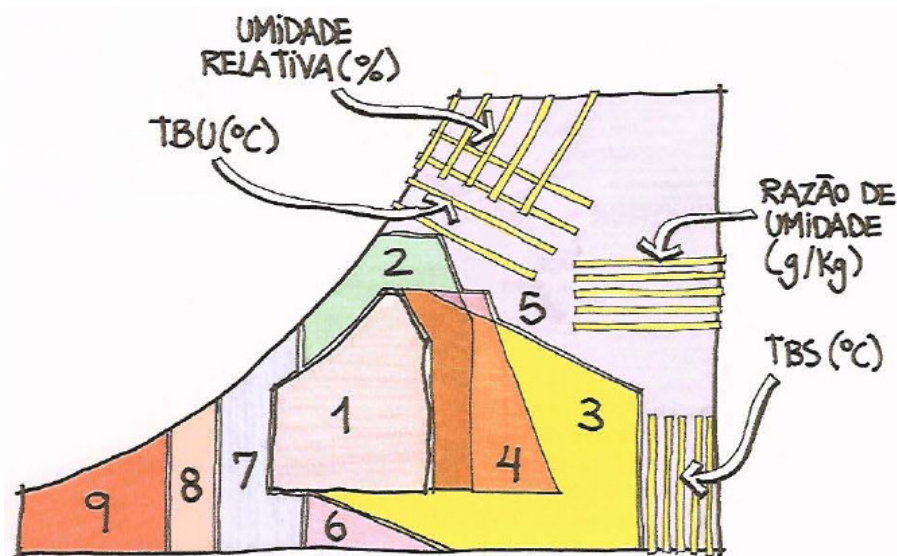


Figura 33 - Carta Bioclimática.

Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (1997).

³⁹ GIVONI, Baruch. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Building**, Lausanne, v. 18, p.11-23, jul.92.

As Zonas numeradas correspondem a:

1. Zona de conforto;
2. Zona de ventilação;
3. Zona de resfriamento evaporativo;
4. Zona de massa térmica para resfriamento;
5. Zona de ar-condicionado;
6. Zona de umidificação;
7. Zona de massa térmica para aquecimento;
8. Zona de aquecimento solar passivo;
9. Zona de aquecimento artificial.

Para a elaboração da Carta Bioclimática, são utilizados os dados climáticos, especialmente a temperatura do ar, obtidos pelo ano climático de referência (*Test Reference Year*) – TRY. Goulart, Lamberts e Firmino (1998) realizaram estudos para determinação do TRY de referência para Curitiba, tendo por base os anos de 1960 a 1970, e obtendo como resultado o ano de 1969.

Recentemente, Rossi, Dumke e Krüger (2009) atualizaram o TRY para a cidade, com a utilização de dados mais recentes, compreendendo os anos de 1998 a 2007. Como resultado, foi obtido o ano de 2001 como o ano climático de referência.

O Gráfico 2 apresentado a seguir demonstra os valores para as médias das médias das temperaturas obtidas mês a mês para os TRY obtidos para cada um dos estudos.

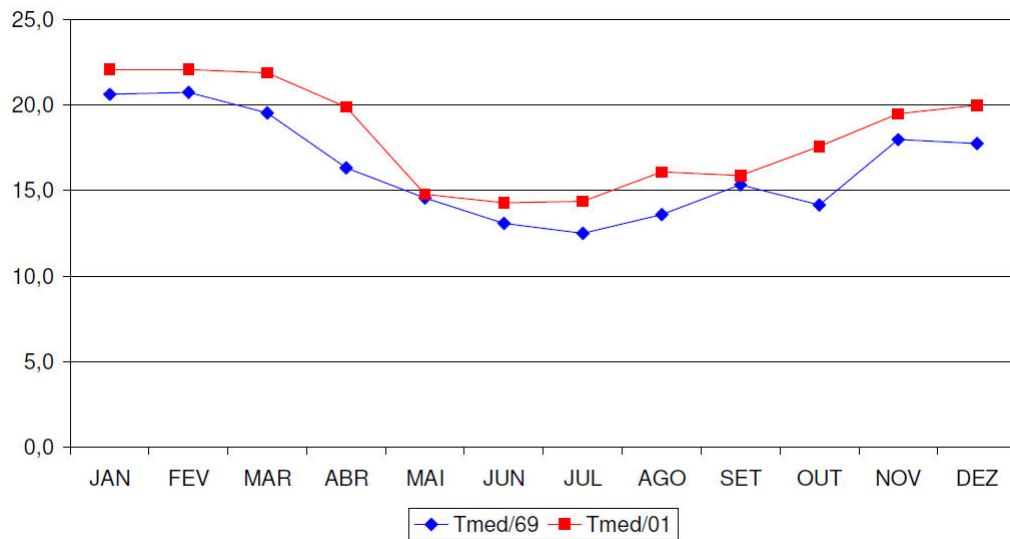


Gráfico 2 - Comparação entre a média das temperaturas médias dos anos de 1969 e 2001.

Fonte: Rossi, Dumke e Krüger (2009).

A comparação entre o TRY 1969 e o TRY 2001 permitiu a verificação do aumento médio da temperatura em 1,9 °C em 32 anos. Segundo os autores, isto pode significar que o desconforto pelo frio em Curitiba ainda persiste, mas que tende a diminuir lentamente com a elevação das temperaturas médias. Entretanto, ressaltam que as alterações climáticas podem acarretar em consequências ainda não previstas.

Com a análise das temperaturas médias mensais obtidas para 1969 e para 2001, verificam-se as estratégias mais indicadas para o inverno se aproximam mais das Zonas 7 e 8, ou seja, massa térmica e aquecimento solar passivo.

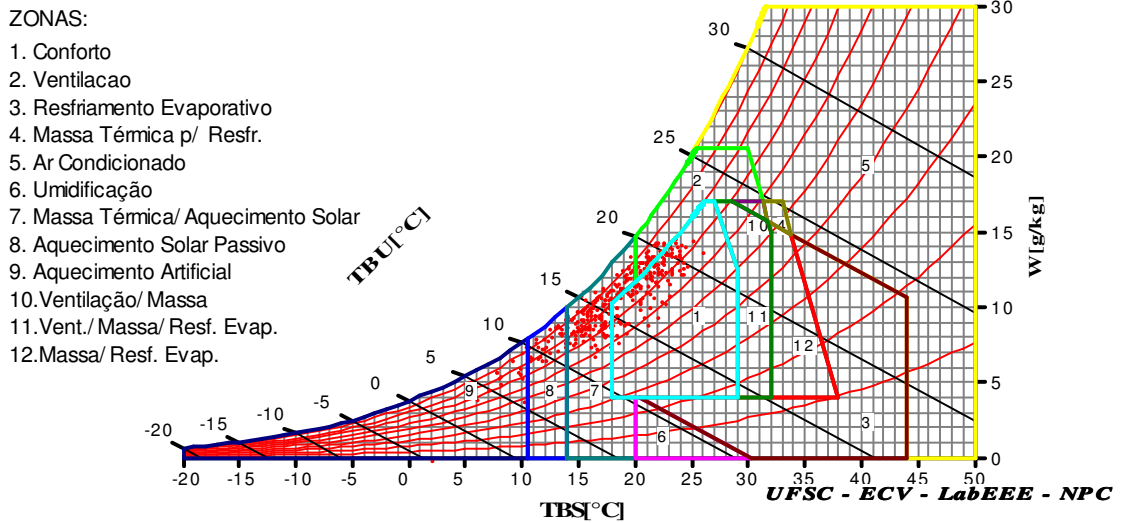


Figura 34 - Carta bioclimática para a cidade de Curitiba, obtida a partir de dados de Rossi, Dumke e Krüger (2009).

Fonte: AnalysisBio (UFSC). Carta Bioclimática elaborada por Francine Rossi.

A Figura 34 apresenta a Carta Bioclimática para a cidade de Curitiba, obtida no software AnalysisBio (UFSC) com dados de Rossi, Dumke e Krüger (2009), e o Gráfico 3 demonstra as porcentagens para cada estratégia bioclimática necessárias para a garantia do conforto na cidade, fazendo um comparativo entre os resultados utilizando o TRY de 1969 (Goulart, Lamberts e Firmino, 1998) e utilizando o TRY de 2001 conforme obtido por Rossi, Dumke e Krüger (2009).

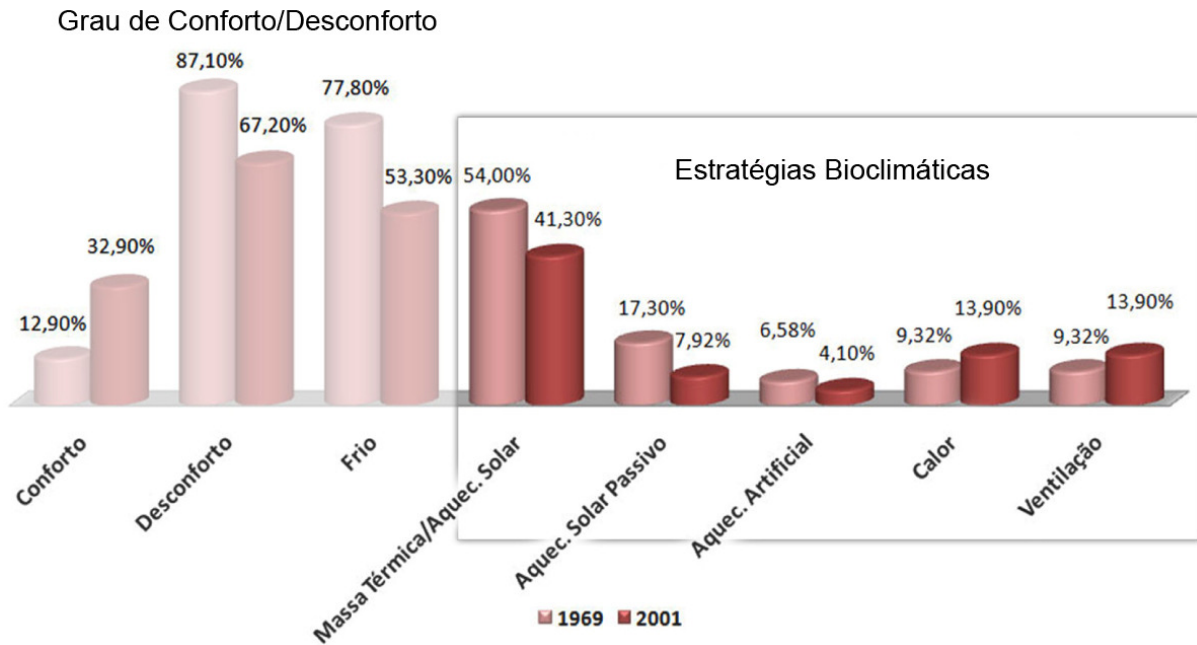


Gráfico 3 - Comparativo numérico entre graus de conforto e desconforto, com respectivas estratégias para os anos de 1969 e 2001.

Fonte: Pesquisa. Dados de Rossi, Dumke e Krüger, (2009).

O aumento da temperatura média possivelmente foi o responsável pelo aumento da necessidade de ventilação, pelo aumento da sensação de calor, e pelo aumento do conforto. Por outro lado, este mesmo fator pode ter contribuído para a diminuição da necessidade de aquecimento artificial e passivo, e da massa térmica e aquecimento solar. O mesmo fator ainda pode ter influenciado na diminuição da sensação de frio e de desconforto. Ainda assim, a necessidade de aquecimento é significativa; 53,3% do desconforto é causado pelo frio, contra 13,9% causado pelo calor. Atualmente, as horas de conforto correspondem a 32,8% do total de horas do ano, enquanto que o desconforto representa 67,2% deste total.

Pela observação das percentagens para cada estratégia bioclimática recomendada para a cidade, evidencia-se a necessidade de prover o acesso solar em edificações de Curitiba para a garantia do conforto em seus ambientes internos, visto que 49,22% delas estão diretamente ligadas à utilização de aquecimento solar, e ainda assim, 4,10% do aquecimento terão de ser providos pela utilização de aquecimento artificial.

Quanto à insolação, a latitude de Curitiba, localizada próxima ao Trópico de Capricórnio, faz com que os dias da cidade sejam mais curtos no inverno, e mais

longos no período do verão. Campos (2005) afirma que nestas condições a orientação norte proporciona melhores condições de insolação para uma fachada de edificação na cidade de Curitiba, recebendo sol durante o período de inverno e luz solar durante o verão. As Figuras 35 e 36 apresentam graficamente o comportamento das alturas solares e do sombreamento em áreas adensadas para Curitiba.

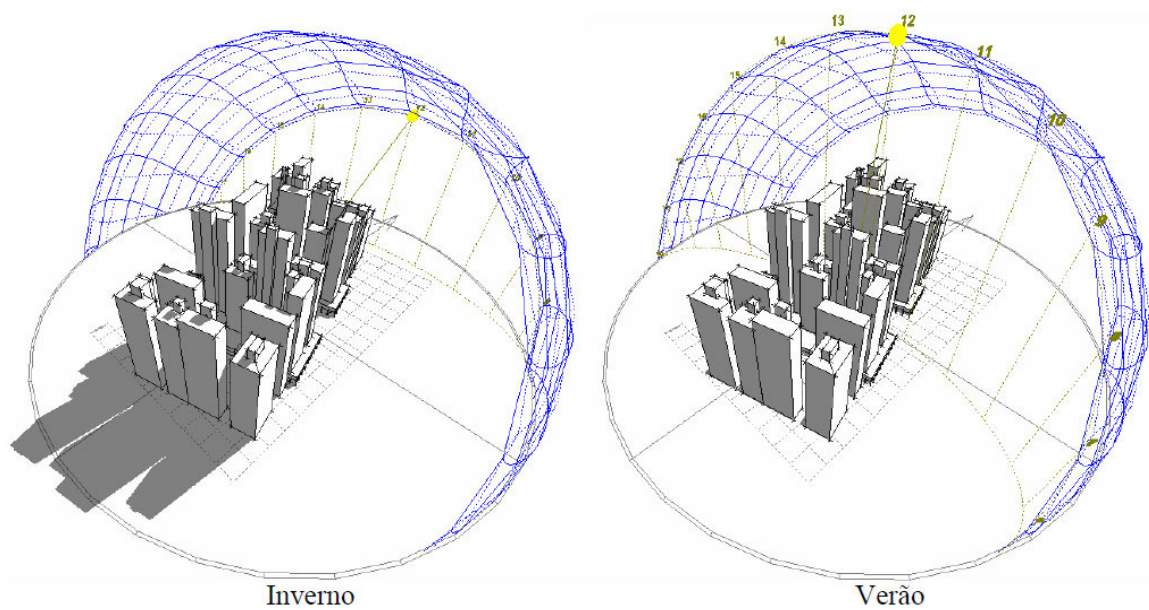


Figura 35 - Sombreamento no ambiente construído nos solstícios de inverno e de verão em Curitiba.

Fonte: Campos (2005).

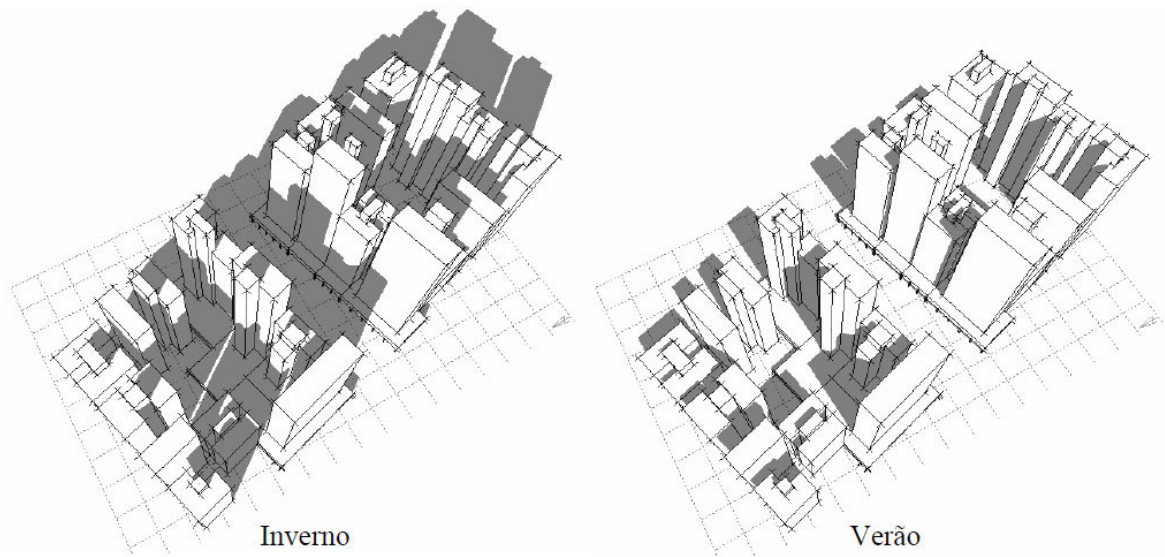


Figura 36 - Sombreamento no ambiente construído nos solstícios de inverno e de verão em Curitiba.

Fonte: Campos (2005).

A intensidade de radiação solar dependerá da orientação da fachada, levando em consideração também o ângulo solar de cada período de ano analisado. No verão, as orientações E e O são as que recebem mais carga energética por dia, quando comparadas às orientadas a norte ou sul. No inverno, a orientação norte é a que mais será insolada. Na primavera e outono, a radiação é maior em 20% na fachada norte, quando comparada às orientações E ou O. Já as fachadas orientadas ao sul são as que menos recebem radiação solar. (GIVONI, 1969).

A utilização da carta solar pode dar uma noção visual acerca do comportamento da insolação sobre uma fachada, conforme a orientação. Para uma latitude sul, próxima ao Trópico de Capricórnio, que é o caso da latitude da cidade de Curitiba, a insolação terá o seguinte comportamento: a fachada norte recebe sol durante o dia todo no período de inverno e em boa parte do período de primavera e outono. No verão, a fachada norte receberá insolação durante poucas horas do dia.

A fachada sul não recebe sol durante todo o período de inverno. Na primavera e outono recebe um pouco de insolação no início e ao final do dia. No verão, recebe insolação no início e no final do dia, sendo inexistente ao meio-dia (sol a pino – apenas no trópico). A fachada E receberá insolação em todas as manhãs durante

todas as estações, e a fachada oeste receberá insolação em todas as tardes, durante todo o ano.

O comportamento solar descrito pela utilização da Carta Solar é apresentado na Figura 37, com a trajetória solar ao longo das estações do ano, para cada orientação de fachada.

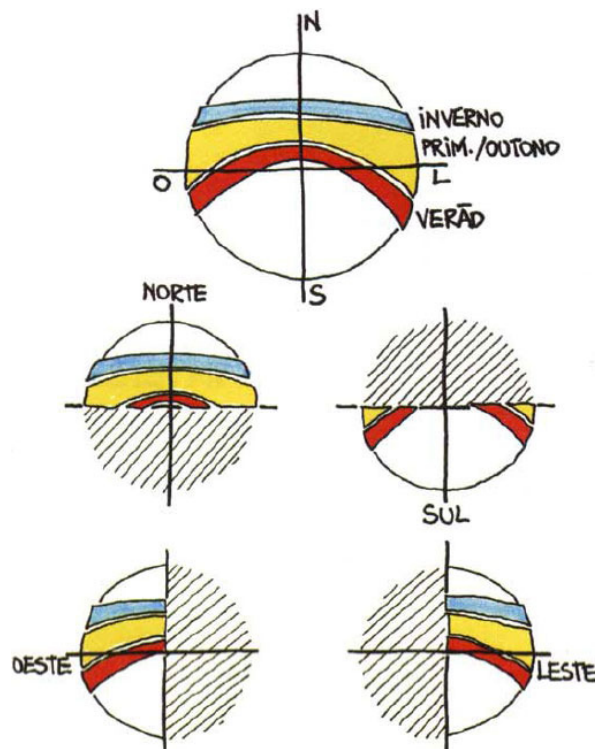


Figura 37 - Carta Solar para latitude subtropical, localizada no hemisfério sul.

Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (1997).

Quanto à disponibilidade de luz natural durante o período de inverno e de verão, para a cidade, apresentam-se os dados obtidos com o uso do programa DLN (Disponibilidade de Luz Natural), desenvolvido por Scarazatto (1995) em sua tese de doutorado. Trata-se de um *software* cuja finalidade é oferecer dados sobre disponibilidade natural em planos horizontais e verticais, externos a edificações. Os dados são fornecidos pelo *software* das 05h00 às 19h00, em tempo solar verdadeiro.

O DLN realiza o cálculo da disponibilidade de luz natural de forma automática, a partir da seleção da capital que se deseja analisar, sob as condições de céu claro

(CC), céu parcialmente encoberto (PE) e céu encoberto (CE). Para o estudo, foram gerados os dados da radiação global para estas variáveis referentes à cidade de Curitiba, considerando-se as iluminâncias previstas em planos horizontais sem obstrução, externos às edificações para duas situações: 21 de junho (solstício de inverno) e 21 de dezembro (solstício de verão).

Os Gráfico 4 abaixo apresenta os gráficos comparativos para estes dados, e as Tabelas 1 e 2 contêm os dados numéricos para estas variáveis.

Com a análise destes dados, pode-se observar que no período de inverno os valores de iluminância em klux são menores que no período de verão; entretanto, a nebulosidade nesta época do ano é menor. Dados de nebulosidade de Goularts, Lamberts e Firmino (1998) para dias típicos no período de verão mostram maior grau de nebulosidade no verão. Isto ocorre em decorrência dos índices de umidade encontrados para cada período, que são maiores no verão, que no inverno.

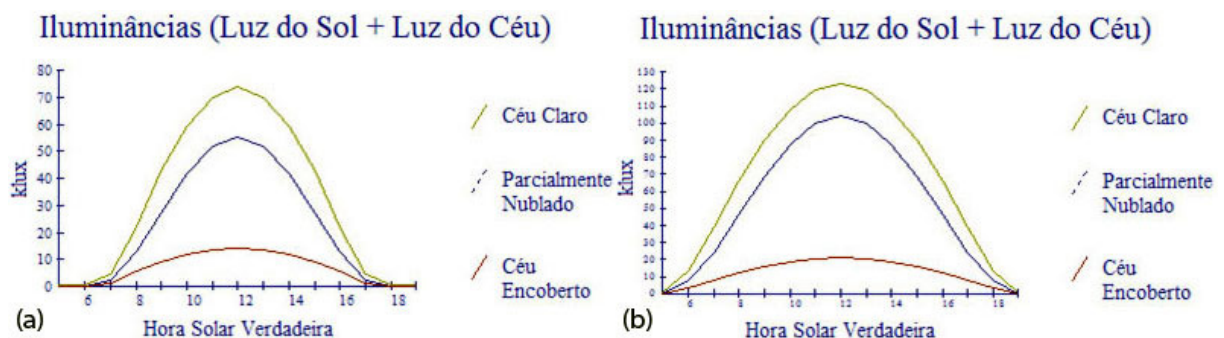


Gráfico 4 - Condições de céu fornecidas pelo *software* DLN para a cidade de Curitiba. (a) solstício de inverno; (b) solstício de verão.

Fonte: Pesquisa.

2.3.2 Parcelamento do Solo

Conforme Mascaró (2001), o planejamento urbano brasileiro tem pouca consideração com fatores climáticos e topográficos, disseminando assim critérios de legislação uniformizados que geram soluções arquitetônicas padrão que não correspondem de forma adequada às necessidades ambientais e energéticas de

cada localidade. É apresentado a seguir o histórico do planejamento urbano para a cidade de Curitiba, com o levantamento cronológico das principais legislações que vigoraram durante a trajetória histórica da cidade, sendo levantados pontos acerca da situação de seus recursos naturais e das políticas relacionadas à preservação do meio ambiente, que se configura no principal elemento para a criação da imagética de “cidade modelo” e “cidade ecológica” propagada pelo seu muito bem implantado *city marketing*.

2.3.3 Histórico do Planejamento Urbano

Os primeiros indícios de planejamento urbano da cidade de Curitiba surgem em meados do século XIX. Com sua emancipação política e elevação à capital da província do Paraná em 1853, o crescimento populacional incentivado por iniciativas do poder público resultaram em um forte fluxo migratório no período de 1870 a 1920, especialmente de europeus. Estes indivíduos dedicavam-se ao artesanato, comércio e prestação de pequenos serviços, e em 1872, já representavam 11% da população curitibana (COSTA, 1992).

Para acomodar este contingente populacional excedente, foram necessárias ações de natureza urbanística a fim de adaptar a cidade às novas necessidades de moradia. Com a crise do modelo econômico baseado na agro-exportação, notadamente da erva-mate, o comércio interno se fragiliza, e conseqüentemente a receita estadual. Como agravante, em comparação a outros centros urbanos do Brasil que estavam invertendo o capital oriundo da produção agrária para atividades industriais e comerciais, Curitiba encontrava-se defasada. Sob a influência deste painel histórico, surge um grupo urbano de intelectuais com o objetivo de forçar ações que visassem à industrialização, juntamente com órgãos ligados a associações de comerciantes e industriais. Este grupo, ligado a ideias sanitaristas e moralizantes dos valores cientificistas modernistas, estende este pensamento ao tecido urbano. Fatores anteriormente classificados como naturais (enchentes, o odor desagradável de dejetos, a lama das ruas e a aparente despreocupação da cidade

com questões estéticas) passam a ser encarados como problemas urbanos (FILHO, 1998).

A fim de sanar alguns destes incômodos, em 1855 é contratado como Inspetor-Geral de medição e terras públicas o engenheiro francês Pierre Taulois. Sua missão foi comandar algumas reformas na infraestrutura da cidade, especialmente no arruamento e na retificação das ruas principais. Entretanto, uma considerável parcela de suas propostas ficou apenas no papel.

Em 1895, é criado o primeiro Código de Posturas. Este código, entretanto, não previa obras sanitárias de porte, atendo-se apenas a regras que regulamentavam construções, o alinhamento de ruas, a limpeza e segurança públicas, cemitérios, mercados, comércios e pequenas oficinas em geral, entre outros.

No ano de 1903, iniciam-se algumas ações para promover a hierarquização do solo. Em 1905, foi proibida a construção de casas de madeira na zona central da cidade, e promoveu-se o calçamento das ruas centrais; e, em 1913, os bondes puxados a mula deram lugar a bondes elétricos.

Em 1940, a Prefeitura de Curitiba contrata a Empresa de Engenharia Coimbra, Bueno & Cia Ltda. para elaborar o primeiro Plano Diretor de Curitiba. Esta contrata para este trabalho o urbanista francês Alfredo Agache, que concebe o plano urbanístico que ficaria conhecido pelo seu sobrenome.

O Plano Agache é posto em prática em 1943 e dá início ao planejamento urbano formalmente reconhecido de Curitiba. Este plano concebía seu crescimento de forma radial, com a definição de áreas específicas para habitação, comércio e indústrias, além de prever uma reestruturação das vias e medidas de saneamento. Previa também a construção de um centro administrativo, de um centro militar e de um centro universitário.

Como decorrência do Plano Agache, a primeira Lei de Zoneamento da cidade é aprovada em 1953, representando um evento positivo para o avanço da legislação municipal acerca de questões ambientais. Este código dispunha, entre outras questões, sobre o destino do lixo, sobre a extração de areia, etc. O planejamento da cidade é fortemente influenciado pelo modernismo progressista representado pela

Carta de Atenas⁴⁰, com acentuada preocupação com a questão higiênica e a saúde, a busca do verde e do sol. O espaço urbano deveria ser segmentado de acordo com uma rigorosa classificação em locais específicos para a habitação, para o trabalho, para a cultura e para o lazer (CHOAY, 1998).

No final da década de 1950, é criada a Comissão de Planejamento de Curitiba (COPLAC), com a finalidade de controlar o desenvolvimento espacial da cidade.

Em 1963, é criada a URBS - Companhia de Urbanização de Curitiba, com a finalidade de rever o Plano Agache, e, em 1964, a CODEPAR - Companhia de Desenvolvimento do Paraná se propõe a financiar esta revisão. É realizado então um concurso cujo ganhador é a Sociedade Serete de Estudos e Projetos Ltda., que contrata a Jorge Wilhelm Arquitetos Associados para o trabalho. É neste momento que Curitiba passa a entrar na história dos Planos Diretores, e sua experiência passaria a servir de exemplo a outras cidades brasileiras (OLIVEIRA, 2000). Em 1964, surge como resultado do concurso o Plano Preliminar de Urbanismo e, em 1965, é criado o IPPUC (Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba), tendo como finalidade gerenciar a execução deste plano, que recebe a colaboração de vários setores da sociedade durante os seminários públicos realizados entre o período de 27 e 30 de julho de 1965, denominados "Curitiba de Amanhã". O resultado é o Plano Diretor de Urbanismo criado em 1966 e efetivamente implementado a partir dos anos 70. Este plano apresentava diretrizes básicas para a gestão do espaço urbano que incluíam a hierarquização do sistema viário, o zoneamento de uso do solo, a regulamentação dos loteamentos, a preservação e revitalização dos setores históricos, além da promoção do crescimento linear do centro que seria servido por vias tangentes de rápida circulação. Tratava ainda da hierarquização de vias, da determinação de desenvolvimento da cidade preferencialmente no sentido NE - SO, do policentrismo e do adensamento, do aumento e adequação de áreas verdes, da caracterização das vias de domínio de pedestres, e da conformação de uma paisagem urbana própria.

⁴⁰ Manifesto urbanístico realizado no IV Congresso Internacional de Arquitetura Moderna (CIAM), ocorrido na cidade de Atenas em 1933. Tratava das cidades sob o ponto de vista dos arquitetos, que buscavam responder aos desafios urbanísticos causados pelo crescimento das cidades.

A partir dos anos da década de 1970 e 1980, a cidade passa a encarar a noção de "modernidade urbana" como sinônimo de "equipar a cidade" (OLIVEIRA, 2000). De forma a se alinhar a esta perspectiva, a cidade recebe equipamentos urbanos ligados a atividades de recreação, educação, transporte e abastecimento. Desta época são também os principais projetos de embelezamento, restauração e preservação de elementos de interesse histórico, padronização da paisagem urbana, e implantação de áreas de lazer como parques e bosques. É estabelecido seu *status* de cidade modelo, e o interesse por seu modelo urbanístico se forma.

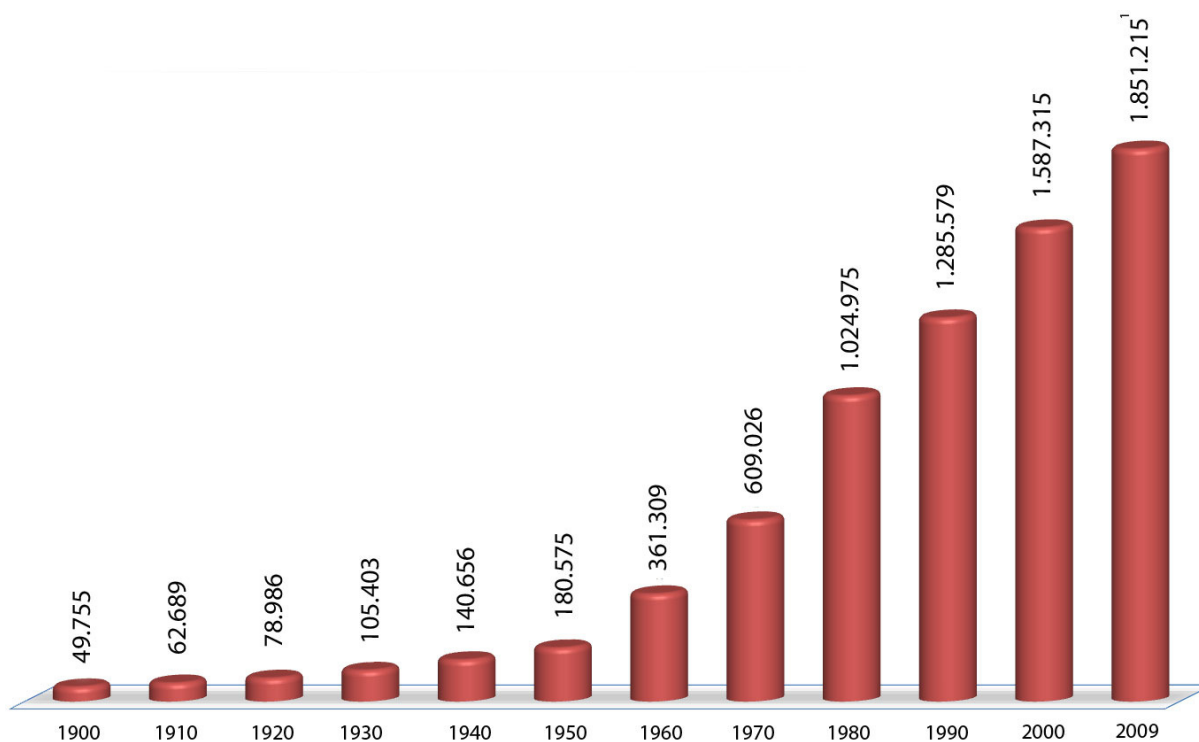
Conforme Hawken, Lovins e Lovins (1999), atualmente a cidade de Curitiba é reconhecida mundialmente como referência de qualidade de vida, e prática de ações de cunho ambiental. Contrariando o destino frequentemente inexorável das cidades pequenas, pobres em recursos e com um crescimento demográfico exponencial, Curitiba em menos de três décadas atingiu níveis de desenvolvimento positivamente melhores que suas vizinhas nas mesmas condições. Isto se deve principalmente às iniciativas simples, de âmbito local e centrado nas pessoas, servindo-se dos mecanismos do mercado, do bom senso e das aptidões locais.

Curitiba passou assim de mais uma pequena cidade do sul do país com economia voltada à produção agrícola e ao processamento de alimentos para um pólo comercial e industrial ligado por rodovias, ferrovias e aeroportos a outras cidades da América do Sul.

Até a década de 1960, Curitiba era a capital de um estado acentuadamente agrícola, sendo o maior produtor de café do mundo. Com a modernização e a mecanização dos processos de produção no campo, e com a evasão dos cafezais devido a mudanças climáticas, acompanhadas da mudança da produção para outras culturas como trigo e soja, ocorre a evasão e a migração de indivíduos para os centros do Paraná, especialmente para Curitiba, em busca de emprego. Este fator, aliado às primeiras estratégias de *city marketing*, acabaram por incentivar o aumento do fluxo migratório, resultando num explosivo crescimento demográfico. Dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) tabulados pelo IPPUC⁴¹ indicam

⁴¹ Censos Demográficos 1872 a 2000 e Contagens Populacionais 1996 e 2007. Estimativas IBGE e IPPUC. Disponível em: <
http://ippucnet.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/Curitiba_em_dados_Pesquisa.asp>.
Acesso em: 08 dez. 2009.

os resultados dos Censos Demográficos de 1872 a 2000. Foi selecionado o período de 1900 a 2009, com um intervalo de 10 anos entre cada contagem, e os dados são apresentados no Gráfico 5.



(1) Estimativa de crescimento (IBGE).

Gráfico 5 - Censos Demográficos do IBGE selecionados para Curitiba de 1900 a 2009.

Fonte: Pesquisa. Dados de IPPUC⁴².

A posição geográfica de Curitiba a situa a cerca de trezentos quilômetros de São Paulo, e num raio de 1.290 quilômetros dos responsáveis pela produção de 70 a 80 por cento do PIB (Produto Interno Bruto) do Brasil, sendo que seu PIB *per capita* cresceu de 10 por cento acima da média nacional em 1980 para 65 por cento em 1996 (HAWKEN; LOVINS; LOVINS, 1999). Estas características a posicionaram ao longo de algumas décadas numa situação bastante favorável, que a permitiu tornar-se competitiva na arrecadação de investimentos, pela sedução proporcionada por adjetivos adquiridos como “cidade verde”, e “cidade com justiça social” implantados por um eficiente sistema de marketing e autopromoção. Com a

⁴² Op. cit.

implementação de políticas de planejamento urbano vinculadas a noções de gestão ambiental, Curitiba passou a partir da década de 90 do século XX a ser conhecida como “Capital Ecológica”. Aumentou-se a relação de 0,5m² de área verde/habitante para 50m² de área verde por habitante em menos de duas décadas (OLIVEIRA, 2001).

O discurso político alinha-se a esta perspectiva, num claro movimento para a obtenção de posicionamento estratégico, como ilustra trecho de material divulgado pela prefeitura de Curitiba:

Curitiba preocupa-se com a solução local dos problemas ecológicos globais. Sua vivência indica a importância de ser ambientalmente correta, algo que diz respeito às demais cidades e ao conjunto do planeta, como atitudes e práticas de preservação da vida. É a direção correta, solidária e criativa, no caminho da auto-sustentação. Com base na efetiva participação da sociedade, na mais irrestrita socialização da informação, no desenvolvimento de uma vontade coletiva de aliar o desenvolvimento à preservação da natureza (PMC, 1996, p. 21).

A imprensa, de forma involuntária ou não, teve papel crucial na sedimentação desta visão verde. Oliveira (2001) aponta o caso da revista *Veja* que, em 1993, publicou “*A capital de um país viável*”, e da revista *Ecologia e Desenvolvimento* (1993), que destinou uma publicação especial dedicada à cidade. A repercussão das iniciativas “verdes” da cidade retornam como benefícios, entre outros, de capital. Um exemplo é o que ocorreu com a criação, com o auxílio do governo federal, da Região Metropolitana de Curitiba (RMC) na década de 70, e a criação do Parque Industrial de Curitiba (CIC), eventos que foram pontuais para o fomento da economia e geração de empregos e renda, e para a mudança do perfil da cidade, de região agrícola para uma região cada vez mais industrializada.

Entretanto, justamente esta visibilidade obtida pela cidade pela mídia acarretou um novo problema urbano. Grandes contingentes populacionais vindos de outras partes do estado e do país migraram para a cidade, atraídos pela propaganda de qualidade de vida e prosperidade. A população da região metropolitana passou de 300 mil nos anos 50, para 2,1 milhões em 1990 (HAWKEN; LOVINS; LOVINS, 1999). Para 2020, a projeção é de que este número deverá saltar para 4.436.330,

segundo o Ipardes⁴³ (Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social).

Zirkl (2003) afirma que este repentino inchaço provocou os conhecidos problemas das cidades que crescem rapidamente de forma desordenada: falta de mão-de-obra no campo, favelização, desigualdade social, e aumento da violência. Ações políticas de gestão urbana adotadas pelos atores políticos foram direcionadas para a normalização dos índices populacionais e econômicos. Diversas ações foram regulamentadas pelo Plano Diretor: o zoneamento urbano, o desenvolvimento e ampliação da infraestrutura e do mobiliário urbano, e o direcionamento do crescimento de forma linear nos eixos estruturais.

Com a entrada do século XXI, a cidade de Curitiba busca posicionar-se frente ao Brasil e ao mundo com uma imagem mais humanizada, com uma estruturação urbana que garanta o desenvolvimento sustentável ligado a ações de solidariedade a toda a metrópole, valorizando para isso a participação popular. Busca, desta forma, alinhar-se aos conceitos atuais de “desenvolvimento sustentável”, pautado por ações conjuntas de cunho ambiental e social.

Assim, Curitiba se auto-proclama e reivindica títulos relacionados às virtudes de seu espaço urbano e administração, resultados de um planejamento urbano baseado na “sistematização do transporte coletivo, na valorização da memória histórica e da preservação de áreas verdes, o que foi garantido pela continuidade de gestões administrativas, por quatro décadas” (CASTELNOU, 2006, p. 56), fator que contribuiu para seu acelerado crescimento.

Esta evolução qualitativa teve como elemento fundamental a fixação de imagens-síntese positivas, produzidas pelo *city marketing* elaborado pelos administradores públicos da cidade ao longo das diversas administrações. Castelnou (2006) relaciona “Cidade-modelo” e “Cidade Planejada” na década de 1970, “Capital da Qualidade de Vida” e “Capital do Primeiro Mundo” nos anos de 1980, “Capital Ecológica” na década de 1990 e, entrando no início do século XXI, “Capital Social”.

⁴³ Citado em: IPPUC. População Censitária de 2000 e Projetada para o período 2001/2020, segundo os municípios da Região Metropolitana de Curitiba – Paraná. Disponível em: http://ippucnet.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/anexos/2020%20desde%202000_Populaçã%20Projetada%20Curitiba%20e%20Municipios%20da%20RMC_Ipardes.pdf. Acesso em: 08 dez. 2009.

Entretanto, alguns aspectos fundamentais deste planejamento não foram devidamente tratados; por detrás da imagem de modelo de cidade, ocultam-se sérios problemas de ordem ambiental e social, muitos deles gerados justamente como efeitos colaterais de seu conclamado desenvolvimento.

O alicerce principal para a construção da imagem de “Cidade Verde” de Curitiba se apóia na metragem de área verde/hab. Esta relação saltou de 0,7m²/hab. nos anos de 1960 para 16m²/hab. em 1974. Em quinze anos, este número subiu para 55m²/hab (CASTELNOU, 2006).

Atualmente, segundo dados oficiais da administração da cidade, esta proporção se encontra em 51,5m²/hab:

a área de maciço florestal (...) manteve-se estável, estando hoje em 49,02 m² por habitante, somando-se ainda um acréscimo de 2,48m² em função da cobertura que perfaz a arborização viária. Portanto o total da cobertura florestal existente hoje em Curitiba é de 51,5m² de superfície de área verde por habitante. O valor absoluto hoje representa que 17,97% da superfície do Município é recoberta por vegetação de porte arbóreo. (PMC, 2009, p. 87-89).

A crítica que se faz é que, ainda que a simples análise da relação área verde/habitante pudesse se constituir em um parâmetro confiável para determinar o índice “ecológico” da cidade, este teria controvérsias quanto ao valor real desta relação. Andrade (2001) sugere que estes valores seriam na realidade inferiores aos apresentados pelo poder municipal, e que as metodologias de cálculo utilizadas pela prefeitura ao longo do tempo não são uniformes, ou não são claras quanto aos critérios do cálculo. Entre estudiosos do assunto não há consenso sobre o que exatamente constituem as áreas verdes urbanas, qual seria a área mínima a ser considerada, se estas devem ser contíguas, ou se devem entrar neste cálculo os corpos de água, entre outros fatores (CAVALHEIRO,1992; LIMA, 1991; HARDT, 1994).

Controvérsias à parte, a alcunha de Cidade ecológica baseada unicamente na porcentagem de área verde/habitante mostra-se equivocada, pois são diversos, senão inúmeros os fatores que conjuntamente contribuem para a qualidade ecológica de um espaço urbano. Levam-se em conta não só atributos ambientais, mas estes combinados a parâmetros éticos e sociais. Relacionam-se como alguns itens necessários para uma avaliação sistêmica da qualidade do ambiente urbano:

(ilha de calor, poluição, etc.), água (enchentes, abastecimento e esgotamento), lixo, poluição sonora, visual, cobertura vegetal, espaços livres, áreas verdes, recreação, uso do solo, verticalização, densidade demográfica e tombamento" (NUCCI, 1999, s.n.).

Quanto às áreas verdes da cidade, Castelnou (2006) insere em sua avaliação a problemática resultante da constatação da ocorrência do fenômeno de "espetacularização" e "mercantilização" dos parques curitibanos. Estes espaços nasceram de propósitos ambientalistas para se transformarem, no decorrer das sucessivas administrações públicas, em objetos de consumo promotores da fantasia de uma vida saudável junto à natureza. O autor defende que os parques e bosques tornaram-se utopias ecológicas, agentes entorpecedores que tornam nulas as contradições, os desequilíbrios ou os problemas sociais. Nestes espaços,

cabe aos indivíduos o papel de mera contemplação, compondo uma platéia que, ao assistir o espetáculo, supõe-se participativa, mas está anestesiada pelo sentimento de orgulho e de pertencimento a essa cidade que ostenta o título de "capital ecológica". Nessa relação de fascínio do espectador com o "objeto imagem", estabelece-se um regime de cumplicidade. Não se percebe que, quanto mais se submete, mais se instala o estado de torpor, que gera a dependência. A condição de "ser" confunde-se com a de "estar" ou de "parecer ser" e, na sociedade do espetáculo, os habitantes da cidade tornam-se meros espectadores passivos (CASTELNOU, 2006, p. 69).

Em conjunto com a análise dos aspectos relativos às suas áreas verdes, a imagem de "Capital Ecológica" pode ser desconstruída a partir da análise da situação de seu capital ambiental. Quanto à situação dos níveis de recursos naturais, Mendonça (2002) detalha esta problemática, relatando os níveis de degradação da água, do ar e da situação do destino dos resíduos sólidos.

Os rios da cidade e de municípios limítrofes apresentam em boa parte grandes níveis de degradação e poluição, decorrentes da contaminação com esgoto sanitário, sobretudo o doméstico, e resíduos industriais. Segundo dados oficiais da Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA) resultantes de análises realizadas nas águas dos rios Bacacheri, Belém, Padilha, Barigui, Atuba e Iguaçu em 1997 e 2000, estes apresentam qualidade de razoável a ruim, como demonstrado no Quadro 2 a seguir.

Curso Hídrico	Ponto Coleta Amostras	Data	IQA	Data	IQA
Atuba	Terminal A. Camargo	1993-95	Ruim*	1996-98	Ruim*
	Jusante Cor. Monjolo	1993-94	Razoável	1996-98	Razoável
Iguaçu	Ponte BR-277	1987-94	Razoável	1996-98	Razoável*
	Araucária	1987-94	Ruim*	XXX	XXX
	ETE SANEPAR	1987-94	Ruim*	1996-98	Ruim*
Barigui	Boichininga	1993-94	Boa	1996-98	Boa
	Av. Manoel Ribas	1993-94	Razoável	1996-98	Razoável
	Conectora 5 (Seminário)	1987-94	Razoável*	1996-98	Razoável*
	Av. João Bettega	1993-94	Ruim	1996-98	Ruim
	Ponte da Caximba	1987-95	Ruim*	1996-98	Ruim*
Belém	Prado Velho	1987-94	Ruim*	1996-98	Ruim
	Rodolfo Bernardelli	1987-95	Ruim	1996-98	Ruim
	Mont. Pq. São Lourenço	1993-94	Ruim	1996-98	Ruim
Bacacheri	Parque Bacacheri	1993-94	Ruim	1996-98	Ruim*
	Jusante BR-116	1993-94	Ruim	1996-98	Ruim
Água Verde	Foz	1993-94	Ruim	XXX	XXX
Vila Parolim	Foz	1993-94	Ruim	XXX	XXX
Ivo	Foz	1993-94	Ruim	XXX	XXX
Vila Fanny	Foz	1993-94	Ruim	XXX	XXX
Padilha	Jardim Paranaense	1993-94	Ruim	XXX	XXX

* IQA predominante, podendo haver outros no período.

Quadro 2- IQA (índice de qualidade das águas) dos principais cursos hídricos de Curitiba 1987/1998.

Fonte: Dados de SUDERHSA (1997; 2000). Citado em: Mendonça (2002).

Mendonça (2002) afirma que esta degradação é resultado de políticas de saneamento urbano ineficazes. Embora cerca de 90% da população possuam acesso à água tratada, apenas 60% das habitações são servidas pela rede de esgoto. Uma expressiva parcela da população (40%) lança seu esgoto em fossas, clandestinamente na rede de águas pluviais, e até mesmo diretamente nas fontes de recursos hídricos, comprometendo a qualidade da água e contaminando as fontes subterrâneas. Paradoxalmente, toda a água utilizada para abastecimento da população é captada nestes mesmos mananciais, altamente comprometidos.

O ar da cidade também apresenta a salubridade questionável. Dados colhidos no período de 1996 a 1997 pelo IAP – Instituto Ambiental do Paraná, citados por Danni-Oliveira (2000) demonstram que entre junho a setembro, especialmente em agosto, os índices relativos à concentração de poluentes são consideravelmente maiores que os valores máximos estabelecidos por lei⁴⁴. Quando se comparam estes dados com os parâmetros de referência do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) observa-se que pela exposição a estes poluentes atmosféricos a população permanece em constante situação de risco ao desenvolvimento de patologias. A área central da cidade é a mais comprometida, apresentando os índices mais altos. Isto é decorrente da circulação de automóveis, com destaque para o transporte coletivo, que utiliza combustível poluente.

Tabela 1 - Material particulado (pó) em suspensão na atmosfera urbana de Curitiba/PR (Alguns exemplos).

Ano	Dia/mês	Quantidade
1996	22 - agosto	192µm/m ³
	27 - Agosto	189µm/m ³
	19 - Agosto	234µm/m ³
1997	28 - Agosto	249µm/m ³
	01 - Setembro	251µm/m ³

Fonte: IAP Instituto Ambiental do Paraná. Citado em: Danni-Oliveira, 200

Os resíduos sólidos constituem outra chave para a análise crítica do título de “Cidade Ecológica” proclamada por Curitiba. As áreas de destinação dos resíduos estão em fase de esgotamento de sua capacidade, sendo que o volume total de lixo aumenta diariamente. A área de despejo de resíduos sólidos da cidade é o Aterro da Caximba, localizado ao sul de Curitiba, a 23 quilômetros do centro, entre os municípios de Araucária e Fazenda Rio Grande. O aterro passou a receber também em 1993 o lixo de Curitiba, com uma média de 2,4 mil toneladas de lixo/dia, sendo a

⁴⁴ Para Material Particulado (PTS Partículas Totais em Suspensão) o padrão primário é de uma concentração de 240 µm/m³ e de 150 µm/m³ o secundário, no Brasil conforme Portaria Minter 235/76 (Padrões de Qualidade do Ar) e Resolução CONAMA 5/89 (Avaliação e fixação dos limites de concentração que assegurem a saúde e o bem estar das pessoas).

cidade responsável por 1,0 mil toneladas deste montante. A Fase I possuía 410.000m² e considerou-se que sua capacidade seria de 3.239.500 toneladas, com uma projeção de vida útil aproximada de 11 anos e 5 meses. A vida útil do aterro foi, entretanto, prolongada por obras emergenciais para 12 de maio de 2004, com a aquisição em 2002 de uma área de 237.000m², dos quais 119.000m² foram destinados para a Fase 2.

A capacidade do aterro está atualmente esgotada; a Fase I e II estão lacradas, e a Fase III funciona desde maio de 2004 numa ampliação de mais 51.000m², projetada inicialmente para receber resíduos por mais quatro anos (MP-PR 2003, 2004)⁴⁵. Após inúmeros adiamentos, travam-se atualmente discussões acerca do fim ou do adiamento do fechamento do Aterro da Caximba. Organizações não governamentais e associações de moradores defendem o encerramento do aterro, enquanto representantes políticos se dividem entre os que apóiam as iniciativas sociais e os que insistem na extensão de sua vida útil, até que se ache uma solução para o destino do lixo, o que atualmente parece estar longe de acontecer, apesar da criticidade do problema (LEITÓLES, 2009).

As ampliações emergenciais realizadas no aterro ao longo do tempo fizeram com que as lagoas de tratamento de chorume excedessem à sua capacidade. Assim, boa parte do chorume não tratado é lançado diretamente em valetas, que o conduzem diretamente ao Rio Iguaçu que se situa ao lado do aterro, contaminando o caminho por onde passa e comprometendo a qualidade do terreno, assim como o das águas superficiais e subterrâneas. O solo também é exposto à contaminação por metais pesados oriundos dos materiais que são despejados sem que haja uma pré-seleção dos possíveis contaminantes. Cabe ainda citar como agravante que a área ocupada pelo aterro pertence à Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Iguaçu, por se encontrar na região de seu manancial (ZANELLO, 2006). A deterioração causada ao meio ambiente é extensa, e sua recuperação, quando possível, demanda vultosas somas de capital e tempo.

⁴⁵ Citado em ZANELLO, Sonia. **Caracterização mineralógica e avaliação dos teores de Cr, Ni, Cu, Zn e Pb dos solos do entorno do aterro sanitário da Caximba em Curitiba (PR)**. 2006. 102 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

Completando a breve análise preliminar da qualidade do espaço urbano de Curitiba por uma ótica sistêmica, levanta-se a questão da habitação. Conforme Bialecki (2006, p. 3), a questão habitacional configura-se em um problema "de escala muito maior que a do ordenamento urbano, com graves consequências ambientais, comprometendo assim a sustentabilidade da cidade".

O grande fluxo migratório e emigratório, somado ao crescimento demográfico natural dos habitantes da cidade, e a expulsão de parte da população de baixa renda das "áreas nobres" da cidade devido à valorização imobiliária, provocaram um déficit habitacional para estes indivíduos, que passaram a ocupar de forma espontânea e desordenada a periferia da cidade, formando aglomerados do tipo favela. Estas aglomerações, que segundo Grostein (2005)⁴⁶ citado por Bialecki (2006), representam 8,53% do total da área da Região Metropolitana (RM) de Curitiba, trazem à tona questões de ordem social e política, ao serem analisadas como uma resposta das camadas de baixa renda em busca do direito ao solo urbano, e ao direito à cidade.

Em busca do retorno financeiro, áreas centrais da cidade são desocupadas e postas na ociosidade, no aguardo da valorização monetária. Pelo alto custo que seria acarretado com a ocupação destes espaços, a população de baixa renda se vê forçada a se afastar dos centros, sendo segregadas em áreas pouco valorizadas, e passam a viver em condições caóticas de forma clandestina e irregular em áreas de proteção ambiental, e em sítios isolados sem infraestrutura básica, sendo focos geradores de doenças, marginalidade e criminalidade.

Neste sentido, Curitiba demonstra políticas urbanas excludentes, balizadas por motivações que partem dos anseios de proteção e de isolamento das mazelas sociais que a elite expressa, ao se concentrar em condomínios fechados em áreas centrais altamente valorizadas pela especulação imobiliária, dotadas de equipamentos urbanos e infraestrutura de forma a manter um nível excelente de qualidade espacial. Entretanto, o custo destas facilidades urbanas é coberto por impostos municipais que são cobrados, de forma diversa com que ocorre com a obrigação social do município, de forma igualitária a todas as camadas sociais.

⁴⁶ GROSTEIN, Marta Dora. Metrópole e expansão urbana. Disponível em: <www.scielo.br>. Acesso em: 15 dez. 2005.

Com a análise dos dados físicos e políticos expostos, pode-se desconstruir a noção de “Cidade Modelo”, e despe-se Curitiba de sua imagética utópica, retirando-a de seu pódio de cidade número um para posicioná-la em condições de igualdade com a grande maioria das cidades brasileiras, que padecem com problemas urbanos crônicos e excludentes, típicos de cidades de países ainda em desenvolvimento.

2.3.4 Políticas de Zoneamento

A primeira iniciativa de ordenamento do solo de Curitiba ocorreu em 1960, com a criação da Comissão de Planejamento de Curitiba interdisciplinar. Esta comissão tinha como objetivo acompanhar o processo de ocupação do solo por novas edificações e a concentração e dispersão de determinados usos. O zoneamento na cidade era incipiente, gradualista e orgânico, acompanhando as tendências naturais verificadas pela ocupação espontânea.

Conforme dados oficiais do IBGE (Gráfico 5), entre as décadas de 1940 e 1960 a população da cidade passou de 140.656 para 361.309 habitantes, forçando a mobilização de mecanismos públicos com o objetivo de propiciar a realização de um Plano Diretor que ajustasse o solo à necessidade de acomodação planejada desta população. Em 1962, o então prefeito Ivo Arzua Pereira propõe alterações no plano vigente, o Plano Agache, cujo conteúdo foi concretizado apenas em parte. Foram construídas as Avenidas Marechal Floriano Peixoto, Sete de Setembro e Visconde de Guarapuava, foi estabelecido o recuo obrigatório de 5 metros para novas construções, implantadas as galerias pluviais da Rua XV (Rua das Flores), delimitada a Zona Industrial, e foram implantados os projetos para o Centro Cívico, Centro Politécnico e do Mercado Municipal.

O processo de ordenação do crescimento da cidade de Curitiba propriamente dito teve início em 1966, com o Plano Preliminar de Urbanismo, o Plano Serete, que originou o Plano Diretor de Curitiba, transformado em lei pela Câmara Municipal em 1966. Paralelamente à criação do plano, em 1965 é criado o IPPUC - Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba, com o objetivo de detalhá-lo e implementá-lo e a COHAB - Companhia de Habitação Popular de Curitiba.

O plano tinha uma concepção com acentuada influência modernista, que propunha a segregação e funcionalização dos espaços. Ele delimita as Zonas Residenciais (ZR's), comerciais e industriais da cidade, e orienta o crescimento a partir de eixos lineares, em oposição à proposição de cidade concêntrica do Plano Agache.

Em 1975, durante a gestão do prefeito Saul Raiz, é aprovado pelo IPPUC, pelo Departamento de Urbanismo e sancionada pelo Decreto nº774 a divisão da cidade em 75 bairros, tendo como referenciais as vias urbanas, vias de ligação, ferrovias e rodovias. O uso do solo, o coeficiente de aproveitamento e a altura dos edifícios se atrelam às concepções morfológicas dos Eixos Estruturais e do sistema de transporte coletivo.

Em 1985 é elaborado o Plano Municipal de Desenvolvimento, apontando novas diretrizes para o desenvolvimento e para a administração da cidade, e propondo uma nova legislação de uso do solo.

Em 1986, são criadas pelo Decreto nº 41 de 1986 as administrações regionais: Bacacheri, Boqueirão, Campo Comprido, Freguesia do Cajuru, Freguesia da Matriz, Pinheirinho, Portão, Santa Felicidade e Umbará. Esta descentralização tinha por objetivo expandir os processos de decisão da prefeitura para toda a cidade. No final da década de 1980 estas regionais são reestruturadas, passando de nove para sete, e em 1995 é inaugurada a primeira Rua da Cidadania no Carmo, Boqueirão.

Em 2000 é sancionada a Lei de Zoneamento, pela Lei nº 9800 de 03 de janeiro de 2000 (PMC, 2000). O Município de Curitiba estabelece os critérios da divisão de seu território em zonas e setores, os critérios desta divisão, e os parâmetros para o uso e a ocupação do solo. Esta segmentação teve como objetivo “orientar e ordenar o crescimento da cidade” (PMC, 2000, p. 1). Os limites de cada zona e setor proposto têm como delimitador as vias, logradouros públicos, acidentes topográficos e divisas de lote. A observação do cumprimento das determinações do Zoneamento é regulada através dos mecanismos de controle jurídicos do município: na concessão de alvarás de construção e de localização de usos e atividades urbanas; na execução de planos, programas, projetos, obras e serviços referentes a edificações; na urbanização de áreas; e no parcelamento do solo.

Em 2004, o Plano Preliminar de Urbanismo e o Plano Diretor de 1966 são revistos, sendo adaptados para atender às políticas e diretrizes do Estatuto da Cidade, instituído pela Lei Federal nº 10.257. O novo Plano Diretor é sancionado pela Lei nº 11266 de 16 de dezembro de 2004, e contempla questões relativas às políticas de: 1. desenvolvimento urbano do município; 2. urbanística-ambiental; 3. política social e econômica; 4. gestão democrática. (PMC, 2004, p.2).

De acordo com a Lei de Zoneamento Nº 9800 de 03 de janeiro de 2000, Zoneamento é conceituado como a

divisão do território do Município visando dar a cada região melhor utilização em função do sistema viário, da topografia e da infraestrutura existente, através da criação de zonas e setores de uso e ocupação do solo e adensamentos diferenciados (PMC, 2000, p.1).

O Zoneamento conforme o estabelecido pela lei busca o atendimento da Política Urbana do Município, que é definida pelos seguintes objetivos (PMC, 2000):

- I. O estímulo à geração de empregos e renda, pelo incentivo ao desenvolvimento e da distribuição equilibrada de novas atividades;
- II. A compatibilização do uso do solo ao sistema viário e ao transporte coletivo;
- III. A promoção da ocupação ordenada das áreas o longo dos eixos de ligação dos municípios da Região Metropolitana de Curitiba;
- IV. A garantia da facilidade no deslocamento de veículos, de forma a atender às necessidades da população, bem como o adensamento habitacional e das atividades comerciais e de serviços;
- V. A integração das áreas periféricas, promovendo sua recuperação e desenvolvimento;
- VI. A promoção da qualidade de vida à população através de um espaço urbano adequado e funcional;
- VII. A preservação dos valores culturais, naturais e paisagísticos, e da escala da cidade;
- VIII. A compatibilização das políticas para preservação do Patrimônio Cultural, Paisagístico e Ambiental;
- IX. Permitir a participação da comunidade na gestão urbana.

Dada a relevância para o trabalho, ressaltamos os itens VI e VII dos objetivos gerais da Política Urbana da cidade.

A promoção de um espaço urbano adequado às necessidades da população e funcional para garantir a qualidade de vida, simultaneamente à preservação dos valores de ordem cultural, natural e paisagística relacionam-se diretamente às características morfológicas do ambiente construído e da promoção do acesso solar.

Com a finalidade de compatibilizar estes objetivos à utilização do solo, a Lei nº 9800 de 03 de janeiro de 2000 (PMC, 2000) estabelece a divisão do Município de Curitiba conforme demonstrado na Figura 38. Este Zoneamento propõe o parcelamento do solo da cidade em zonas e setores, de forma a maximizar o aproveitamento do potencial de cada região da cidade, tendo como critério suas características locais, funcionais ou de ocupação urbanística, sendo estas existentes ou projetadas, em consonância com os objetivos e diretrizes de ocupação da cidade.

No Quadro 3, são indicados os elementos do parcelamento, juntamente com a sigla determinada para denominá-los.

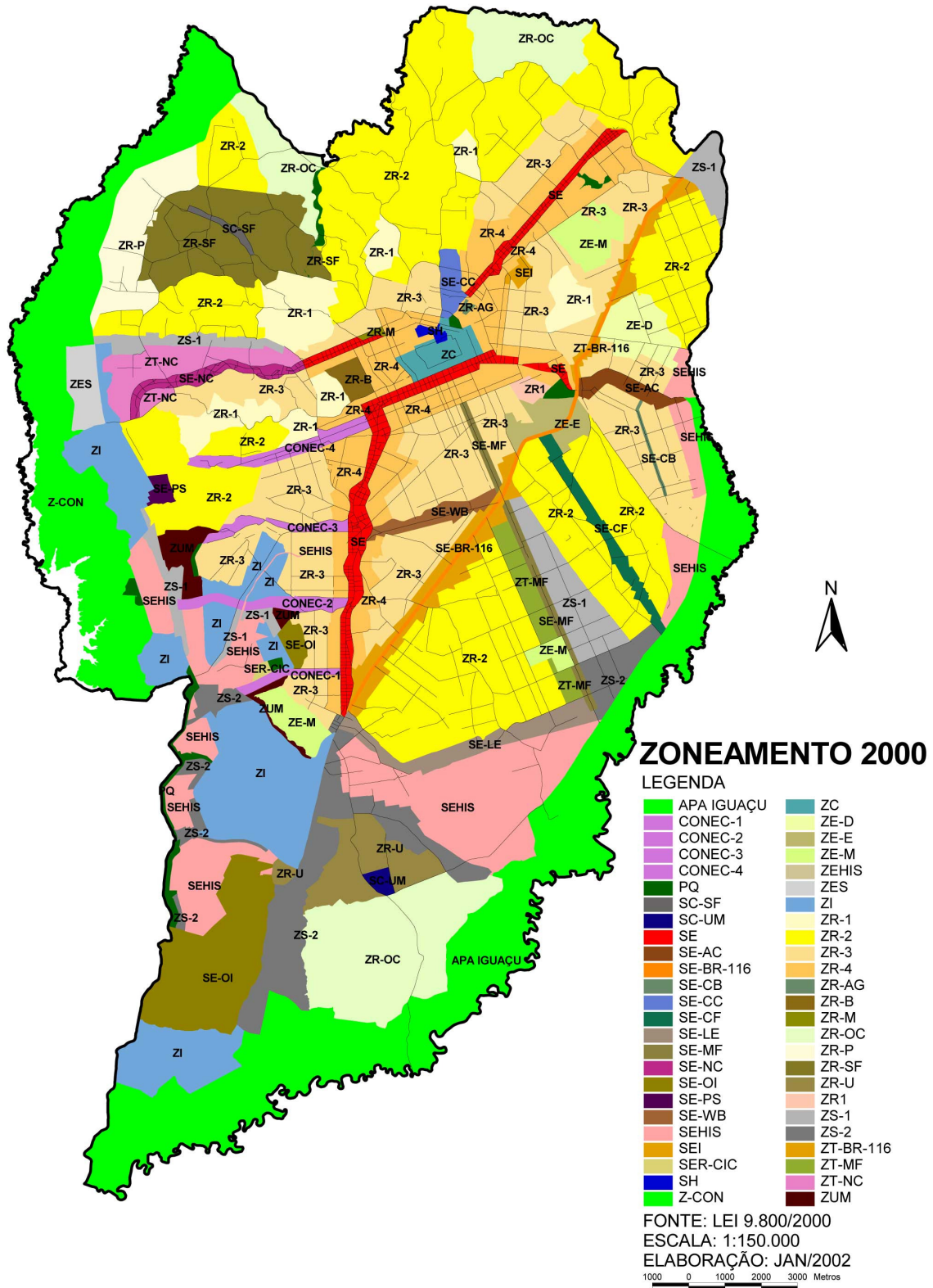


Figura 38 – Zoneamento do Município de Curitiba conforme Lei 9800/2000.

Fonte: Adaptado de IPPUC (2002).

Nº	Sigla	Nomenclatura da Zona/Setor de Uso
01	ZC	Zona Central
02	ZR - OC	Zona Residencial de Ocupação Controlada
03	ZR - 1	Zona Residencial 1
04	ZR - 2	Zona Residencial 2
05	ZR - 3	Zona Residencial 3
06	ZR - 4	Zona Residencial 4
07	ZR - B	Zona Residencial Batel
08	ZR - AG	Zona Residencial Alto da Glória
09	ZR - M	Zona Residencial Mercês
10	ZR - SF	Zona Residencial Santa Felicidade
11	ZR - U	Zona Residencial Umbará
12	ZR - P	Zona Residencial Passaúna
13	ZS - 1	Zona de Serviço 1
14	ZS - 2	Zona de Serviço 2
15	ZES	Zona Especial de Serviços
16	ZT - MF	Zona de Transição da Av. Marechal Floriano Peixoto
17	ZT - NC	Zona de Transição Nova Curitiba
18	ZT - BR 116	Zona de Transição BR-116
19	ZI	Zona Industrial
20	ZUM	Zona de Uso Misto
21	ZE - E	Zona Especial Educacional
22	ZE - D	Zona Especial Desportiva
23	ZE - M	Zona Especial Militar
24	Z - CON	Zona de Contenção
25	SE	Setor Especial Estrutural Via Central
26	SE	Setor Especial Estrutural outras vias
27	SE	Setor Especial Estrutural Vias Externas
28	SE-BR-116	Setor Especial da BR-116
29	SE - MF	Setor Especial da Av. Marechal Floriano Peixoto
30	SE - CF	Setor Especial da Av. Comendador Franco entre a BR-116 e a RFFSA
31	SE - WB	Setor Especial da Av. Pres. Wenceslau Braz
32	SE - AC	Setor Especial da Av. Pres. Affonso Camargo
33	SE - CB	Setor Especial da Rua Engenheiro Costa Barros - Terrenos com testada para as ruas Des. Mercer Junior, Eng. Costa Barros e Filipinas até a profundidade de 60,00m

34	CONEC	Setores Especiais Conectores - Conectoras 1, 2 3 e 4
35	SE - CC	Setor Especial Centro Cívico
36	SE - PE	Setor Especial Preferencial de Pedestres
37	SC - SF	Setor Especial Comercial – Santa Felicidade
38	SC - UM	Setor Especial Comercial - Umbará
39	SE - NC	Setor Especial Nova Curitiba – Pólo de Integração
40	SE - NC	Setor Especial Nova Curitiba – Testada para a Via Central e outras Vias
41	SE - NC	Setor Especial Nova Curitiba – Vias Externas
42	SEI	Setor Especial Institucional
43	SEHIS	Setor Especial de Habitação de Interesse Social
44	SE - LE	Setor Especial Linhão do Emprego – Terrenos com testada para a Rua Tijucas do Sul
45	SE - LE	Setor Especial Linhão do Emprego – Terrenos com testada para o Sistema Viário Linhão do Emprego
46	SE - LE	Setor Especial Linhão do Emprego – Demais Vias
47	SE - PS	Setor Especial do Pólo de Software

Quadro 3 - Zonas e Setores de Uso definidos pelo Zoneamento do Município de Curitiba – 2000.

Fonte: Lei N° 9800 de 03 de janeiro de 2000 (PMC, 2000, Anexos).

Podemos observar que as zonas e setores podem possuir subdivisões, que determinam critérios de uso e ocupação do solo distintos, dentro de uma mesma classificação, resultando por vezes em ocupações mistas.

2.3.5 As Zonas Residenciais

De forma a ordenar o crescimento da cidade, Curitiba teve de 1966 a 2000 algumas revisões na Lei de Zoneamento. A última e mais importante ocorreu com a Lei n° 9.800/2000 (PMC, 2000).

Ao longo destas mudanças, estabeleceram-se zonas específicas, como as citadas anteriormente. Entre estas se encontram as Zonas Residenciais, que são classificadas em relação aos parâmetros de ocupação permitidos. Estes relacionam a densidade, altura da edificação, recuos laterais e frontais, taxa de permeabilidade, entre outros. As Zonas Residenciais são classificadas de acordo com sua

densidade: baixa (ZR-1 e ZR-2), média (ZR-3 e ZR-4) e alta (eixos estruturais, conectoras e a região central). Outro critério de classificação é a altura das construções. Nas ZR-1 e ZR-2 são permitidos até dois pavimentos; na ZR-3 são permitidos até três pavimentos; na ZR-4 são permitidos até seis pavimentos.

A Tabela 4 enumera em fração a representatividade de cada Zona Residencial no solo de Curitiba, em relação à área total do território do município destinada a uso residencial, e a Figura 38 apresentada a seguir demonstra a distribuição destas Zonas Residenciais no perímetro da cidade de Curitiba.

Tabela 2– Representativo em percentual de cada ZR do município de Curitiba no total da área destinada às Zonas Residenciais (IPPUC, 2006).

Sigla	Descrição	Extensão (km²)	%
ZR - 2	Zona Residencial Dois	87,66	40,65
ZR - 3	Zona Residencial Três	48,43	22,46
ZR - 4	Zona Residencial Quatro	22,80	10,57
ZR - OC	Zona Residencial de Ocupação Controlada	22,35	10,37
ZR - 1	Zona Residencial Um	11,27	5,23
ZR - SF	Zona Residencial Santa Felicidade	10,50	4,87
ZR - P	Zona Residencial Passaúna	6,14	2,85
ZR - U	Zona Residencial Umbará	5,41	2,51
ZR – B	Zona Residencial Batel	0,86	0,40
ZR - M	Zona Residencial Mercês	0,12	0,06
ZR - AG	Zona Residencial Alto da Glória	0,08	0,04
Total		215,63	100,00

Fonte: Adaptado de IPPUC (2006).

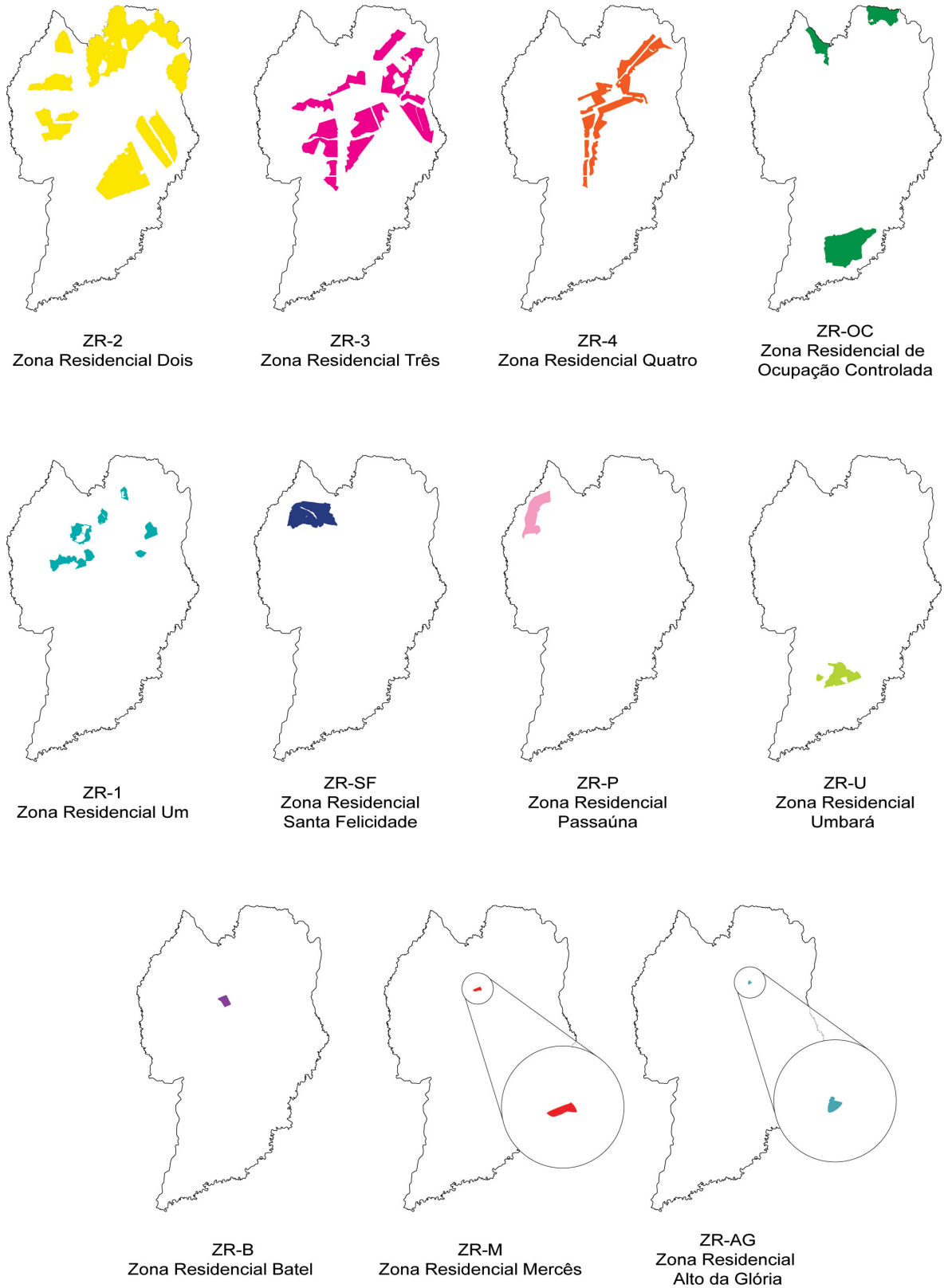


Figura 39 – Distribuição das Zonas Residenciais ao longo do perímetro de Curitiba.

Fonte: Pesquisa.

Com a análise dos dados apresentados, observa-se que a ZR mais extensa é a ZR-2, com um território que representa aproximadamente 40% do total de áreas destinadas a habitações unifamiliares, seguida da ZR-3 com cerca de 22%. As ZR-4 e ZR-OC empatam com aproximadamente 10%, seguidas das ZR-1 e ZR-SF, com cerca de 5% cada uma. As ZR-P e ZR-U possuem cada uma cerca de 2,5%, enquanto as ZR-B, ZR-M e ZR-AG ficam na última posição quanto à representatividade em relação à área destinada à ocupação por edificações unifamiliares, com menos de 1% cada.

Destacam-se características específicas para algumas ZR's. Por exemplo, verifica-se que as ZR-2 e ZR-3 têm suas distribuições bem espaçadas ao longo do perímetro da cidade, abrangendo uma quantidade expressiva de bairros. A ZR-4, que é a zona residencial que permite maior verticalização, é distribuída ao longo das áreas adjacentes às vias estruturais, que são áreas da cidade que também permitem uma ocupação mais verticalizada.

As áreas destinadas à ZR-OC situam-se ao lado de áreas de preservação, caso da Área de Proteção Ambiental (APA) do parque e do rio Tingui e por isto apresentam parâmetros mais restritivos para a ocupação, visando à garantia da preservação ecológica destas áreas.

A ZR-P destina-se à determinação das regras para construção de habitações localizadas no Passaúna, área que possui grandes áreas verdes e mananciais, demandando maior cuidado na ocupação.

Finalmente, as ZR-SF, ZR-U, ZR-B, ZR-M e ZR-AG são localizadas nos bairros de Santa Felicidade, Umbará, Batel, Mercês e Alto da Glória, tratando de objetos de análise específicos para cada bairro, em seu contexto sócio-cultural (notadamente os três últimos bairros citados), prevendo a ocupação controlada de forma a garantir a preservação de construções de valor histórico.

Para a determinação das características das edificações destinadas ao uso habitacional unifamiliar permitidas para cada uma destas zonas, existe legislação específica; é o Decreto que regulamenta as edificações de Curitiba, n° 212/07 (PMC, 2007). Nele, as edificações destinadas à habitação são classificadas da seguinte forma, conforme seu uso, quantidade de cômodos, quantidade de unidades dentro do lote:

- A habitação unifamiliar corresponde à edificação que é isolada, cujo fim é servir de moradia a uma única família. Esta é constituída por no mínimo cozinha, banheiro, quarto e sala. Neste tipo de habitação, eventuais edículas são consideradas como anexos da construção, e não é permitido que seu uso seja o de uma moradia independente.
- A habitação coletiva é classificada como aquela que comporta mais de duas unidades residenciais independentes, com as áreas de circulação em seu interior e ao acesso ao logradouro público comuns. A habitação unifamiliar em série é aquela onde coexistem três ou mais edificações habitacionais isoladas agrupadas de forma horizontal, paralela ou transversal ao alinhamento predial, com um número máximo de 20 unidades.
- Casas populares em série são as edificações isoladas em número maior que três, agrupadas de forma horizontal, paralela ou transversal ao alinhamento predial, com número máximo de 20 unidades, e cuja relação área total x número de leitos é menor ou igual a 10, sendo considerados 2 leitos/quarto.
- Conjuntos habitacionais são os agrupamentos compostos por mais de 20 habitações unifamiliares, ou mais de dois edifícios de apartamentos, que se encontram implantados em um mesmo terreno.
- Habitação de uso institucional, que são edificações destinadas à assistência social, que abrigam estudantes, crianças, idosos e necessitados.
- Habitação transitória 1, que são edificações compostas por unidades habitacionais utilizadas de forma transitória, para o recebimento de hóspedes. (Caso de apart-hotéis e pensões).
- Habitação transitória 2, que possui as mesmas características da habitação transitória 1, sendo que o uso é destinado à hotéis.
- Habitação transitória 3, com características similares às habitações transitórias 1 e 2, com o uso destinado a motéis.

3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS

O objetivo geral da pesquisa foi verificar a potencialidade dos parâmetros construtivos legais atuais de Curitiba em prover acesso solar no interior de construções residenciais unifamiliares localizadas em Zonas Residenciais, e propor alternativas de ocupação baseadas no conceito de envelope solar para garantir este acesso.

A pesquisa derivou de um levantamento fotográfico preliminar realizado em 2007 em algumas áreas residenciais da cidade de Curitiba, onde, por meio de registro fotográfico, verificaram-se exemplos de construções residenciais que devido à ocupação adensada ao máximo permitido por lei, acabavam por obstruir o acesso solar das construções adjacentes.



Figura 40 – Exemplos de obstruções ao acesso solar em edificações adjacentes causadas pela utilização máxima do potencial construtivo permitido em zonas residenciais em Curitiba.

Fonte: Fotos realizadas por Eduardo Krüger.

Este fato demonstrou ser um forte indício de que as diretrizes indicadas pela legislação possivelmente não garantissem efetivamente o acesso solar no interior das residências. Para se constatar a veracidade desta hipótese e se propor possibilidades para se obter o acesso solar e seus benefícios no interior destas residências, organizou-se a metodologia para a presente pesquisa em quatro etapas principais, apresentadas na Figura 41.

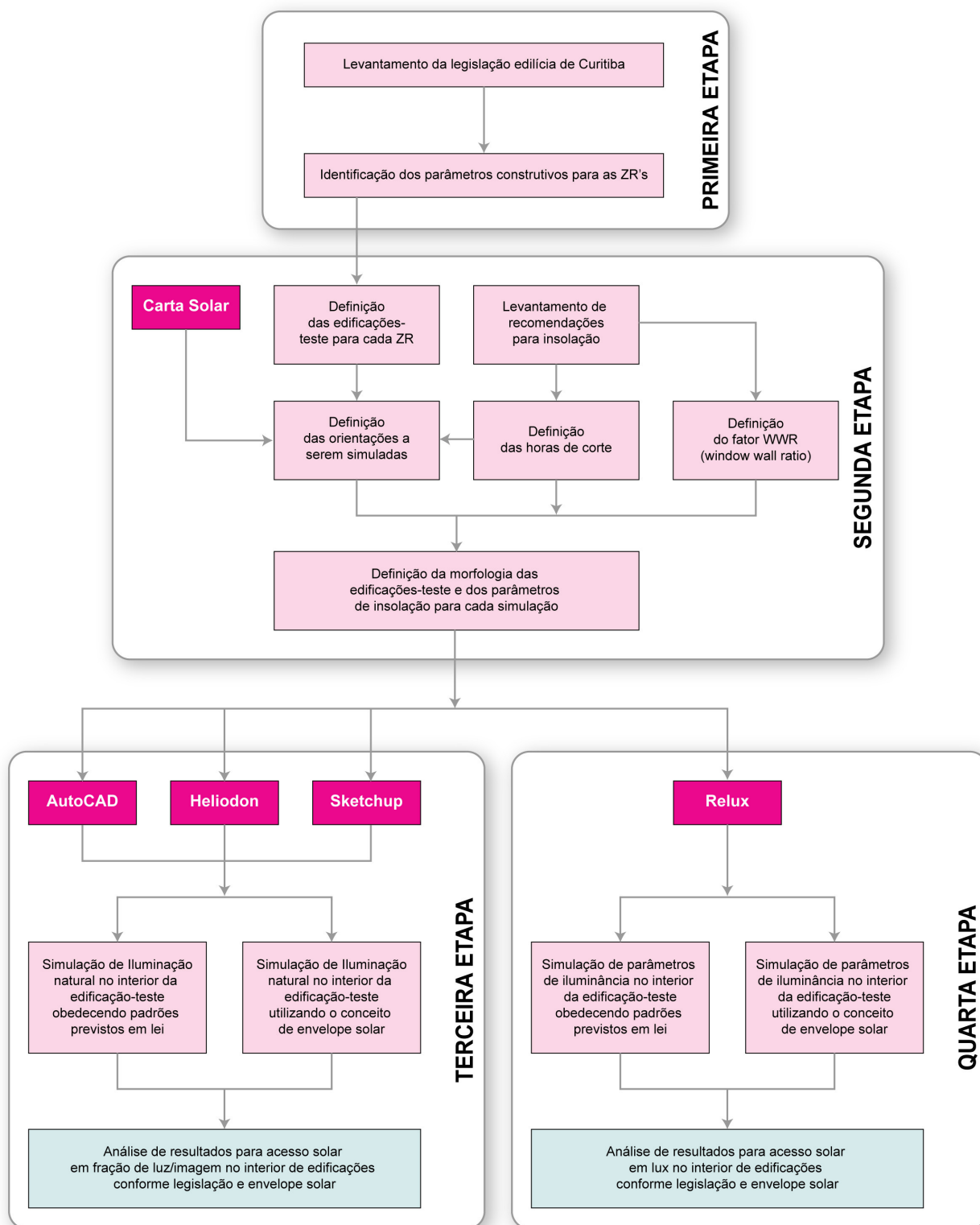


Figura 41 – Fluxograma das etapas do planejamento da pesquisa.

Fonte: Pesquisa.

Assim, a pesquisa seguiu as seguintes fases: 1. Levantamento da legislação edilícia vigente para as Zonas Residenciais de Curitiba; 2. Definição de morfologia e

implantação da edificação analisada; 3. Simulações de acesso solar para edificações das Zonas Residenciais conforme legislação e com a utilização do envelope solar com os programas AutoCAD, SketchUp e com o equipamento Heliodon; 4. Obtenção dos valores de iluminância para as edificações analisadas conforme legislação e com a utilização do envelope solar com a utilização do programa Relux.

3.1 LEVANTAMENTO DOS PARÂMETROS CONSTRUTIVOS VIGENTES PARA AS ZONAS RESIDENCIAIS DE CURITIBA

Inicialmente, identificou-se a partir do levantamento da legislação de uso do solo as Zonas Residenciais (ZR's) criadas pelo Município de Curitiba, segundo suas características de intensidade de uso e ocupação do solo, dados estes apresentados no Quadro 4. Na Figura 42 é demonstrada a distribuição destas ZR's dentro do perímetro de Curitiba.

Sigla	Nomenclatura da Zona
ZR-OC	Zona Residencial de Ocupação Controlada
ZR-1	Zona Residencial Um
ZR-2	Zona Residencial Dois
ZR-3	Zona Residencial Três
ZR-4	Zona Residencial Quatro
ZR-B	Zona Residencial Batel
ZR-M	Zona Residencial Mercês
ZR-AG	Zona Residencial Alto da Glória
ZR-SF	Zona Residencial Santa Felicidade
ZR-U	Zona Residencial Umbará
ZR-P	Zona Residencial Passaúna

Quadro 4 - Zonas Residenciais criadas pelo Município de Curitiba segundo suas características e intensidade de uso e ocupação do solo – 2000.

Fonte: Lei N° 9800 de 03 de janeiro de 2000 (PMC, 2000, p.3).

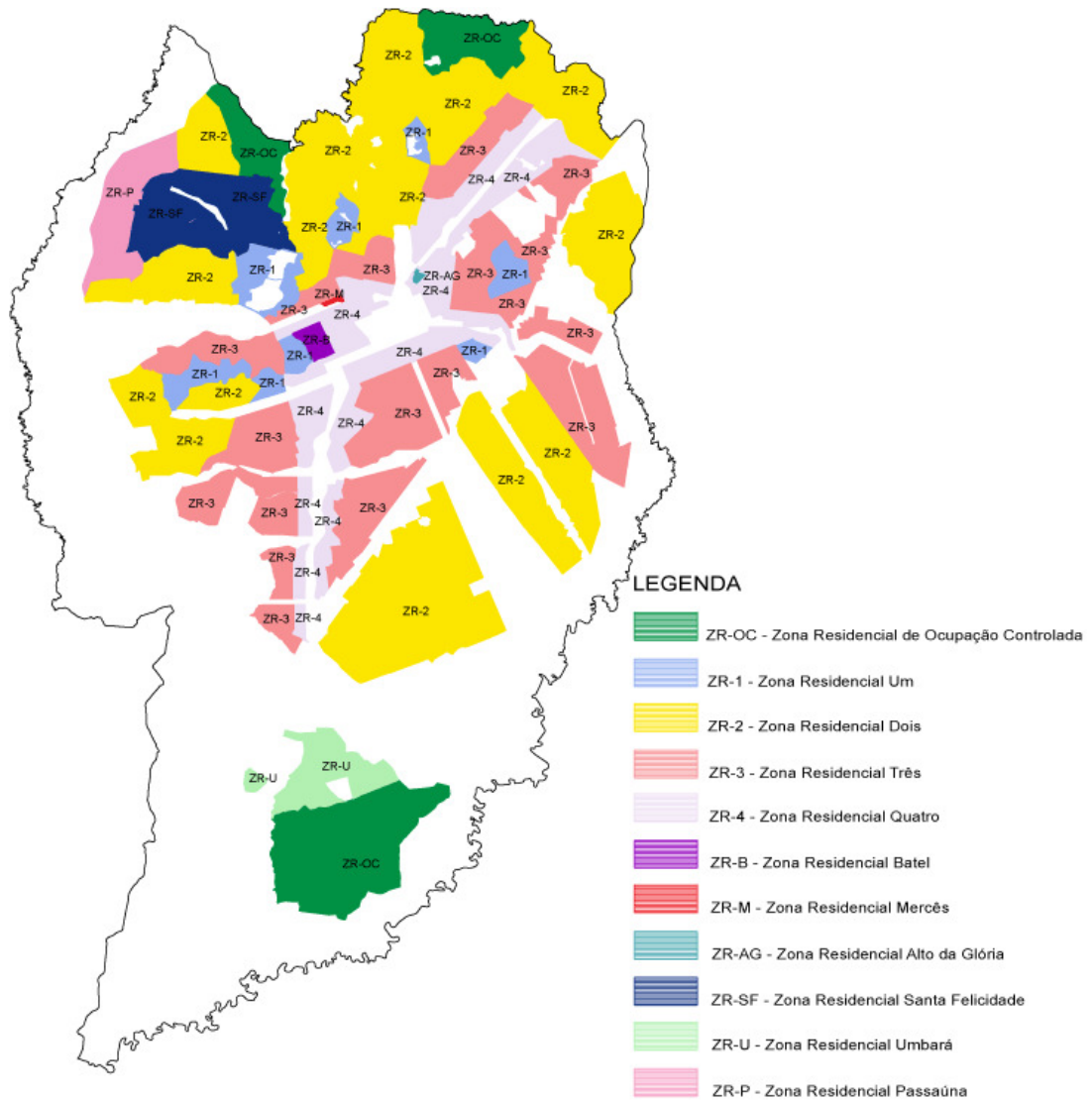


Figura 42 - Distribuição das Zonas Residenciais de Curitiba no perímetro do Município de Curitiba.

Fonte: Adaptado de IPPUC (2006).

Durante a análise dos usos permitidos pelo zoneamento, verificou-se que a legislação (PMC, 2000) classifica o aproveitamento e a ocupação do solo para cada tipo de atividade (habitação, comércio, serviços, etc.) como:

- Permitido, quando “compreendem as atividades que apresentem clara compatibilidade com as finalidades urbanísticas da zona ou setor correspondente”.
- Tolerado, quando “compreendem atividades admitidas em zonas ou setores onde as atividades permitidas lhes são prejudiciais ou incômodas”.

- Permissíveis, quando "compreendem as atividades cujo grau de adequação à zona ou setor dependerá da análise ou regulamentação específica para cada caso".
- Proibidas, as que "compreendem as atividades que, por sua categoria, porte ou natureza, são nocivas, perigosas, incômodas e incompatíveis" com a ZR em questão.

A fim de se analisar especificamente as ZR's classificadas como inteiramente compatíveis para construção de unidades habitacionais unifamiliares, que são o objeto de estudo deste trabalho, optou-se por excluir a ZR-4 (Zona Residencial 4), pois ao contrário das outras ZR's, que classificam a unidade habitacional unifamiliar como uso permitido, classifica este uso como tolerado, não se enquadrando, portanto, no critério de seleção. A ZR-4 se encontra distribuída ao longo das áreas vizinhas aos Setores Estruturais (SE), que são faixas de terreno situadas adjacentes às denominadas "vias rápidas" da cidade. Nestes setores, é permitido um adensamento maior. A ZR-4, por influência da proximidade dos setores estruturais, acompanha esta tendência, tendo uma permissão para adensamento muito superior às outras ZR's existentes. Sendo assim, as ZR's selecionadas para avaliação foram as listadas na Tabela 5, juntamente com seus parâmetros de uso e ocupação.

Tabela 3 - Parâmetros de Uso e Ocupação do Solo para as Zonas Residenciais do Município de Curitiba que classificam a Habitação Unifamiliar como uso permitido.

Sigla da Zona	Descrição da Zona	Uso para Habitação Unifamiliar Permitido	Coefficiente de Aproveitamento	Taxa de Ocupação (%)	Altura máxima da Edificação (Pavimentos)	Recuo mínimo do Alinhamento Predial (m)	Taxa de Permeabilidade Mínima (%)	Afastamento das Divisas (m)	Dimensão do Lote [Testada (m) x Área (m ²)]
ZR - OC	Zona Residencial de Ocupação Controlada	sim	0,4	30	2	5	50	(1)	20 x 2000
ZR - 1	Zona Residencial Um	sim	1	50	2	5	25	(1)	15 x 600
ZR - 2	Zona Residencial Dois	sim	1	50	2	5	25	(1)	12 x 360
ZR - 3	Zona Residencial Três	sim	1	50	3	5	25	Até 2 pav.= Facultado Para 3 pav.= mínimo de 2,00	12 x 360
ZR - B	Zona Residencial Batel	sim	1	50	2	5	25	(1)	15 x 600
ZR - AG	Zona Residencial Alto da Glória	sim	1	50	2	5	25	(1)	15 x 600
ZR - M	Zona Residencial Mercês	sim	1	50	2	5	25	(1)	15 x 600
ZR - SF	Zona Residencial Santa Felicidade	sim	1	50	2	5	25	(1)	15 x 600
ZR - U	Zona Residencial Umbará	sim	1	50	2	5	25	(1)	12 x 360
ZR -P	Zona Residencial Passaúna	sim	1	50	2	5	25	(1)	15 x 600

(1) Para paredes com abertura, o mínimo é de 1,5m. Para paredes sem abertura, o recuo não é exigido.

Fonte: Adaptado da Lei N° 9800 de 03 de janeiro de 2000 (PMC, 2000, Anexos).

Nas ZR's selecionadas, o uso para habitação unifamiliar é permitido, ou seja, é uma atividade considerada pela lei de uso e ocupação do solo como claramente compatível com suas finalidades urbanísticas. O coeficiente de aproveitamento é o número que, multiplicado pela área do terreno, define a área máxima computável admitida para o terreno. A taxa de ocupação é o que indica o percentual expresso pela relação entre a projeção da edificação sobre o plano horizontal e a área do lote ou terreno onde se pretende edificar. A altura máxima da edificação é dada em pavimentos, sendo que o máximo de altura permitido são 10 metros para todas as Zr's avaliadas. O recuo é a distância da construção em relação ao alinhamento predial. A taxa de permeabilidade é o percentual da área do lote que deve permanecer sem impermeabilização do solo, como calçamento, asfalto, etc. O afastamento das divisas é a distância mínima que os limites da construção devem manter dos limites do lote. A dimensão do lote mínimo corresponde ao menor tamanho de testada x a metragem mínima (em m²) que o lote pode possuir.

A análise dos dados das ZR's permitiu verificar a similaridade dos parâmetros construtivos, em relação ao tipo de ocupação permitida no caso de construções destinadas à habitações unifamiliares. Elas foram então agrupadas conforme esta similaridade em quatro categorias, a fim de facilitar a posterior realização das simulações: categoria 1 (ZR-2 e ZR-U); categoria 2 (ZR-3); categoria 3 (ZR-O) e categoria 4 (ZR-1, ZR-F, ZR-B, ZR-M, e ZR-AG).

3.2 DEFINIÇÕES DE MORFOLOGIA E IMPLANTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO ANALISADA

Tendo sido realizados os levantamentos referentes à legislação edilícia das ZR's e obtidos os parâmetros construtivos permitidos para cada uma delas, partiu-se para a determinação das variáveis relativas à ocupação dos lotes, orientação das divisas, horas de corte e dimensão das aberturas. As variáveis possíveis para a ocupação dos lotes relacionam dados morfológicos da edificação como altura máxima, disposição da construção no interior do lote, disposição das aberturas, entre outros. A orientação das divisas refere-se à sua posição das divisas laterais (as que fazem limite entre as construções adjacentes) em relação aos principais

pontos cardeais – Norte (N), Nordeste (NE), E (E), Sudeste (SE), Sul (S), Sudoeste (SO), Oeste (O) e Noroeste (NO). Não fazem parte desta análise a divisa frontal (testada) e a divisa dos fundos.

As horas de corte (*cut-off times*) é como se denomina a restrição de tempo, na qual se determina qual o período de acesso solar que a construção do envelope solar permitirá no interior da área ou lote analisado (KNOWLES, 2003).

A dimensão das aberturas relaciona-se à percentagem de sua área comparada à área da parede que a contém. Estes conceitos são mais bem detalhados ao longo deste capítulo, a seguir.

3.2.1 Critérios para Seleção das Implantações-Padrão

Com os padrões de ocupação definidos para cada ZR, foram criadas ocupações hipotéticas no terreno-padrão de cada uma delas. Obteve-se como resultado oito possibilidades, mostradas a seguir na Figura 43, que representam modelos genéricos de ocupação.

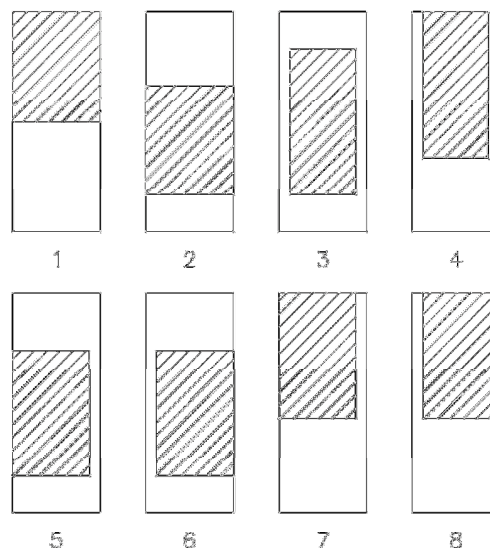


Figura 43 - Modelos de possíveis ocupações de lotes nas ZR's conforme os parâmetros construtivos exigidos por Lei.

Fonte: Pesquisa.

Observa-se na Figura 43 as possíveis ocupações simuladas, que foram:

- Modelo 1: Ocupação encostada no fundo do lote, sem recuos laterais;
- Modelo 2: Ocupação total na parte frontal do lote, logo após o recuo frontal, sem recuos laterais;
- Modelo 3: Ocupação distribuída logo após o recuo frontal, com recuos em ambas as laterais;
- Modelo 4: Ocupação encostada no fundo do lote, com recuos em ambas as laterais;
- Modelo 5: Ocupação localizada na parte frontal do lote, logo após o recuo frontal, com um recuo na lateral direita, para quem observa o lote de frente para a testada;
- Modelo 6: Ocupação localizada na parte frontal do lote, logo após o recuo frontal, com um recuo na lateral esquerda, para quem observa o lote de frente para a testada;
- Modelo 7: Ocupação encostada no fundo do lote, com um recuo na lateral direita, para quem observa o lote de frente para a testada;
- Modelo 8: Ocupação encostada no fundo do lote, com um recuo na lateral esquerda, para quem observa o lote de frente para a testada.

A partir dessas oito possibilidades, foram realizadas combinações de possíveis disposições entre lotes-tipo, que resultaram em 64 tipos de simulações, como mostra a Figura 44.

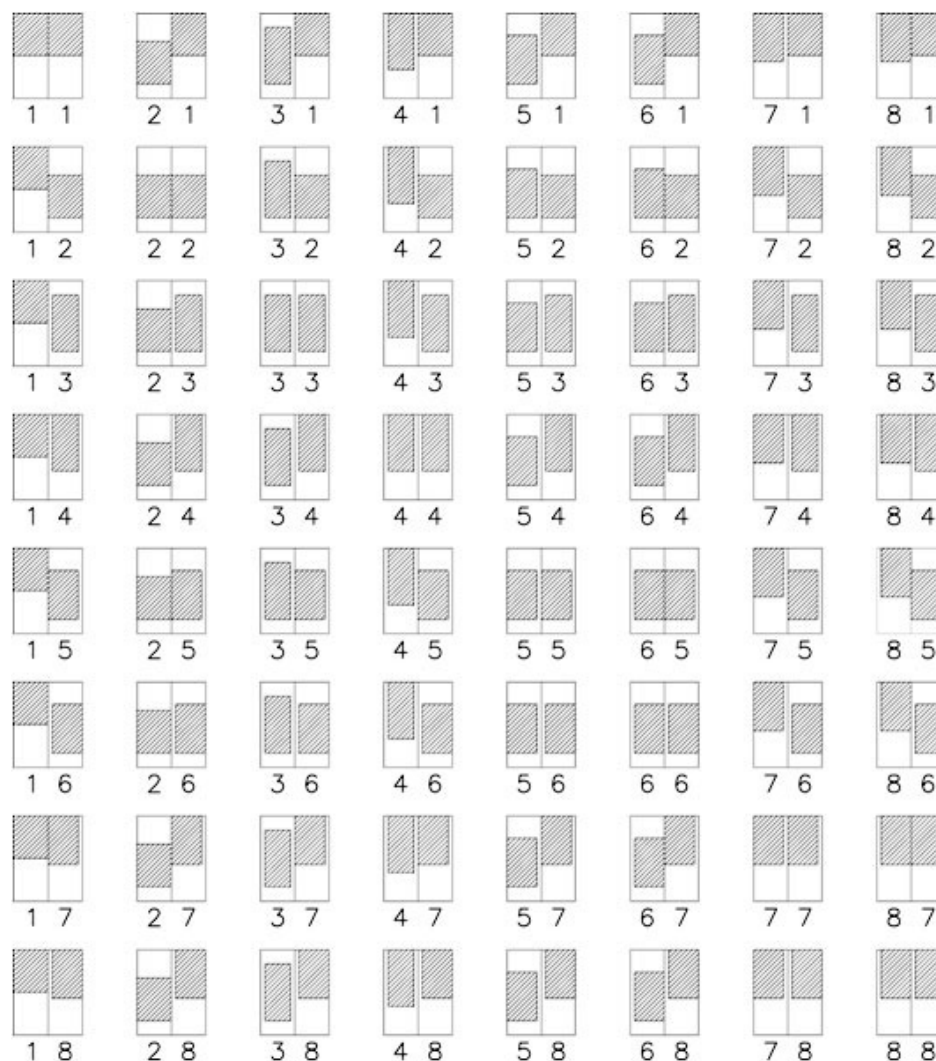


Figura 44 - Simulações com os modelos de ocupação de lotes, indicando a posição das construções entre lotes vizinhos.

Fonte: Pesquisa.

Com a obtenção dos modelos para a ocupação dos lotes, padronizou-se a terminologia “edificação teste” para se referir à edificação cujo acesso solar será analisado no trabalho; e “edificação adjacente” para denominar a construção que se situa ao lado da edificação teste (obstrução). A seguir, considerando que o estudo visa analisar o comportamento da incidência solar no interior edificação-teste, descartou-se as situações em que esta possui recuo lateral, já que neste caso não haverá aberturas, e conseqüentemente não haverá entrada de luz solar. Adotou-se como edificação-teste a que se situa no lote que está à direita do observador situado de frente para a testada. Considerou-se também que a edificação adjacente (que servirá de obstrução para o acesso solar) teria a ocupação total do terreno, sem

recuos laterais, representando assim uma construção com todos os parâmetros construtivos aproveitados em seu limite, incluída a altura da edificação. A edificação-teste, por sua vez, (lote da direita) teria recuo nas duas laterais, e apenas um pavimento, representando uma ocupação com utilização média do potencial construtivo permitido. A Figura 45 indica as implantações descartadas segundo estes critérios.

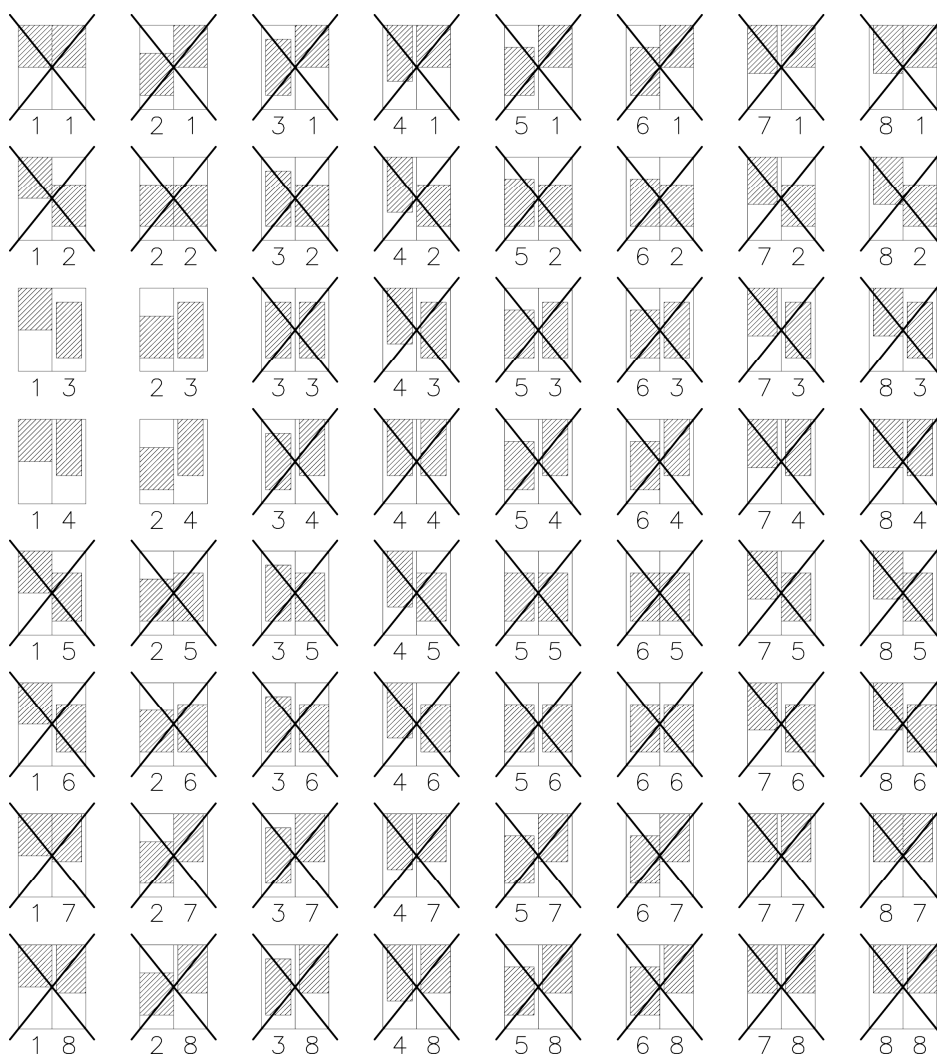


Figura 45 - Possíveis implantações para as simulações descartadas indicadas por um “X”.

Fonte: Pesquisa.

Restaram assim quatro possíveis combinações, apresentadas na Figura 46.

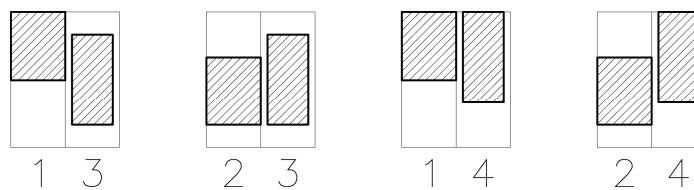


Figura 46 – Possíveis combinações de implantações segundo os parâmetros de ocupação adotados.

Fonte: Pesquisa.

Analisando estas ocupações, pode-se reconhecer as seguintes situações na divisa a ser analisada:

- Implantação 1-3: 50% de obstrução possível da edificação adjacente sobre a abertura a ser analisada, com a maior parte da edificação situada na parte dos fundos do lote.
- Implantação 2-3: 100% de obstrução possível da edificação adjacente sobre a abertura a ser analisada.
- Implantação 1-4: 100% de obstrução possível da edificação adjacente sobre a abertura a ser analisada.
- Implantação 2-4: 50% de obstrução possível da edificação adjacente sobre a abertura a ser analisada, com a maior parte situada na região frontal do lote.

Descartou-se as opções 1-3 e 2-4, pois nestas a obstrução atinge apenas em parte a abertura, situação que foge da proposta do trabalho, que é analisar o acesso solar possível com a máxima obstrução permitida por lei. Ficou-se assim com as opções 2-3 e 1-4. Destas, optou-se finalmente pela implantação 2-3, já que esta está distribuída de forma mais homogênea nos lotes e é mais comumente observada nas ZR's, ao contrário da 1-4, que está posicionada totalmente nos fundos do lote.

Assim, foi selecionada a simulação de ocupação para os dois lotes vizinhos (edificação adjacente e edificação-teste) que seriam analisados. A sequência de figuras abaixo representa a implantação adotada já aplicada para cada lote-padrão das ZR's.

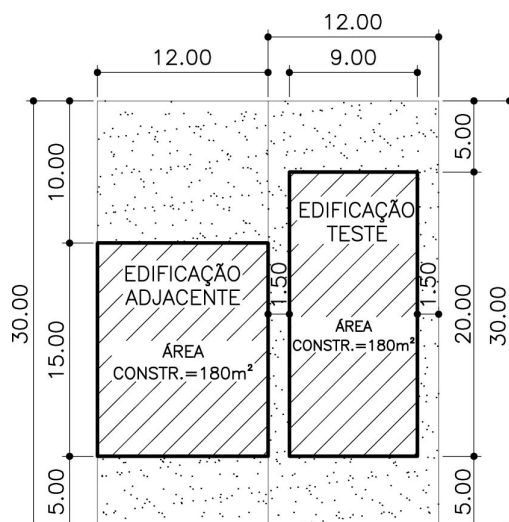


Figura 47 - Implantação adotada para a realização das simulações nas Zonas Residenciais Dois (ZR-2) e Umbará (ZR-U).

Fonte: Pesquisa.

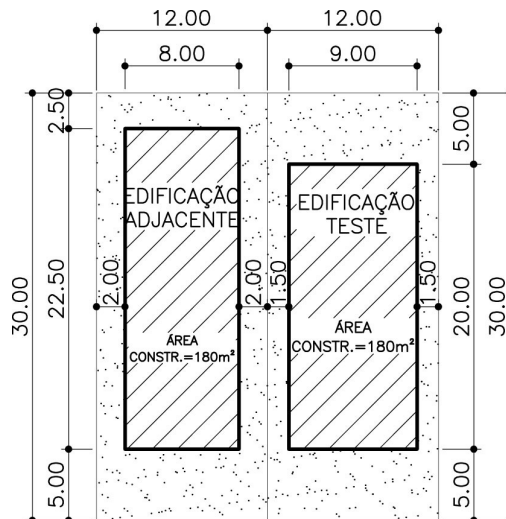


Figura 48 - Implantação adotada para a realização das simulações na Zona Residencial Três (ZR-3).

Fonte: Pesquisa.

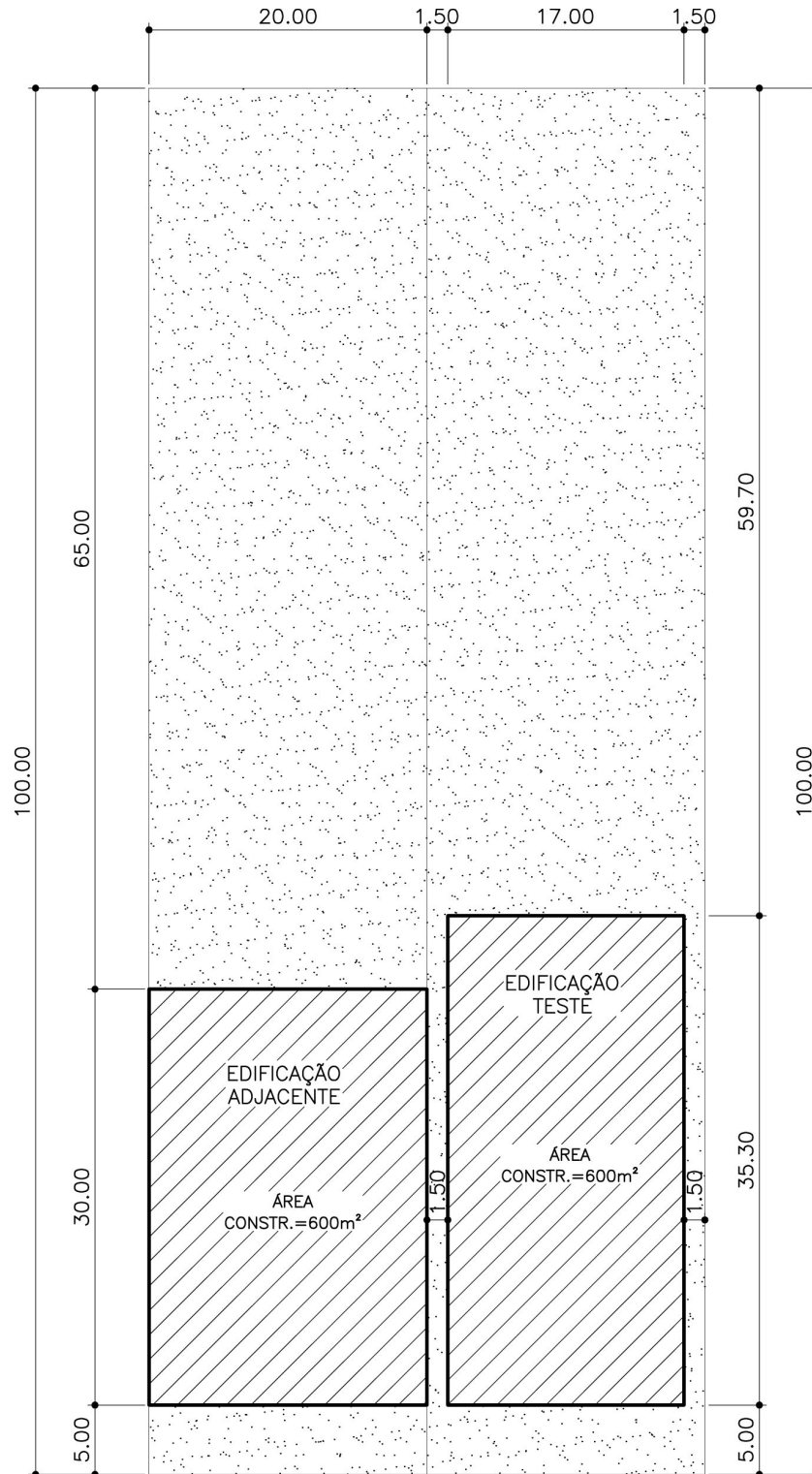


Figura 49 - Implantação adotada para a realização das simulações na Zona Residencial de Ocupação Controlada (ZR-O).

Fonte: Pesquisa.

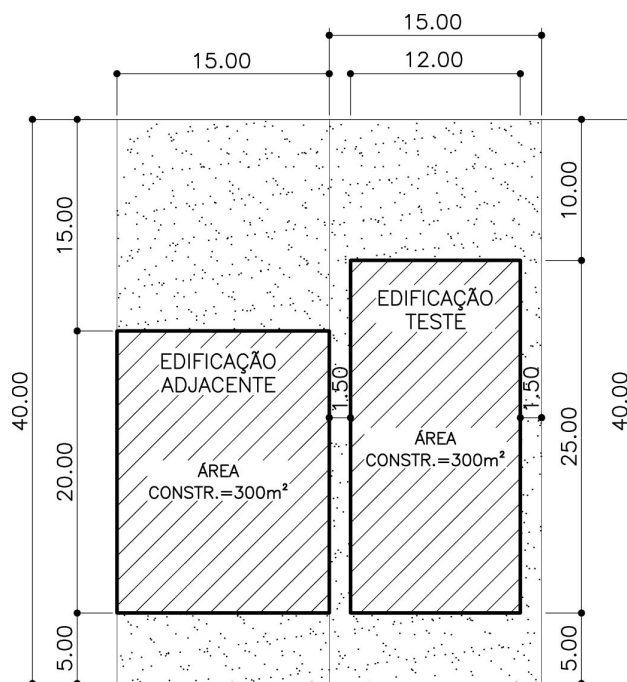


Figura 50 - Implantação adotada para a realização das simulações na Zona Residencial Um (ZR-1), Santa Felicidade (ZR-SF), Passaúna (ZR-P), Batel (ZR-B), Mercês (ZR-M) e Alto da Glória (ZR-AG).

Fonte: Pesquisa.

Nas figuras acima, observa-se que a edificação adjacente (à esquerda para o observador que está de frente para a testada dos lotes) utiliza o máximo potencial permitido pela legislação, encostando o limite da edificação na divisa do lote, pois não possui abertura nesta face. A única exceção ocorre no caso da implantação da ZR-3 (Figura 48), onde a edificação adjacente apresenta um recuo lateral de 2,0m. Isto ocorre porque para esta Zona Residencial, a legislação só permite a utilização do potencial construtivo total (altura máxima de 10m) caso haja este recuo. Já o lote à direita (edificação-teste) possui recuos nas duas laterais de 1,50m em todas as situações. A abertura a ser analisada no trabalho situa-se na lateral da divisa esquerda deste lote.

A partir da edificação-teste, procedeu-se à análise das condições de insolação e de iluminação no interior desta edificação. Considerou-se um único ambiente, dotado de uma única abertura lateral, que é voltada ao lote da edificação adjacente.

Para a abertura da parede na divisa da edificação-teste, adotou-se o fator WWR (*Window Wall Ratio*). Deringer e Bush (1992) relatam que, ao lado de fatores

como número de pavimentos, orientação da fachada principal, área construída, volumetria, a relação entre a área envidraçada pela área da fachada (*Window Wall Ratio*) - WWR exerce forte influência no aumento da carga térmica no ambiente construído. O WWR é definido como o percentual recomendado para a área envidraçada, em relação à área opaca da fachada. Esta relação visa garantir um nível de iluminação natural adequado, com o controle da insolação desejada. Para sua determinação, o WWR considera as dimensões do ambiente analisado (pé direito, largura e profundidade). Para o estudo determinou-se três fatores de WWR: 25%, 50% e 75%. Esta relação é calculada pela razão entre a área da janela ou a área total do vão (excluindo-se os caixilhos) e a área total da parede (comprimento x pé-direito). A Figura 51 indica as dimensões para cada fator de WWR.

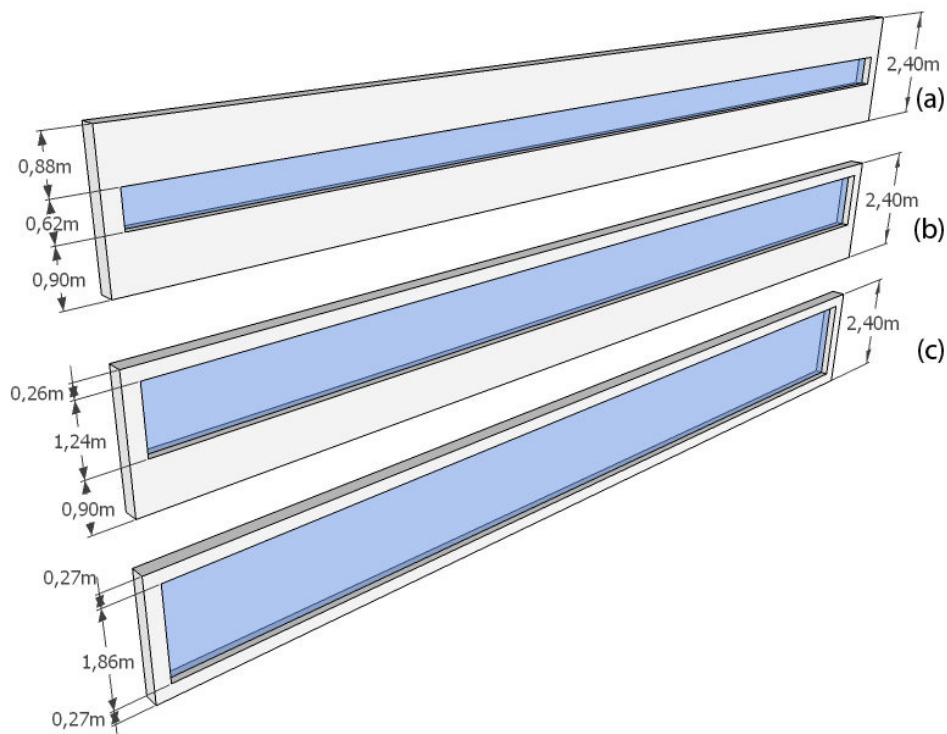


Figura 51 - Dimensões para aberturas em cm. (a) WWR= 25%; (b) WWR=50%; (c) WWR = 75%.

Fonte: Pesquisa.

Desta forma, concluiu-se o processo de definição da morfologia para as edificações a serem analisadas. A Figura 52 apresenta um exemplo do que seria uma implantação real da edificação adjacente e da edificação-teste de acordo com os parâmetros adotados.

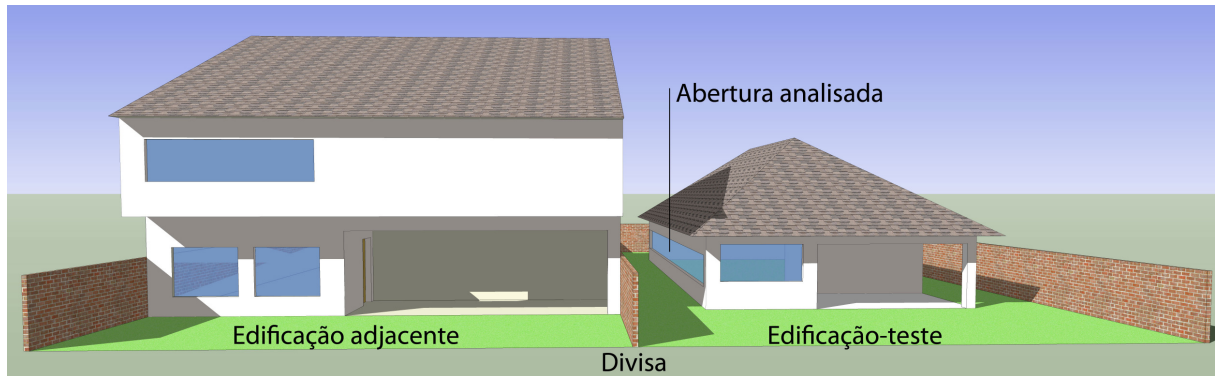


Figura 52 – Exemplo de implantação conforme padrões de ocupação adotados.

Fonte: Pesquisa.

3.2.2 Escolha das Orientações Cardeais para a Divisa e para a Testada das Implantações-Padrão

Tendo sido definida a morfologia e a implantação da edificação adjacente e da edificação-teste, partiu-se para a seleção das orientações cardeais da divisa cuja abertura da edificação-teste se direcionaria.

Foi realizado um estudo piloto com as principais orientações, considerando-se que não existissem obstruções ao sol, para verificação do seu potencial de captação de luz solar no solstício de inverno (22/06). Para isto, foi utilizada a carta solar. A Figura 53 apresenta as horas com acesso solar para a fachada N e os Apêndices G a M apresentam as demais cartas solares e as horas com acesso solar para as fachadas NE, E, SE, S, SO, O e NO para a latitude de Curitiba (25°31'S).

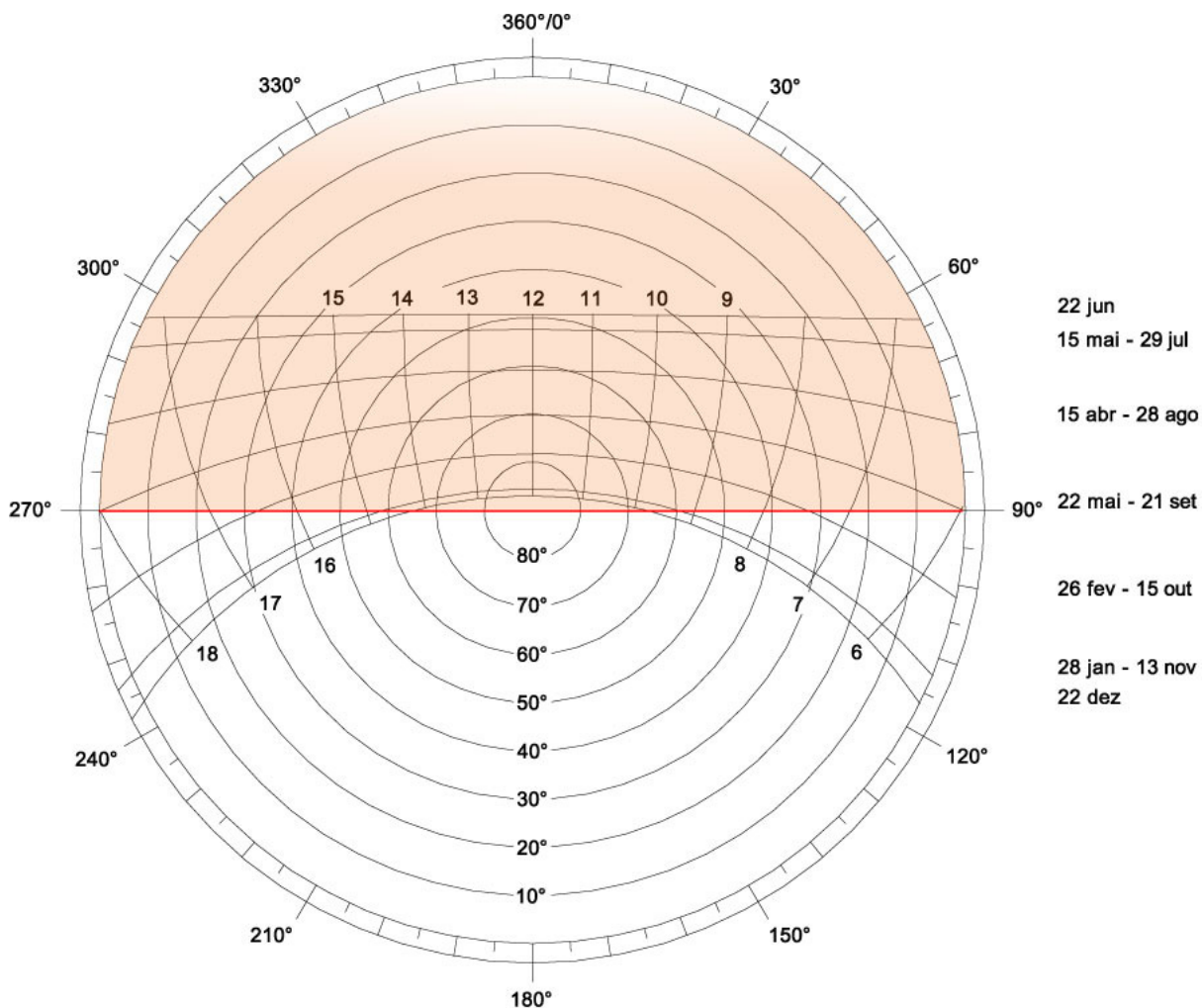


Figura 53– Carta solar com horários de insolação para a fachada N na latitude de Curitiba (25°31'S).

Fonte: Adaptado de Carta Solar elaborada por Francine Rossi e dados de Bittencourt (2000).

A área em vermelho na carta solar indica a face da fachada que permanece exposta ao sol no período de inverno. As horas em que este evento ocorre são as horas que permanecem nesta área colorida, no cruzamento com a linha referente ao dia 22 de junho (solstício de inverno).

O Quadro 5 abaixo sintetiza os dados obtidos com a utilização da carta solar para as principais orientações, os períodos em que ocorre acesso solar durante o período de inverno, e a quantidade total de horas com insolação por dia obtidos.

Divisa	Início do acesso solar	Término do acesso solar	Total de Horas com acesso/dia
N	7h00	17h00	10
NE	7h00	15h00	8
E	7h00	12h00	5
SE	7h00	9h00	2
S	----	----	0
SO	15h00	17h00	2
O	12h00	17h00	5
NO	9h00	17h00	8

Quadro 5 - Quadro indicativo de horas com acesso solar para cada principal orientação cardeal, para o solstício de inverno para a latitude de 25°31'S, sem obstrução de acesso solar junto à abertura.

Fonte: Pesquisa.

Optou-se por excluir a análise da fachada S, pois a mesma não apresenta potencial significativo para captação de luz solar no inverno na latitude em questão. O mesmo ocorreu para a situação de solstício de verão que foi excluída da análise, pois nesta circunstância, para a localização geográfica de Curitiba, as alturas solares, ainda que permitam iluminação natural difusa, não apresentam uma importância tão crucial quanto no período de inverno, quando o aquecimento solar é fundamental.

A Figura 54 demonstra um exemplo de disposição da implantação na carta solar para a análise das horas de sol disponíveis. A análise considerou como ponto de referência o centro da abertura localizada na divisa da edificação-teste. O polígono em laranja representa o período em que seria obtido acesso solar. No exemplo, a edificação-teste tem a divisa com orientação NO para a edificação adjacente, e as duas têm suas testadas orientadas a NE, recebendo insolação durante o solstício de inverno por pouco menos de uma hora (das 9h00 às 9h40).

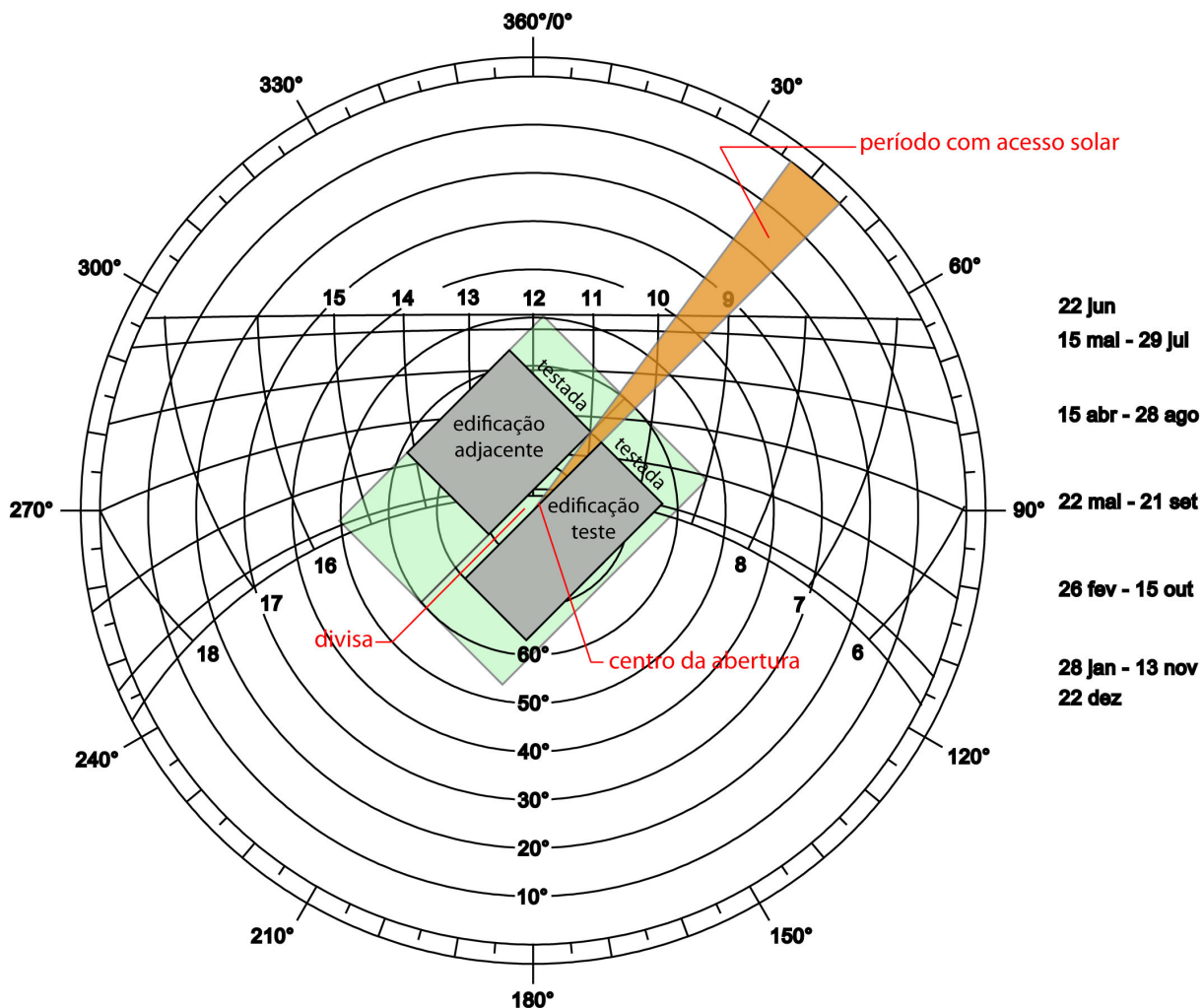


Figura 54 - Exemplo de disposição da implantação analisada na carta solar para avaliação das horas de acesso solar para a abertura.

Fonte: Adaptado de Carta Solar elaborada por Francine Rossi e dados de Bittencourt (2000).

Observou-se também que não só a orientação da divisa, mas também a sua posição em relação à localização da testada do lote influi no acesso solar final, quando analisadas sofrendo a influência da obstrução produzida pela edificação adjacente.

Desta forma, foram analisadas as combinações para divisa e testada em cada orientação selecionada (N, NE, E, SE, SO, O e NO). As respectivas cartas solares para cada situação são apresentadas nos Apêndices N a T.

Para cada implantação resultante da orientação da divisa e da testada, obteve-se pela leitura da carta solar os seguintes recortes de horários com acesso

solar para a abertura analisada com obstrução causada pela edificação adjacente, relacionados a seguir. Os horários são dados em valores aproximados.

- Implantação (a): divisa N com testada voltada para o O: acesso solar com início às 07h00 e término às 17h00.
- Implantação (b): divisa N com testada voltada para E: acesso solar com início às 07h00 e término às 17h00.
- Implantação (c): divisa NE com testada voltada para o NO: acesso solar com início às 14h30 e término às 15h00.
- Implantação (d): divisa NE com testada voltada para o SE: acesso solar com início às 13h30 e término às 15h00.
- Implantação (e): divisa E com testada voltada para o N: acesso solar com início às 11h30 e término às 12h00.
- Implantação (f): divisa E com testada voltada para o S: acesso solar com início às 11h00 e término às 12h00.
- Implantação (g): divisa SE com testada voltada para o NE: acesso solar com início às 08h00 e término às 09h00.
- Implantação (h): divisa SE com testada voltada para o SO: acesso solar com início às 07h00 e término às 09h00.
- Implantação (i): divisa SO com testada voltada para o NO: acesso solar com início às 15h00 e término às 15h30.
- Implantação (j): divisa SO com testada voltada para o SE: acesso solar com início às 15h00 e término às 17h00.
- Implantação (k): divisa O com testada voltada para o N: acesso solar com início às 12h00 e término às 13h30.
- Implantação (l): divisa O com testada voltada para o S: acesso solar com início às 12h00 e término às 13h00.
- Implantação (m): divisa NO com testada voltada para o NE: acesso solar com início às 09h00 e término às 09h40.
- Implantação (n): divisa NO com testada voltada para o SO: acesso solar com início às 09h00 e término às 10h20.

O Quadro 5 sintetiza estes dados relacionando cada tipo de implantação (somatório de posição de divisa e testada) com as horas de acesso solar, para aberturas com obstrução.

Tipo Implantação	Orientação Divisa	Orientação Testada	Início do acesso solar (hora)	Término do acesso solar (hora)	Total de acesso/dia (min)
a	N	O	07h00	17h00	600
b		SE	07h00	17h00	600
c	NE	NO	14h20	15h00	40
d		SO	13h30	15h00	90
e	E	N	11h30	12h00	30
f		S	11h00	12h00	60
g	SE	NE	08h00	09h00	60
h		SE	07h00	09h00	120
i	SO	NO	15h00	15h30	30
j		SE	15h00	17h00	120
k	O	N	12h00	12h30	30
l		S	12h00	13h00	60
m	NO	NE	09h00	09h40	40
n		SO	09h00	10h20	80

Quadro 5: Relação entre orientação de divisa, de fachada e a quantidade total de tempo com acesso solar obtidos para cada uma das implantações simuladas, sob influência da obstrução provocada pela implantação adjacente.

Fonte: Pesquisa.

Como o uso do envelope solar restringe o volume total da edificação, optou-se por utilizar as implantações com menor potencial de captação de luz natural. Assim, pela leitura visual das cartas solares e da análise das horas de acesso solar para cada implantação, selecionou-se enfim as implantações c, e, g, i, k, e m, por serem as que apresentam menor potencial de acesso solar, na presença de obstrução. Este critério de seleção não foi utilizado apenas para as implantações voltadas a N, onde os dois tipos de orientação de divisa possuem o mesmo potencial para o acesso solar. Assim, optou-se por selecionar a implantação a.

A Figura 55 indica a posição cardeal para cada orientação de divisa com obstrução produzida pela edificação adjacente que foram selecionadas para análise conforme todos os critérios anteriormente descritos.

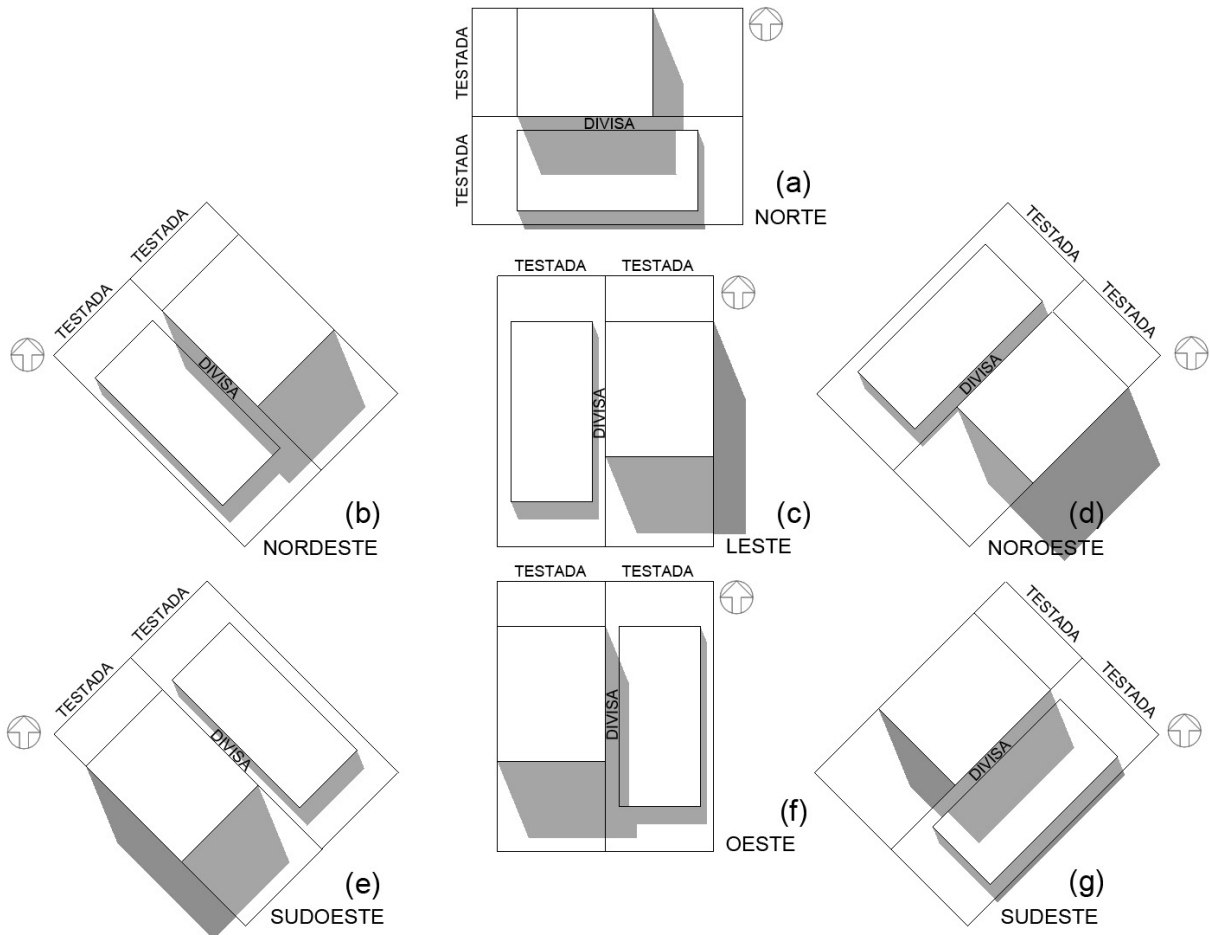


Figura 55 - Orientações de divisa do lote padrão, para os seguintes pontos cardeais: (a) N, (b) NE, (c) E, (d) NO, (e) SO, (f) O e (g) SE.

Fonte: Pesquisa.

3.2.3 Parâmetros para Aplicação do Conceito de Envelope Solar nas Implantações-Padrão

Para a determinação da morfologia do envelope solar, selecionou-se as horas de corte. Estas variaram para cada orientação, de acordo com seu potencial de captação da iluminação natural seguindo-se, entretanto, o padrão de 4 horas diárias

de acesso solar na fachada N para o solstício de inverno, conforme sugeridas pela *L.A. Community Redevelopment Agency - CRA* (GRAZZIOTIN, 2003). As horas foram definidas sendo as mais próximas das 12h00, de forma que as alturas solares fossem as maiores possíveis, para minimizar a restrição volumétrica para cada envelope solar resultante. Inicialmente foram definidos os seguintes períodos: para a divisa N, NE e NO, das 10h00 às 14h00; para a divisa E, das 08h00 às 12h00; para a divisa O das 12h00 às 16h00. As divisas SE e SO não puderam manter o padrão de 4 horas, pois seu acesso solar já é naturalmente mais restrito. Assim, estas orientações tiveram as horas de corte restritas a 2 horas. Assim, inicialmente a divisa SE teria as horas de corte das 07h00 às 09h00; e a fachada SO das 15h00 às 17h00.

Entretanto, durante o levantamento das alturas solares correspondentes a cada horário, verificou-se que para a divisa SE, no horário das 07h00, a altura solar é zero, o que impossibilitaria a construção do envelope solar. Por este motivo, optou-se por reduzir as horas de corte para o período das 08h00 às 09h00, a fim de viabilizar a construção do envelope solar, e garantir ao menos uma hora de acesso solar diário para as divisas SE. A fachada SO também teve seu período com acesso solar garantido reduzido, pois durante a realização das simulações verificou-se que a luz solar só se torna disponível a partir das 15h30; por isto, optou-se por iniciar as horas de corte desta divisa às 16h00, indo até as 17h00. O mesmo ocorreu com a divisa O, cujo acesso solar inicia-se a partir das 12h35, e que por isso teve suas horas de corte alteradas para o período das 13h00 às 16h00.

É importante ressaltar que a implantação obtida pelo estudo com o envelope permanece respeitando os limites máximos exigidos na lei, podendo tornar-se mais restritiva do que seria caso se aplicasse unicamente os princípios para o envelope solar.

Para a determinação das alturas solares para cada orientação para a posição geográfica da cidade de Curitiba (latitude $25^{\circ}31'S$ e longitude $49^{\circ}11'O$), foi utilizado o recurso *Sun Properties*, disponível no programa AutoCAD. O Quadro 6 a seguir apresenta de forma condensada estes dados.

Orientação da Divisa	Início da Hora de Corte	Término da Hora de Corte	Total de horas com acesso solar	Azimute	Altura Solar
N	10h00	14h00	4	$\pm 29^\circ$	31°
NE	10h00	14h00	4	$\pm 29^\circ$	31°
E	08h00	11h00	3	$\pm 52^\circ$	11°
SE	08h00	09h00	1	$\pm 52^\circ$	11°
SO	16h00	17h00	1	$\pm 42^\circ$	22°
O	13h00	16h00	3	$\pm 52^\circ$	11°
NO	10h00	14h00	4	$\pm 29^\circ$	31°

Quadro 6 - Ângulos solares no solstício de inverno (21/06) utilizados na elaboração do envelope solar para as divisas N, NE, E, SE, SO, O e NO, para as horas de corte definidas, na cidade de Curitiba.

Fonte: Pesquisa.

Adotou-se também para a geometria do envelope solar a colocação em sua base de um patamar de com a altura resultante correspondente a cada WWR adotado. Para WWR=25% e 50%, o patamar = 0,90m, e para WWR=75%, o patamar possui a altura de 0,27m. Isto não interfere no resultado do acesso solar, e foi feito a fim de minimizar um pouco a restrição volumétrica causada quando se utiliza o envelope solar no dimensionamento volumétrico de edificações.

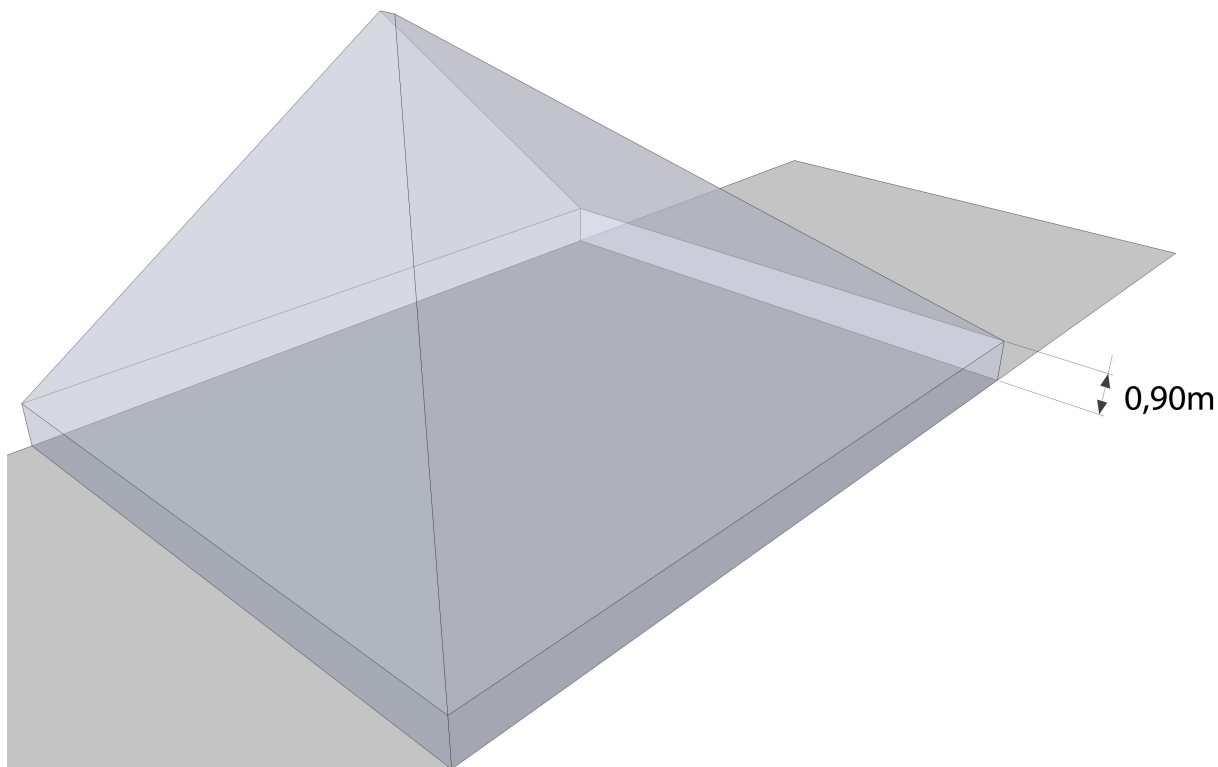


Figura 56 – Exemplo de volumetria para envelope solar construído sobre patamar de 0,90m.

Fonte: Pesquisa.

3.3. MODELOS FÍSICOS E PROGRAMAS UTILIZADOS NOS PROCESSOS ANALÍTICOS

Com as variáveis relativas às dimensões e à morfologia das edificações adjacentes e edificações-teste definidas, juntamente com a definição dos critérios de implantação e orientação solar, iniciaram-se as simulações propriamente ditas, relativas ao acesso solar com o equipamento Heliodon e com os programas Google SketchUp7.0.657 Pro e AutoCAD 2007, e as simulações referentes a índices de iluminância com o programa Relux Professional 2007.

3.3.1 Simulação de Iluminação Natural no Interior das Edificações-Padrão com o Equipamento Heliodon.

O Heliodon (Figura 57) é um equipamento utilizado para a simulação da trajetória solar de forma tridimensional em várias datas e horas do dia. A partir da latitude do local cuja insolação deseja-se observar, regula-se a inclinação em graus dos arcos que simulam a passagem do sol em determinada data do ano.

Para a realização das simulações, utilizou-se o equipamento Heliodon de propriedade da Universidade Tuiuti do Paraná (UTP). Este equipamento possui uma envergadura de raio de aproximadamente 3m, e é destinado ao uso dos alunos de graduação do curso de Arquitetura e Urbanismo da instituição. Com ele, a partir da elaboração de modelos arquitetônicos de escala reduzida, é possível verificar o comportamento solar sobre a edificação.

Elaborou-se maquetes físicas em papel paraná dos lotes em escala 1:50, das construções no limite permitido (obstrução), da edificação analisada, dos envelopes solares para cada orientação, juntamente com paredes de WWR's distintos que eram intercambiáveis. A seguir, foi acoplada à maquete uma câmera Nikon D-80 com lente Sigma de 8mm. Desta forma, foi possível compor as várias situações de ocupação analisadas, e registrar as simulações de acesso solar com a utilização de uma câmera fotográfica acoplada à base da maquete do lote. A Figura 58 apresenta um exemplo de imagem obtida pela simulação com o Heliodon.



Figura 57 - Equipamento Heliodon de propriedade do Laboratório de Conforto Ambiental da Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba.

Fonte: Foto realizada por Eduardo Krüger.



Figura 58 – Exemplo de resultado visual obtido com simulação de projeção de sombras no interior da ocupação-padrão com o equipamento Heliodon.

Fonte: Pesquisa.

3.3.2 Simulação de Iluminação Natural no Interior das Edificações-Padrão com o Programa Google SketchUp

As simulações para as alturas solares e projeções de sombras ao longo do dia no interior da edificação-teste foram realizadas no programa Google SketchUp 7.0.657 Pro, da Google. Este programa é disponibilizado na versão experimental válida por 8 horas no endereço eletrônico do fabricante. Ele se destaca dos programas de modelagem tridimensional pela simplicidade em seu uso e pela grande integração com outros programas CAD (*computer aided design*). É possível, por exemplo, modelar virtualmente os ambientes a se simular em programas proprietários como AutoCAD ou Autodesk 3ds Max, que possuem mais ferramentas de detalhamento e renderização, e posteriormente importar estes objetos para o SketchUp para a realização da simulação.

Após a realização da modelagem volumétrica, configurou-se a latitude e longitude para Curitiba através do comando *Model Info - Location* (Figura 59). A abertura voltada para a divisa é direcionada para a orientação desejada através do comando *Solar Orientation*. Foram realizadas simulações para o solstício de inverno (21/06), hora a hora, das 08h00 às 17h00. No Google SketchUp 7.0.657, o horário e o período do ano são programados através do comando *Shadow Settings*.

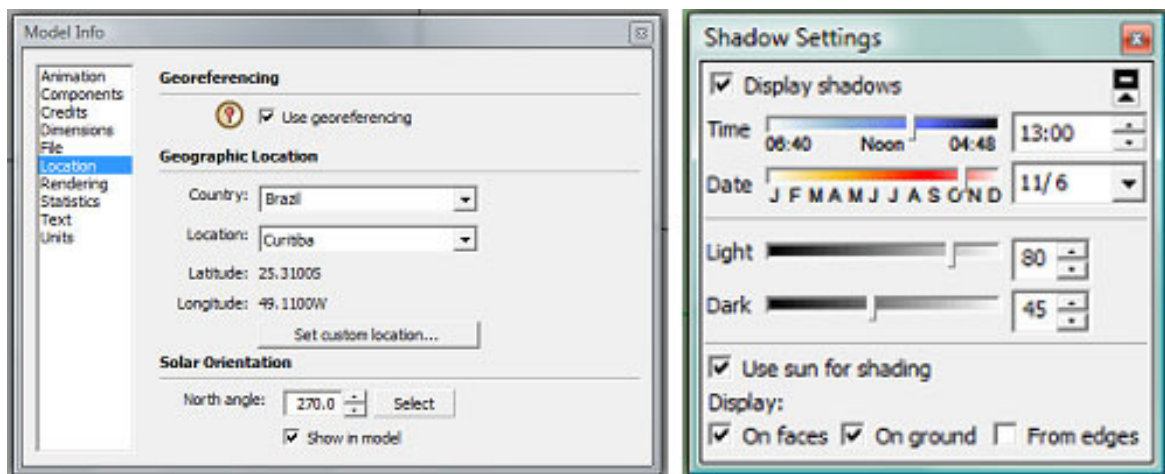


Figura 59 – Janelas dos comandos *Model Info* e *Shadow Settings* do programa Google SketchUp 7.0.657 Pro.

Fonte: Pesquisa.

Foram feitas duas sequências de simulações: a com a ocupação permitida pela legislação, e a com a utilização do conceito de envelope solar. Estas por sua vez possuem três subseqüências de simulações, para aberturas com WWR = 25%, 50% e 75%. A Figura 60 apresenta um exemplo de simulação de acesso solar obtida com a utilização do SketchUp.

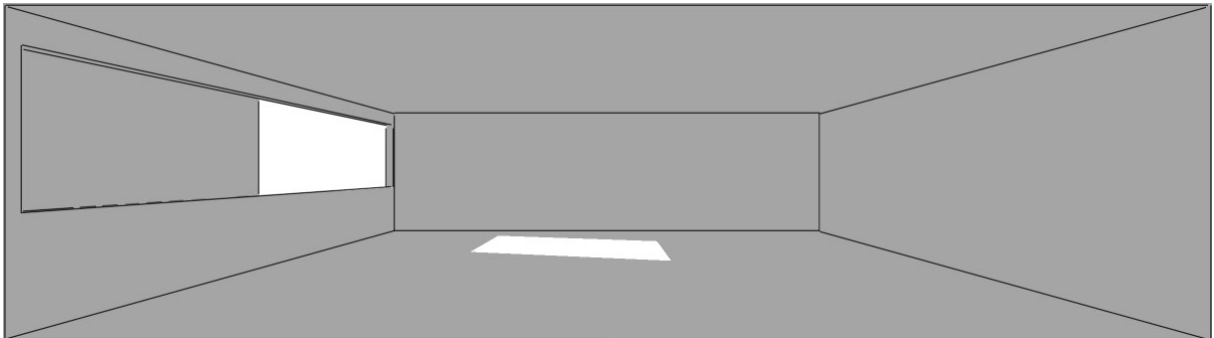


Figura 60 – Exemplo de resultado visual obtido com simulação de projeção de sombras no interior da ocupação-padrão com o programa SketchUp.

Fonte: Pesquisa.

3.3.3 Simulação de Iluminação Natural no Interior das Edificações-Padrão com o Programa AutoCAD.

O AutoCAD 2007 é um programa do tipo CAD (*computer aided design*, ou desenho auxiliado por computador), de licença proprietária da Autodesk Inc., e de uso amplamente difundido por profissionais da área de engenharia civil e arquitetura. Pode ser utilizado tanto para o desenho técnico bidimensional quanto para a realização de modelos tridimensionais. Os parâmetros geográficos são definidos em *Geographic Location*, e os horários desejados para a simulação em *Sun Properties*, como indicados na Figura 61.

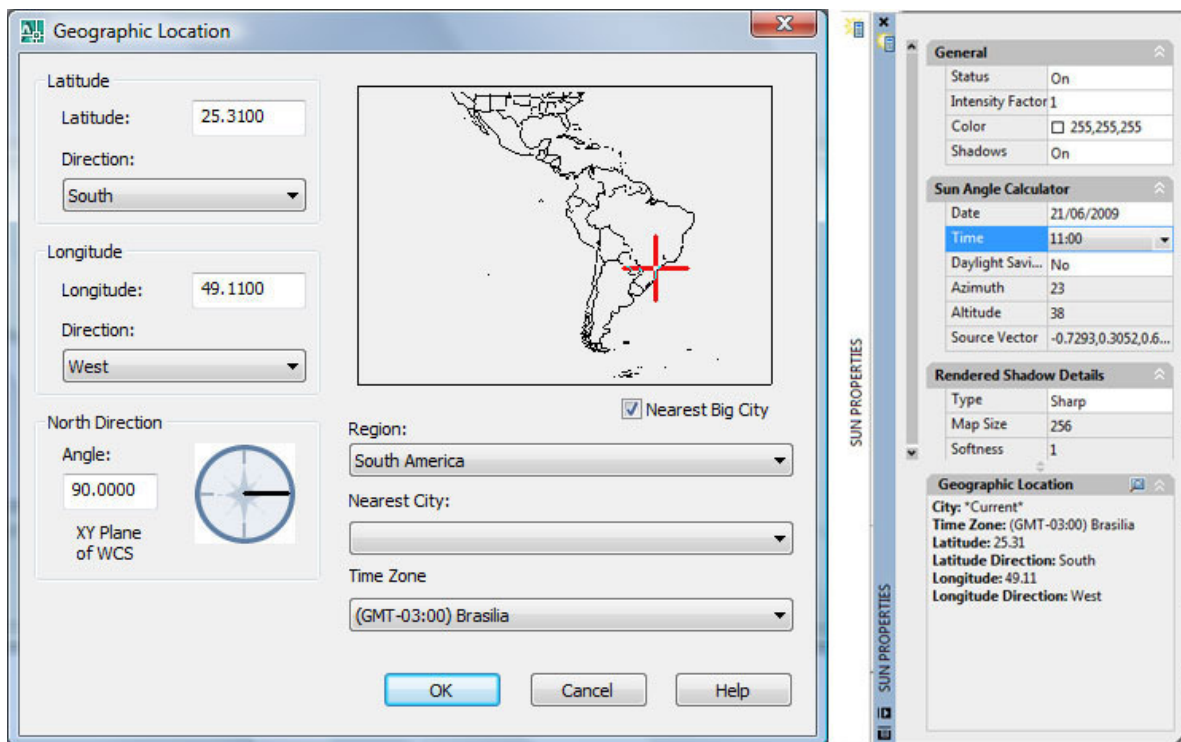


Figura 61 – Janelas dos comandos *Geographic Location* e *Sun Properties* do programa AutoCAD 2007.

Fonte: Pesquisa.

Foram realizadas as duas sequências de simulações, da mesma forma com que se procedeu com o programa SketchUp. A Figura 62 apresenta um exemplo de simulação de acesso solar obtido com o uso do programa AutoCAD.



Figura 62 – Exemplo de resultado visual obtido com simulação de projeção de sombras no interior da ocupação-padrão com o programa AutoCAD.

Fonte: Pesquisa.

3.3.4 Simulação de Iluminação Natural no Interior das Edificações-Padrão com o Programa RELUX Professional 2007

O Relux Professional 2007 é um programa desenvolvido pela Relux Informatik AG. Este programa, de interface intuitiva e grande facilidade de operação, possui ferramentas para realização de cálculos luminotécnicos, seja de iluminação natural ou artificial. Com ele é possível obter dados numéricos e visuais de iluminância, com tempo para renderização de imagens de forma bastante rápida, quando comparado a outros programas, como o RADIANCE, com a vantagem de ter a distribuição gratuita no site do fabricante.

Toledo (2008) realizou uma pesquisa sistemática sobre a quantidade de escritórios de arquitetura que utilizam programas computacionais para simulação de iluminação natural e artificial. Foram feitas entrevistas com 14 arquitetos/escritórios de arquitetura, todos filiados à AsBAI (Associação Brasileira de Arquitetos de Iluminação). A pesquisa indicou a preferência pelo Lumen Micro (71,42%), seguido pelos programas AGI 32, Relux e Dialux, todos com 21,42% da preferência. Em terceiro lugar, ficaram empatados os programas Calculux, Lightscape e ECOTECH (7,14%). Optou-se pela utilização do programa Relux, pois apesar de ser citado em segundo lugar é de licença livre, enquanto que o primeiro colocado na preferência é de licença proprietária.

Segundo dados obtidos no site do fabricante (Relux Informatik)⁴⁷, o programa tem o manuseio simples e intuitivo. Possui assistente para auxílio na realização das funções, com um sistema de arrastar e soltar, que dinamiza sua utilização. Permite a importação de modelos tridimensionais nas extensões ".dxf" e ".dwg", o que facilita a utilização simultânea do Relux Professional com outros programas de modelagem tridimensional como AutoCAD e 3D Studio Max.

O programa oferece opções para simulação tanto de luz artificial quanto de iluminação natural. Após a construção da volumetria do ambiente que será analisado, que pode tanto ser feita no Relux quanto importada de programas proprietários de modelagem como o AutoCAD ou o 3D Studio Max, procede-se à determinação dos horários desejados em *Data – Definição para divisão – Luz*

⁴⁷ Disponível em: < <http://www.relux.biz/>>. Acesso em: 21 dez. 2009.

Natural, e a configuração dos parâmetros geográficos em *Data – Definição para divisão – Luz Natural – Localização*. A Figura 63 indica as janelas dos comandos do programa para a entrada destes dados.

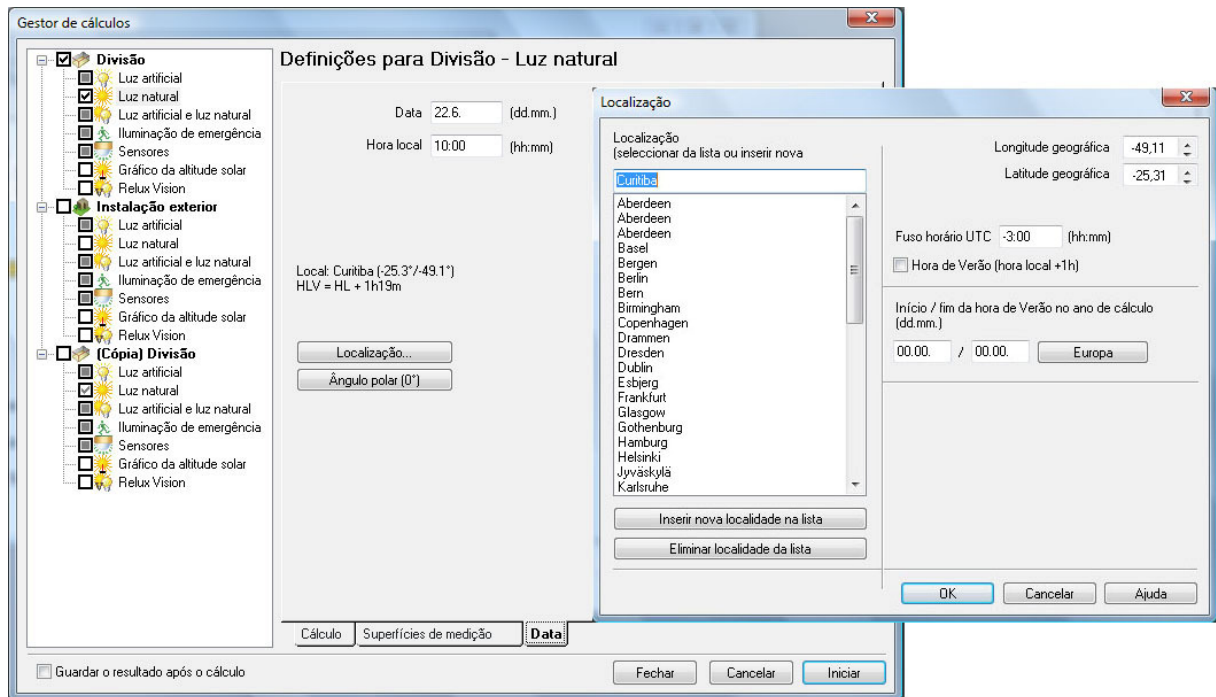


Figura 63 – Janelas dos comandos *Luz Natural* e *Localização* do programa Relux.

Fonte: Pesquisa.

3.4 PARÂMETROS DE ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA O ACESSO SOLAR

A análise das simulações de horas de sol e de fração de luz/área foram realizadas com a avaliação dos resultados obtidos com o equipamento Heliodon, e com os programas AutoCAD e SketchUp para a verificação da sua correlação.

Os dados são apresentados em fração de luz / imagem, que é obtida relacionando-se a área iluminada no interior da edificação de cada imagem para cada hora, pelo valor total de sua área. A fração de luz/imagem é representada pelo somatório dos valores de hora a hora para cada WWR.

O cálculo da fração de luz/imagem é feito com a utilização do programa AutoCAD. As imagens obtidas pelas simulações são importadas para o programa, e

com a ferramenta de cálculo de área, são determinadas a área total da imagem e a área iluminada da imagem, conforme demonstra a Figura 64 a seguir:

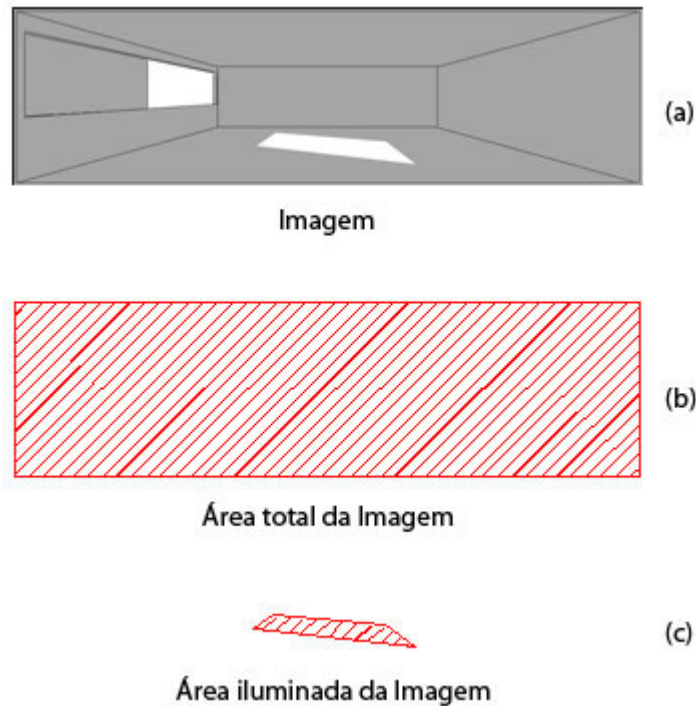


Figura 64 - Obtenção da fração luz/imagem. (a) Imagem; (b) área total da imagem; (c) área iluminada da imagem.

Fonte: Pesquisa.

Fixou-se o WWR=50% como valor de referência, e a partir dele calculou-se a variação obtida para 25% e 75%.

Para a análise do acesso solar em lotes utilizando-se o conceito de envelope solar, foram realizadas novamente as simulações com os mesmos equipamentos e programas. O envelope solar foi dimensionado conforme descrito por Knowles (2003), para o solstício de inverno.

Com a análise dos resultados obtidos das simulações, foi possível realizar o comparativo com o aumento efetivo de acesso solar para a edificação unifamiliar para cada ZR de Curitiba analisada quando utilizado o envelope solar. Foram relacionadas as médias dos somatórios dos valores para cada horário obtidos pelas simulações com o Heliodon, SketchUp e com o AutoCAD, e com a implantação permitida por lei. A seguir, relacionou-se numericamente os resultados para os dois

tipos de ocupação, a fim de se avaliar o real acréscimo ao acesso solar com o uso do envelope solar, e qual seria a influência do WWR para cada situação.

Com os dados de fração de luz devidamente analisados, partiu-se para a análise das iluminâncias internas no ambiente único da edificação-teste com o programa Relux. Foram realizadas as modelagens do ambiente interno a ser avaliado, para cada divisa, WWR, com obstrução e com envelope solar no Relux. Para as análises hora a hora foram selecionadas as horas de corte determinadas anteriormente para cada divisa. Adotou-se como valor de referência para iluminância o estabelecido pela Norma ABNT NBR 5413 (1992), que determina o nível mínimo de iluminação igual a 150 lux no caso de ambientes de estar em residências. Adotou-se também a recomendação da ABNT NBR 15215-3 (2005), que trata de iluminação natural, onde se sugere para procedimentos de determinação da mesma em ambientes internos a realização de simulações com o nível de iluminamento para o plano horizontal igual a 0,75m. O programa Relux apresenta os resultados das simulações para iluminâncias em dados numéricos e em representações gráficas (distribuição dos valores numéricos, visualização de isolinhas, representação das áreas com valores similares como manchas coloridas (cores falsas) no plano de referência, e vista tridimensional da distribuição da luz). Os dados de iluminância são apresentados em valores médios, mínimos e máximos. O programa fornece também os fatores de uniformidade (g_1 e g_2). O fator de uniformidade g_1 demonstra a qualidade de distribuição da luz no ambiente, conforme a fração entre as iluminâncias mínima e média, indicando se o ambiente oferece boa distribuição da luz natural. O fator de uniformidade g_2 indica o grau de discrepância entre iluminância mínima e máxima, em termos relativos. A Figura 65 demonstra exemplos das representações gráficas produzidas pelo programa.

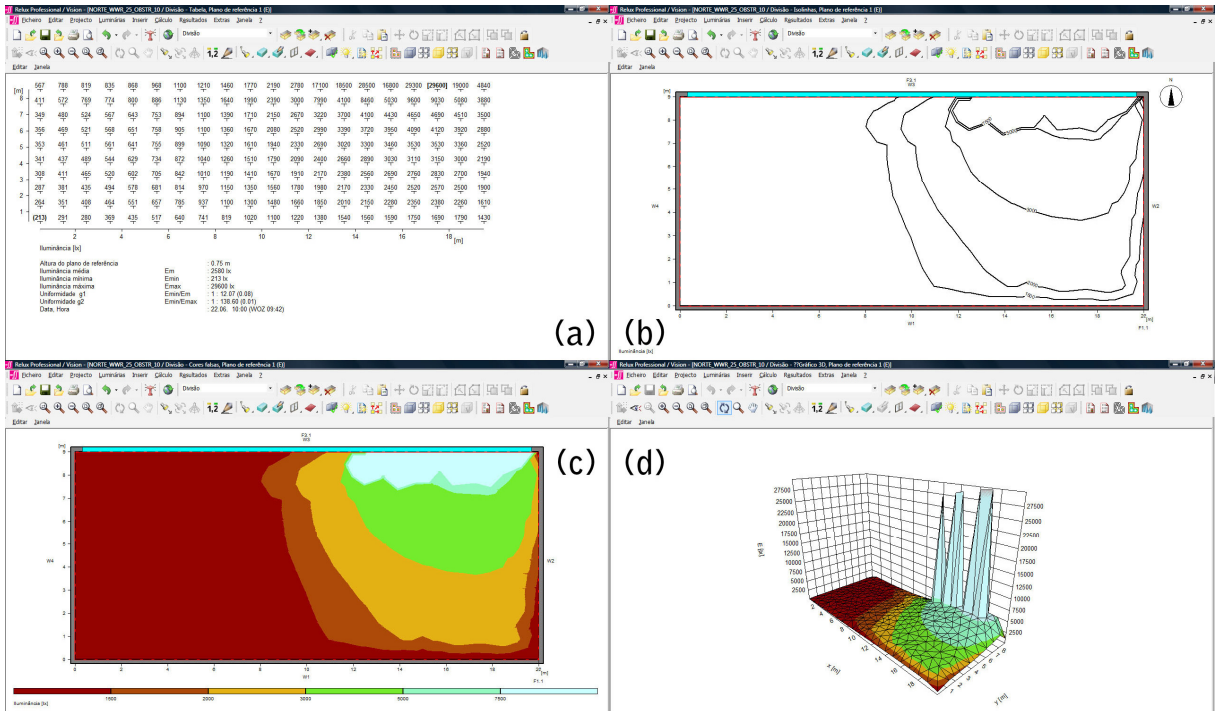


Figura 65 – Exemplos de resultados visuais de simulações de iluminância com o programa Relux. (a) distribuição de valores numéricos; (b) visualização de isolinhas; (c) representação da distribuição de iluminâncias por cores falsas; (d) visualização tridimensional da distribuição de luz.

4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados visuais e numéricos para os dados de fração de luz / imagem e em lux obtidos nas simulações de insolação para as ZR's residenciais. Estas foram agrupadas pela similaridade dos parâmetros de ocupação, conforme anteriormente definido, resultando em quatro tipos de simulações: Simulação 1 (Zona Residencial Dois e Zona Residencial Umbará), Simulação 2 (Zona Residencial Três), Simulação 3 (Zona Residencial de Ocupação Controlada), e Simulação 4 (Zona Residencial Um, Zona Residencial Santa Felicidade, Zona Residencial Batel, Zona Residencial Mercês e Zona Residencial Alto da Glória). A avaliação foi realizada com a elaboração das simulações do comportamento da luz natural incidente em edificações que seguem as diretrizes construtivas permitidas pela legislação edilícia e quando têm por base as recomendações volumétricas obtidas com o uso do envelope solar. Com as imagens obtidas nos programas SketchUp, AutoCAD e no equipamento Heliodon, foram realizados os cálculos de área para obtenção da relação de fração de luz / imagem para cada situação descrita. Estes dados por sua vez foram tabulados, permitindo a realização de comparativos numéricos que relacionam a variação no acesso solar resultante obtido de acordo com a aplicação dos três valores diferentes de WWR (25%, 50% e 75%) no interior de cada edificação-teste, para as situações conforme legislação e de acordo com o envelope solar. Com estes valores, foi possível mensurar quantitativamente qual é a contribuição efetiva ao incremento do acesso solar que o envelope solar pode apresentar nas edificações residenciais de Curitiba, de acordo com o potencial natural para prover acesso solar de cada orientação cardinal.

A avaliação contou também com a análise da iluminação em valores numéricos (dados em lux) para cada situação anteriormente descrita, com a utilização do programa Relux Professional 2007. Os dados resultantes são organizados pelo número da simulação referente, para cada orientação de divisa (N, NE, E, SE, SO, O e NO).

Para verificação da eficiência do método em prover os dados necessários, optou-se por realizar inicialmente uma simulação-teste do grupo referente à Simulação 1, para a fachada N. Os resultados obtidos são apresentados a seguir.

4.1 SIMULAÇÃO 1 – ZONAS RESIDENCIAIS DOIS (ZR-2) E UMBARÁ (ZR-U)

4.1.1 Simulação 1 – Divisa N

Optou-se por realizar inicialmente uma simulação-piloto com a divisa N, por ser a que possui o comportamento mais previsível (insolação durante o dia todo no período de inverno). A fim de se obter uma visão geral do comportamento solar, foi analisado inicialmente todo o período que recebe a luz do sol disponível (08h00 às 17h00).

A primeira sequência de simulações foi realizada no equipamento Heliodon. Entretanto, durante o experimento, verificou-se que, apesar dos resultados com a maquete no Heliodon tenderem para os obtidos nas simulações virtuais realizadas com os programas AutoCAD e SketchUp, apresentavam algumas divergências, causadas pelo que se apurou por problemas na instalação elétrica e nas lâmpadas do equipamento, que estavam sem homogeneidade de iluminação. Isto teria ocorrido pelo tempo de uso diferente apresentado por cada lâmpada do equipamento, pois estas eram substituídas conforme queimavam, resultando em lâmpadas com tempos de vida útil diferente para cada horário analisado. Assim, com o Heliodon, foi realizada a simulação apenas do experimento com a ocupação permitida por lei. Os resultados gráficos obtidos para as simulações obtidas no Heliodon e nos programas são os apresentados nos Apêndices A, B e C.

Os dados são apresentados em fração de luz / imagem, relacionando-se a área iluminada da imagem obtida, pelo valor total de sua área. O Gráfico 6 relaciona os dados de fração de luz/imagem para cada um dos métodos de simulação, hora a hora.

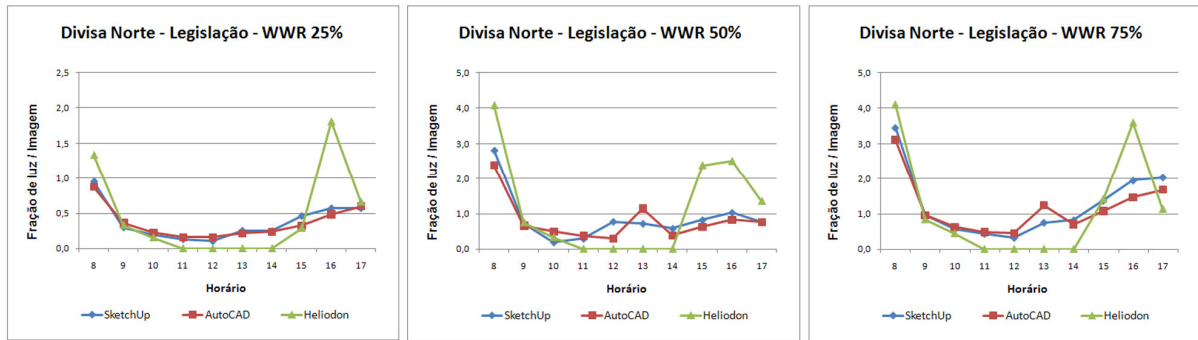


Gráfico 6– Relação Fração de luz/imagem para as imagens obtidas pelas simulações para ocupação conforme legislação, divisa N, no solstício de inverno, para WWR's = 25%, 50% e 75%.

Fonte: Pesquisa.

Apesar dos resultados do Heliodon terem o comportamento tendendo aos dos obtidos com as simulações virtuais, conforme se observa no gráfico acima, alguns horários apresentaram comportamento bastante discrepante dos demais, pelos motivos anteriormente tratados; sendo assim, optou-se por descontinuar sua utilização no trabalho.

O Gráfico 7 demonstra valores bastante similares entre os dados do SketchUp e AutoCAD, o que permite a validação da utilização dos mesmos como ferramentas para a análise do objeto deste trabalho. Em vista disto, para as demais simulações de divisa e WWR, optou-se por utilizar somente o programa SketchUp, pelo mesmo possuir distribuição gratuita, ser de utilização simplificada e poder ser instalado em computadores de configuração simples, características que se apresentam mais favoráveis quando comparado às do programa AutoCAD.

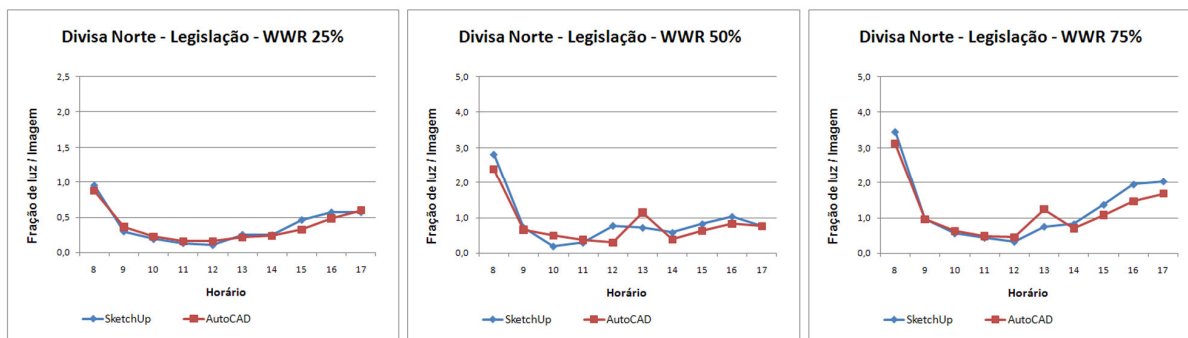


Gráfico 7– Dados de acesso solar calculados em fração de luz por área da imagem a partir das imagens obtidas pelos programas SketchUp e AutoCAD para ocupação permitida por lei, divisa N, no solstício de inverno, para WWR's = 25%, 50% e 75%.

Fonte: Pesquisa.

Na Tabela 4 é demonstrado a variação no acesso solar de acordo com a alteração do WWR. A fração de luz/imagem é representada aqui pelo somatório dos valores obtidos hora a hora para cada WWR. Fixou-se o WWR =50% como valor de referência, e a partir dele foi calculado o decréscimo e o acréscimo para 25% e 75%. Ao contrário das demais simulações, notam-se nos dados obtidos do Heliodon a discrepância no comportamento esperado de diminuição de acesso conforme se diminui a abertura, e de aumento do acesso com a abertura maior.

Tabela 4 - Valores de acesso solar em fração para simulação com Heliodon, SketchUp e AutoCAD (ocupação conforme legislação, WWR's = 25%, 50% e 75%, divisa N, solstício de inverno).

WWR %	Heliodon		SketchUp		AutoCAD	
	Σ Fração Luz (%)	Variação (%)	Σ Fração Luz (%)	Variação (%)	Σ Fração Luz (%)	Variação (%)
25	4,58	- 40,00	3,77	-43,43	3,62	- 45,47
50	11,45	---	8,68	---	7,96	---
75	11,56	0,96	12,62	45,39	11,75	47,61

Fonte: Pesquisa.

Para a análise do acesso solar em lotes utilizando-se o conceito de envelope solar, foram realizadas simulações apenas com o programa SketchUp. O envelope

solar foi dimensionado conforme descrito por Knowles (2003), para o solstício de inverno. Os resultados obtidos são apresentados graficamente no Apêndice D.

Com sua observação, é possível perceber visualmente o aumento do acesso solar com a utilização do envelope solar, quando comparado à ocupação máxima prevista por lei (Apêndices A, B e C). O Gráfico 8 demonstra a variação do acesso solar no interior da edificação-padrão para os três WWR's adotados.

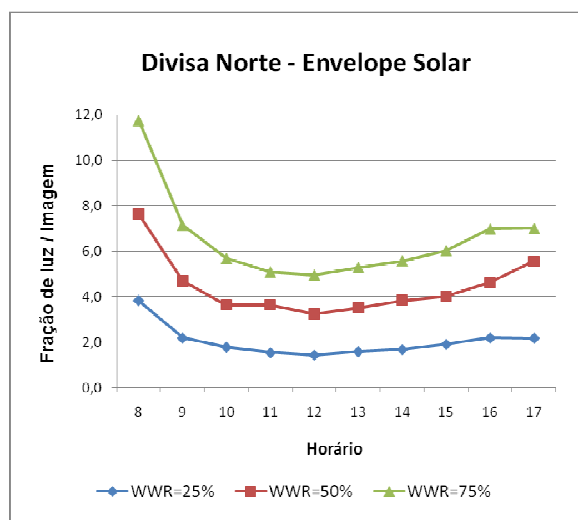


Gráfico 8– Dados de acesso solar calculados em fração de luz por área da imagem a partir das imagens obtidas pelo programa SketchUp para envelope solar, divisa N, no solstício de inverno, para WWR's = 25%, 50% e 75%.

Fonte: Pesquisa.

Com a análise dos resultados obtidos das simulações, foi possível realizar o comparativo com o aumento efetivo de acesso solar para edificações unifamiliares localizadas na ZR-2 e ZR-U de Curitiba quando utilizado o envelope solar.

A Tabela 5 relaciona numericamente os resultados para os dois tipos de ocupação.

Tabela 5– Comparativo de aumento ao acesso à luz do sol com o uso do envelope solar em relação ao uso dos parâmetros legais para a divisa N, no solstício de inverno e WWR's = 25%, 50% e 75%.

Tipo de Ocupação	Médias de Fração de luz / Imagem para SketchUp		
	WWR = 25%	WWR = 50%	WWR = 75%
Legislação	3,77	8,68	12,62
Envelope solar	20,41	44,42	65,58
Diferença Numérica	16,64	35,74	52,95
Variação (%)	541	511	519

Fonte: Pesquisa.

Os dados obtidos confirmam o incremento ao acesso solar com o uso do envelope solar, com um aumento médio de 879% da fração de luz/imagem em relação aos obtidos com os parâmetros legais. Demonstram também a forte influência do WWR na variação da obtenção da luz natural.

As simulações para a obtenção dos dados de iluminância foram feitas no Relux para a divisa N, WWR's = 25%, 50% e 75%, para as horas de corte determinadas para a divisa N (10h00 às 14h00). Os resultados gráficos obtidos são apresentados nos Apêndices E e F.

O programa Relux fornece também dados numéricos de iluminância para o valor mínimo, médio e máximo, e de uniformidade para os valores médios e máximos. A Tabela 8 relaciona estes dados para a situação analisada.

Tabela 6– Valores de iluminância para simulações realizadas no programa Relux para para abertura com WWR=25%, 50% e 75% voltada para a divisa N, com obstrução no acesso solar proporcionado pela edificação adjacente conforme legislação, durante o período definido pelas horas de corte (10h00 às 14h00).

Window-wall-ratio (%)	Horas de corte	LEGISLAÇÃO					ENVELOPE				
		Iluminância média (lux)	Iluminância mínima (lux)	Iluminância máxima (lux)	Uniformidade g1 - Emin/Em	Uniformidade g2 (Emin/Emax)	Iluminância média (lux)	Iluminância mínima (lux)	Iluminância máxima (lux)	Uniformidade g1 - Emin/Em	Uniformidade g2 (Emin/Emax)
25	10	2060	48	29100	0,02	0	4790	320	29500	0,07	0,01
	11	1160	36	35300	0,02	0	5480	475	35800	0,09	0,01
	12	1310	33	23600	0,02	0	5903	559	38700	0,09	0,01
	13	856	31	25400	0,04	0	5790	487	38000	0,08	0,01
	14	502	156	4660	0,31	0,03	5290	450	33700	0,09	0,01
50	10	4440	146	32400	0,03	0	11200	1210	35700	0,11	0,03
	11	3880	108	38600	0,03	0	13200	2440	42000	0,19	0,03
	12	3480	100	41100	0,03	0	14300	2770	45300	0,19	0,06
	13	2220	196	37700	0,09	0,01	14000	2590	44600	0,19	0,06
	14	1450	546	20700	0,38	0,03	12500	2300	39500	0,18	0,06
75	10	4940	152	34900	0,03	0	10900	730	36800	0,07	0,02
	11	5460	489	42300	0,09	0,01	12700	978	43600	0,08	0,02
	12	3620	102	43400	0,03	0	13800	1060	46800	0,08	0,02
	13	2310	127	39400	0,05	0	13500	1040	46100	0,08	0,02
	14	4370	121	41500	0,03	0	12100	917	41100	0,08	0,02

Fonte: Pesquisa.

Verifica-se, pelos valores numéricos de saída obtidos com a simulação de iluminância do Relux, que a iluminância mínima obtida no ambiente conforme especificado na Norma ABNT NBR 5413 (1992), que é de 150 lux, mesmo para a pior situação de WWR (25%), fica acima desta com envelope solar. Nota-se que, em geral, o uso de envelope solar favorece maior uniformidade tanto em termos de g1

(Emin/Em), como de g2 (Emin/Emax). Isso pode ser verificado nas imagens do Apêndices E e F, que mostra focos de iluminação direta no caso da legislação e uma distribuição uniforme junto à abertura, quando se usa o conceito de envelope solar. Salienta-se que eventuais valores excessivos de iluminância interna (Emax) podem ser controlados por meio de recursos arquitetônicos móveis ou fixos, de forma a reduzi-los, ao mesmo tempo em que se mantém o Emin.

Com a obtenção dos resultados da simulação-piloto para a divisa N, e tendo sido definido o melhor procedimento para sua obtenção, procedeu-se às simulações propriamente ditas.

Para avaliação dos dados obtidos com o levantamento dos dados de fração de luz / imagem e de iluminância, foi estabelecido o critério de análise dos dados para WWR=50%, por representar o valor médio dos WWR analisados (25%, 50% e 75%), evitando-se assim possíveis distorções provocadas por picos nas duas situações extremas.

São apresentados na seção a seguir os resultados para a Simulação 1, que representa os parâmetros de ocupação permitidos para as Zonas Residenciais Dois e Umbará, para ocupação conforme legislação e conforme o conceito de envelope solar, para WWR=25%, 50% e 75%, para as divisas NE, E, SE, SO, O e NO. Os dados são apresentados em fração de luz/imagem e em lux.

4.1.2 Simulação 1 – Divisa NE

Iniciou-se a avaliação do acesso solar no interior das edificações da ZR-2 e ZR-U nas divisas e horas de corte anteriormente definidas, com as simulações da ocupação máxima permitida por lei versus utilizando o conceito de envelope solar, para a divisa NE, no período selecionado, o solstício de inverno (21/06). São apresentados os resultados obtidos em termos de fração de luz solar direta no ambiente interno, assim como dados em lux para as duas situações.

A análise dos valores obtidos permite afirmar que ocorre um aumento considerável na fração de luz obtida internamente quando se utiliza o conceito de envelope solar. Em média, o aumento é da ordem de 490%. Conforme esperado

para esta orientação, o benefício do uso do envelope solar se dá em maior quantidade durante o período da manhã.

Observou-se que os valores mínimos de iluminância para a situação conforme legislação são baixos, sendo que em nenhum horário e WWR o mínimo de 150 lux é alcançado. Mesmo com a aplicação do envelope solar, na maioria das situações a quantidade de lux permanece abaixo do determinado pela norma (150 lux, conforme Norma ABNT NBR 5413 (1992)). O valor só é alcançado às 10h00 para WWR=50% e 75%. Entretanto, verifica-se um aumento significativo da iluminância média no ambiente interno quando se utiliza o envelope solar. Nota-se que, em geral, o uso do envelope solar favorece maior uniformidade tanto em termos de g_1 (E_{min}/E_m), como de g_2 (E_{min}/E_{max}). O envelope solar proporciona uma distribuição uniforme junto à abertura. Os valores excessivos de iluminância interna (E_{max}) podem ser controlados por meio de recursos arquitetônicos móveis ou fixos, reduzindo-os, e mantendo valores mínimos para E_{min} . O aumento dos valores de E_{med} se mantiveram mais altos quando comparados aos obtidos para legislação, bem como os resultados dos valores de uniformidade para g_1 e g_2 permaneceram os mesmos, para todas as orientações avaliadas para a Simulação 1.

4.1.3 Simulação 1 – Divisa E

São apresentados a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 1, divisa E, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

A análise dos dados obtidos permite afirmar que houve um aumento significativo da fração luz/imagem quando se comparam os dados obtidos com aplicação da legislação versus envelope solar (495%). O aumento do acesso solar ocorre com maior intensidade no período das 08h00 às 09h00, quando há uma maior disponibilidade de luz natural.

Os dados obtidos permitem verificar que, mesmo com a utilização do envelope solar, para qualquer valor de WWR, o mínimo de iluminância (150 lux) conforme Norma ABNT NBR 5413 (1992), não é obtido.

4.1.4 Simulação 1 – Divisa SE

São apresentados a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 1, divisa SE, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

Observa-se que o aumento da fração / imagem (cerca de 195%) ocorre, porém em menor quantidade quando comparado às fachadas N (879%), NE (490%) e E (495%). Isto pode acontecer devido a pouca oferta de acesso solar que a fachada SE apresenta naturalmente (a leitura da carta solar define os horários entre 07h00 às 09h00 como os insolados para esta orientação).

Devido à baixa capacidade de acesso solar da orientação SE, nenhum horário apresenta a iluminação mínima de 150 lux, tanto para a situação de legislação quanto a com envelope solar.

4.1.5 Simulação 1 – Divisa SO

Apresenta-se a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 1, divisa SO, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

A variação entre os resultados obtidos conforme legislação e com o envelope solar é em torno de 271%. É a segunda fachada com menor potencial de acesso solar, depois da SE (195%). Como ocorre nesta, isto também pode ser causado pela

pouca oferta natural para esta orientação. O período insolado ocorre no final da tarde, e por um período de aproximadamente três horas (entre 15h00 e 17h00).

Assim como ocorre com os resultados para a orientação SE, devido à baixa capacidade de acesso solar da orientação SO, nenhum horário em nenhuma situação (legislação ou envelope solar) apresenta a iluminação mínima de 150 lux.

4.1.6 Simulação 1 – Divisa O

Apresenta-se a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 1, divisa oeste, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

A análise dos valores obtidos permite afirmar que ocorre um aumento considerável na fração de luz / imagem obtida quando se aplica o envelope solar. Em média, o aumento é da ordem de 394%. Conforme o comportamento esperado para esta orientação, o benefício do acesso solar se dá em maior parte no período da tarde.

A observação dos dados numéricos de Emed permite afirmar que as iluminâncias mínimas permanecem abaixo do mínimo especificado, (150 lux) para a situação conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

4.1.7 Simulação 1 – Divisa NO

Apresenta-se a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 1, divisa noroeste, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

Observa-se que houve um aumento considerável na fração de luz obtida internamente quando se utiliza o conceito de envelope solar. Em média, este aumento é da ordem de 385%.

Verifica-se que a iluminância mínima (150 lux) para os valores mínimos, não é alcançada em nenhum horário e WWR para a implantação conforme legislação. Com a utilização do envelope solar, apenas o horário das 14h00h e WWR=75% consegue alcançar o mínimo (169 lux).

4.1.8 Síntese dos resultados encontrados em termos de fração de luz/imagem e Emédio para a Simulação 1

Com os dados obtidos para as divisas analisadas para a Simulação 1, elaborou-se o Gráfico 10, que sintetiza estes dados.

A análise deste gráfico explicita o potencial para acesso solar elevado da orientação N, com valores numéricos maiores que os obtidos com outras orientações, tanto para a fração de luz / imagem quanto para valores de Emédio. Os valores aumentam significativamente quando se aplica o conceito de envelope solar. Verifica-se também o relevante aumento da fração de luz / imagem e o consequente aumento da iluminância, possibilitando observar uma relação diretamente proporcional entre estes dois valores.

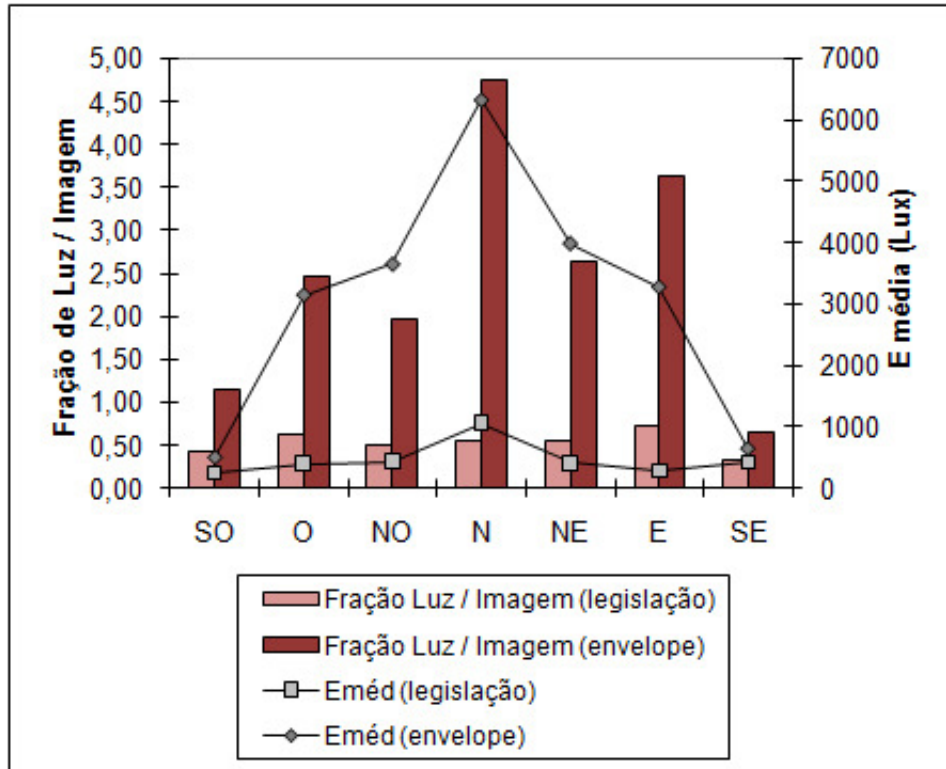


Gráfico 9 – Simulação 1 - Dados em fração de luz / imagem e Emédia obtidos em simulações para implantações conforme legislação e com a aplicação do conceito de envelope solar das orientações N, NE, E, SE, SO, O e NO, para WWR=50%.

Observa-se que a relação diretamente proporcional entre os valores de fração de luz / imagem e de iluminância permanece, porém com baixa correlação (a maior diferença entre fração de luz / imagem não significa necessariamente que haja maior iluminância média no ambiente quando se adota o conceito de envelope solar). As orientações NE e NO são bastante favorecidas em relação ao acesso solar com a aplicação do envelope solar, com valores expressivamente maiores de iluminância que os apresentados para implantação conforme legislação. Isto pode ocorrer também como reflexo da favorável disponibilidade de acesso solar que estas orientações apresentam naturalmente. Depois da orientação N, a orientação E é a que apresenta o maior valor de fração de luz / imagem.

Observa-se também que orientações de fachada SE e SO necessariamente implicam em orientação da fachada oposta da edificação para NO e NE, respectivamente. Assim, a análise dessas orientações refere-se a situações específicas que prejudicariam o acesso solar de NO ou NE, como áreas em terreno em declive, por exemplo. Havendo acesso a ambas orientações (SE e NO ou SO e

NE), o conceito de envelope solar se aplicaria para NO ou NE, proporcionando grande benefício de acesso solar para as edificações.

Pode-se concluir assim que as orientações mais favoráveis para a obtenção do acesso solar são as N,NE, SE, O e E. Entretanto, deve-se observar que, do ponto de vista da volumetria resultante para a edificação adjacente, a aplicação do conceito de envelope solar, para a atual configuração dos lotes e recuos deste grupo de ZR's que constituem a Simulação 1, não se mostra viável.

Desta forma, além da aplicação óbvia do envelope solar para fachadas N, para a atual configuração imposta pela legislação da cidade de Curitiba, o conceito de envelope solar se aplicaria apenas para as divisas NE e NO, que mantém um volume razoável para construção sem que esta afete o acesso solar às construções vizinhas.

4.2 SIMULAÇÃO 2 – ZONA RESIDENCIAL TRÊS (ZR-3)

4.2.1 Simulação 2 – Divisa N

Apresentam-se os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 2, divisa N, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

Com comportamento similar ao obtido para a orientação N na Simulação 1, esta orientação apresenta em média, um aumento da relação fração luz/imagem da ordem de 861%, o maior valor encontrado para as simulações deste grupo. Observa-se que os valores de iluminância mínimos para a situação conforme legislação são baixos, sendo que em nenhum horário e WWR o mínimo de 150 lux é alcançado. Mesmo com a aplicação do envelope solar, na maioria das situações a quantidade de lux permanece abaixo do determinado pela norma (150 lux, conforme Norma ABNT NBR 5413 (1992). O valor só é alcançado das 11h00 às 14h00 para WWR= 75%. Entretanto, verifica-se um aumento significativo da iluminância média no

ambiente interno quando se utiliza o envelope solar. Nota-se que, em geral, o uso do envelope solar favorece maior uniformidade tanto em termos de g_1 (E_{min}/E_m), como de g_2 (E_{min}/E_{max}). O envelope solar proporciona uma distribuição uniforme junto à abertura. Eventuais valores excessivos de iluminância interna (E_{max}) podem ser controlados por meio de recursos arquitetônicos móveis ou fixos, reduzindo-os, e mantendo valores mínimos para E_{min} . O aumento dos valores de E_{med} se mantiveram mais altos quando comparados aos obtidos para legislação, bem como os resultados dos valores de uniformidade para g_1 e g_2 permaneceram os mesmos, para todas as orientações avaliadas para a Simulação 2.

4.2.2 Simulação 2 – Divisa NE

São apresentados a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 2, divisa NE, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

A análise dos valores obtidos permite afirmar que ocorre um aumento considerável na fração de luz obtida internamente quando se utiliza o conceito de envelope solar. Em média, o aumento é da ordem de 362%. Conforme esperado para esta orientação, o benefício do uso do envelope solar se dá em maior quantidade durante o período da manhã.

Observa-se que os valores de iluminância mínimos para a situação conforme legislação são baixos, sendo que em nenhum horário e WWR o mínimo de 150 lux é alcançado. Mesmo com a aplicação do envelope solar, na maioria das situações a quantidade de lux permanece abaixo do determinado pela norma (150 lux, conforme Norma ABNT NBR 5413 (1992)). O valor só é alcançado às 10h00 e às 11h00 para WWR= 75%. Entretanto, verifica-se um aumento significativo da iluminância média no ambiente interno quando se utiliza o envelope solar. Como notado nas simulações anteriores, o uso do envelope solar favorece maior uniformidade tanto em termos de g_1 (E_{min}/E_m), como de g_2 (E_{min}/E_{max}). O envelope solar proporciona uma distribuição uniforme junto à abertura. Para os valores excessivos

de iluminância interna (E_{max}) podem pode-se utilizar recursos arquitetônicos móveis ou fixos, reduzindo-os, e mantendo valores mínimos para E_{min} . O aumento dos valores de E_{med} se mantiveram mais altos quando comparados aos obtidos para legislação, bem como os resultados dos valores de uniformidade para g_1 e g_2 permaneceram os mesmos, para todas as orientações avaliadas para a Simulação 2.

4.2.3 Simulação 2 – Divisa E

São apresentados a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 2, divisa E, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

A análise dos dados obtidos permite afirmar que houve um aumento significativo da fração luz/imagem quando se comparam os dados obtidos com aplicação da legislação versus envelope solar (285%). O aumento do acesso solar ocorre com maior intensidade no período das 08h00 às 09h00, quando há uma maior disponibilidade de luz natural.

Verifica-se que, mesmo com a utilização do envelope solar, para qualquer WWR, o mínimo de iluminância (150 lux) conforme Norma ABNT NBR 5413 (1992), não é obtido.

4.2.4 Simulação 2 – Divisa SE

São apresentados a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 2, divisa SE, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

Observa-se que o aumento da fração / imagem (cerca de 121%) ocorre, porém em menor quantidade quando comparado às outras divisas. Isto pode ocorrer

devido a pouca oferta de acesso solar que a fachada SE apresenta naturalmente (a leitura da carta solar define os horários entre 07h00 às 09h00 como os insolados para esta orientação).

Devido à baixa capacidade de acesso solar da orientação SE, nenhum horário, para nenhum tipo de implantação (legislação e envelope solar) apresenta valores para iluminação mínima de 150 lux, conforme Norma ABNT NBR 5413 (1992).

4.2.5 Simulação 2 – Divisa SO

Apresenta-se a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 2, divisa SO, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

A variação entre os resultados obtidos conforme legislação e com o envelope solar é em torno de 142%. É a segunda fachada com menor potencial de acesso solar, depois da SE (121%). Como ocorre nesta, isto também pode ser causado pela pouca oferta natural para esta orientação. O período insolado ocorre no final da tarde, e por um período de aproximadamente três horas (entre 15h00 e 17h00).

Da mesma forma como ocorre com a fachada SE, devido à baixa capacidade de acesso solar da orientação SO, nenhum horário apresenta a iluminação mínima igual ou superior a 150 lux, conforme sugerido pela Norma ABNT NBR 5413 (1992).

4.2.6 Simulação 2 – Divisa O

Apresenta-se a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 2, divisa O, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

A análise dos valores obtidos permite afirmar que ocorre um aumento considerável na fração de luz / imagem obtida quando se aplica o envelope solar. Em média, o aumento é da ordem de 226%. Conforme o comportamento esperado para esta orientação, o benefício do acesso solar se dá em maior parte no período da tarde.

A observação do gráfico permite afirmar que as iluminâncias mínimas permanecem abaixo do mínimo especificado, (150 lux) conforme Norma ABNT NBR 5413 (1992), para a situação conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

4.2.7 Simulação 2 – Divisa NO

Apresenta-se a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 2, divisa NO, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

Observa-se que houve um aumento considerável na fração de luz obtida internamente quando se utiliza o conceito de envelope solar. Em média, este aumento é da ordem de 267%.

Verifica-se que a iluminância mínima determinada conforme Norma ABNT NBR 5413 (1992), (150 lux) para os valores mínimos, não é alcançada em nenhum horário e WWR para a implantação conforme legislação. Com a utilização do envelope solar, apenas o horário das 14h00 com WWR=75% consegue alcançar este valor.

4.2.8 Síntese dos resultados encontrados em termos de fração de luz/imagem e Emédio para a Simulação 2

Com os dados obtidos para as divisas analisadas para a Simulação 2, elaborou-se o Gráfico 23, que sintetiza os resultados.

Assim como na avaliação dos dados para a Simulação 1, para avaliação dos dados obtidos com o levantamento dos dados de fração de luz / imagem e de iluminância, foi estabelecido o critério de análise dos dados para WWR=50%, por representar o valor médio dos WWR analisados (25%, 50% e 75%), evitando-se assim possíveis distorções provocadas por picos nas duas situações extremas.

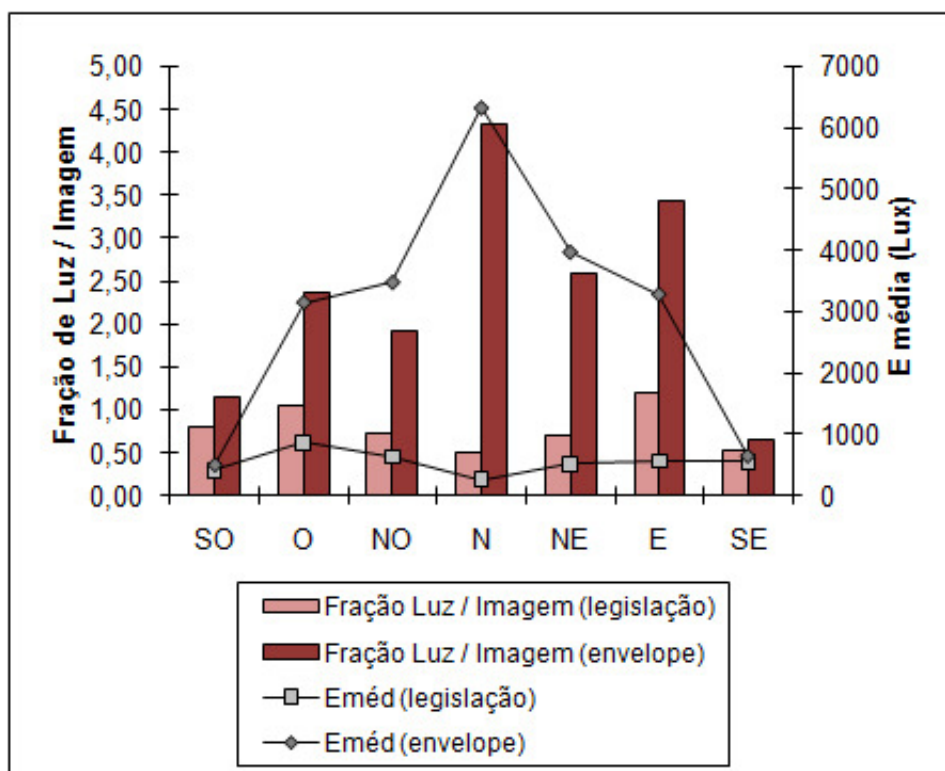


Gráfico 10– Simulação 2 - Dados em fração de luz /imagem e Emédia obtidos em simulações para implantações conforme legislação e com a aplicação do conceito de envelope solar das orientações N, NE, E, SE, SO, O e NO, para WWR=50%.

Da mesma como ocorreu com os dados para a Simulação 1, observa-se que a relação diretamente proporcional entre os valores de fração de luz / imagem e de iluminância permanece, porém com baixa correlação (a maior diferença entre fração de luz / imagem não significa necessariamente que haja maior iluminância média no ambiente quando se adota o conceito de envelope solar. As orientações NE e NO são bastante favorecidas em relação ao acesso solar com a aplicação do envelope solar, com valores expressivamente maiores de iluminância que os apresentados para implantação conforme legislação. Isto pode ocorrer também como reflexo da

favorável disponibilidade de acesso solar que estas orientações apresentam naturalmente. Depois da orientação N, a orientação E apresenta o maior valor de fração de luz / imagem.

Observa-se também que orientações de fachada SE e SO necessariamente implicam em orientação da fachada oposta da edificação para NO e NE, respectivamente. Assim, a análise dessas orientações refere-se a situações específicas que prejudicariam o acesso solar de NO ou NE, como áreas em terreno em declive, por exemplo. Havendo acesso a ambas orientações (SE e NO ou SO e NE), o conceito de envelope solar se aplicaria para NO ou NE, proporcionando grande benefício de acesso solar para as edificações.

Pode-se concluir assim que as orientações mais favoráveis para a obtenção do acesso solar são as N, NE, NE, O e E. Entretanto, deve-se observar que, do ponto de vista da volumetria resultante para a edificação adjacente, a aplicação do conceito de envelope solar, para a atual configuração dos lotes e recuos deste grupo de ZR's que constituem a Simulação 2 , não se mostra viável.

Desta forma, além da fachada N, para a atual configuração imposta pela legislação da cidade de Curitiba, o conceito de envelope solar se aplicaria apenas para as divisas NE e NO, que mantém um volume razoável para construção sem que esta afete o acesso solar às construções vizinhas.

4.3 SIMULAÇÃO 3 – ZONA RESIDENCIAL DE OCUPAÇÃO CONTROLADA (ZR-O)

4.3.1 Simulação 3 – Divisa N

São apresentados a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 3, divisa N, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

Corroborando o comportamento observado para as Simulações 1 e 2, a análise dos valores obtidos permite afirmar que ocorre um significativo aumento na

fração de luz obtida internamente quando se utiliza o conceito de envelope solar. Em média, o aumento é da ordem de 1056%.

Observa-se que os valores de iluminância mínimos para a situação conforme legislação são baixos, sendo que em nenhum horário e WWR o mínimo de 150 lux é alcançado. Mesmo com a aplicação do envelope solar, em todas as situações a quantidade de lux permanece abaixo do determinado pela norma (150 lux, conforme Norma ABNT NBR 5413 (1992)). Entretanto, verifica-se um aumento significativo da iluminância média no ambiente interno quando se utiliza o envelope solar. Nota-se que, em geral, o uso do envelope solar favorece maior uniformidade tanto em termos de g_1 (E_{min}/E_m), como de g_2 (E_{min}/E_{max}). O envelope solar proporciona uma distribuição uniforme junto à abertura. Os valores excessivos de iluminância interna (E_{max}) podem ser controlados por meio de recursos arquitetônicos móveis ou fixos, reduzindo-os, e mantendo valores mínimos para E_{min} . O aumento dos valores de E_{med} se mantiveram mais altos quando comparados aos obtidos para legislação, bem como os resultados dos valores de uniformidade para g_1 e g_2 permaneceram os mesmos, para todas as orientações avaliadas para a Simulação 3.

4.3.2 Simulação 3 – Divisa NE

São apresentados a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 3, divisa NE, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

A análise dos valores obtidos permite afirmar que ocorre um aumento considerável na fração de luz obtida internamente quando se utiliza o conceito de envelope solar. Em média, o aumento é da ordem de 519%. Conforme esperado para esta orientação, o benefício do uso do envelope solar se dá em maior quantidade durante o período da manhã. Foram realizadas no Relux as simulações de luz natural com a ocupação máxima permitida por lei versus utilização do conceito de envelope solar, sendo os resultados gráficos apresentados nos

Apêndices RR e SS, que apresentam os gráficos de cores falsas obtidos em ambas situações.

Observa-se que os valores de iluminância mínimos para a situação conforme legislação são baixos, sendo que em nenhum horário e WWR o mínimo de 150 lux é alcançado. Mesmo com a aplicação do envelope solar, na maioria das situações a quantidade de lux permanece abaixo do determinado pela norma (150 lux, conforme Norma ABNT NBR 5413 (1992)). Entretanto, verifica-se um aumento significativo da iluminância média no ambiente interno quando se utiliza o envelope solar. Nota-se que, em geral, o uso do envelope solar favorece maior uniformidade tanto em termos de g_1 (E_{min}/E_m), como de g_2 (E_{min}/E_{max}). O envelope solar proporciona uma distribuição uniforme junto à abertura. O aumento dos valores de E_{med} se mantiveram mais altos quando comparados aos obtidos para legislação, bem como os resultados dos valores de uniformidade para g_1 e g_2 permaneceram os mesmos, para todas as orientações avaliadas para a Simulação 3.

4. 3.3 Simulação 3 – Divisa E

São apresentados a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 3, divisa E, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

A análise dos dados obtidos permite afirmar que houve um aumento significativo da fração luz/imagem quando se comparam os dados obtidos com aplicação da legislação versus envelope solar (654%). O aumento do acesso solar ocorre com maior intensidade no período das 08h00 às 09h00, quando há uma maior disponibilidade de luz natural.

Verifica-se que, mesmo com a utilização do envelope solar, para qualquer WWR, o mínimo de iluminância (150 lux) conforme Norma ABNT NBR 5413 (1992), não é obtido.

4. 3.4 Simulação 3 – Divisa SE

São apresentados a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 3, divisa SE, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

Observa-se que o aumento da fração / imagem (cerca de 280%) ocorre, porém em menor quantidade quando comparado às outras divisas. Isto pode ocorrer devido a pouca oferta de acesso solar que a fachada SE apresenta naturalmente (a leitura da carta solar define os horários entre 07h00 às 09h00 como os insolados para esta orientação).

Devido à baixa capacidade de acesso solar da orientação SE, nenhum horário, para nenhum tipo de implantação (legislação e envelope solar) apresenta valores para iluminação mínima de 150 lux, conforme Norma ABNT NBR 5413 (1992).

4. 3.5 Simulação 3 – Divisa SO

Apresenta-se a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 3, divisa SO, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

A variação entre os resultados obtidos conforme legislação e com o envelope solar é em torno de 231%. É a segunda fachada com menor potencial de acesso solar, depois da SE (198%). Como ocorre nesta, isto também pode ser causado pela pouca oferta natural para esta orientação. O período insolado ocorre no final da tarde, e por um período de aproximadamente três horas (entre 15h00 e 17h00).

Como no caso da orientação SE, devido à baixa capacidade de acesso solar da orientação SO, nenhum horário apresenta a iluminação mínima de 150 lux, conforme Norma ABNT NBR 5413 (1992).

4. 3.6 Simulação 3 – Divisa O

Apresenta-se a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 3, divisa O, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

A análise dos valores obtidos permite afirmar que ocorre um aumento considerável na fração de luz / imagem obtida quando se aplica o envelope solar. Em média, o aumento é da ordem de 463%. Conforme o comportamento esperado para esta orientação, o benefício do acesso solar se dá em maior parte no período da tarde.

A observação do gráfico permite afirmar que as iluminâncias mínimas permanecem abaixo do mínimo especificado, (150 lux) conforme Norma ABNT NBR 5413 (1992), para a situação conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

4. 3.7 Simulação 3 – Divisa NO

Apresenta-se a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 3, divisa NO, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

Observa-se que houve um aumento considerável na fração de luz obtida internamente quando se utiliza o conceito de envelope solar. Em média, este aumento é da ordem de 539%.

Verifica-se que a iluminância mínima determinada conforme Norma ABNT NBR 5413 (1992), (150 lux) para os valores mínimos, não é alcançada em nenhum horário e WWR para a implantação conforme legislação ou com a aplicação do conceito de envelope solar.

4.3.8 Síntese dos resultados encontrados em termos de fração de luz/imagem e Emédio para a Simulação 3

Com os dados obtidos para as divisas analisadas para a Simulação 3, elaborou-se o Gráfico 30, que sintetiza estes dados

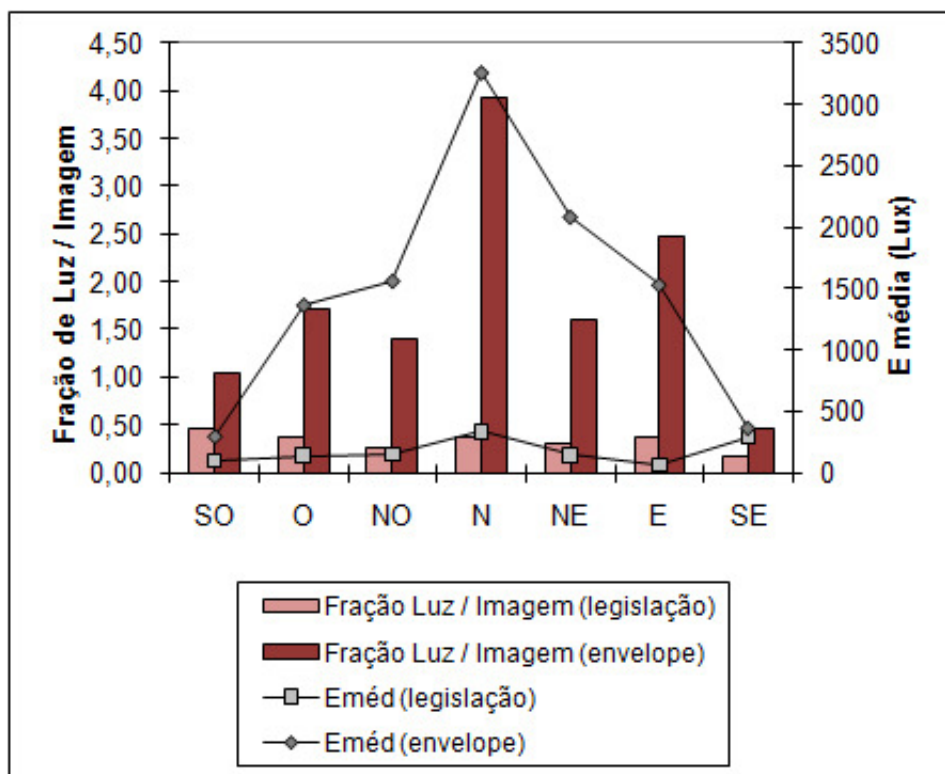


Gráfico 11 – Simulação 3 - Dados em fração de luz /imagem e Emédio obtidos em simulações para implantações conforme legislação e com a aplicação do conceito de envelope solar das orientações N,NE, E, SE, SO, O e NO, para WWR=50%.

Da mesma como ocorreu com os dados para a Simulação 1 e 2, observa-se que a relação diretamente proporcional entre os valores de fração de luz / imagem e de iluminância permanece, porém com baixa correlação (a maior diferença entre fração de luz / imagem não significa necessariamente que haja maior iluminância média no ambiente quando se adota o conceito de envelope solar. A orientação N permanece a mais favorável em relação ao acesso solar; as orientações NE e NO também são bastante favorecidas com a aplicação do envelope solar, com valores expressivamente maiores de iluminância que os apresentados para implantação

conforme legislação. Isto pode ocorrer também como reflexo da favorável disponibilidade de acesso solar que estas orientações apresentam naturalmente. A orientação LE apresenta o maior valor de fração de luz / imagem.

Observa-se também que orientações de fachada SE e SO necessariamente implicam em orientação da fachada oposta da edificação para NO e NE, respectivamente. Assim, a análise dessas orientações refere-se a situações específicas que prejudicariam o acesso solar de NO ou NE, como áreas em terreno em declive, por exemplo. Havendo acesso a ambas orientações (SE e NO ou SO e NE), o conceito de envelope solar se aplicaria para NO ou NE, proporcionando grande benefício de acesso solar para as edificações.

Pode-se concluir assim que as orientações mais favoráveis para a obtenção do acesso solar são as NE, SE, O e E. Entretanto, deve-se observar que, do ponto de vista da volumetria resultante para a edificação adjacente, a aplicação do conceito de envelope solar, para a atual configuração dos lotes e recuos deste grupo de ZR's que constituem a Simulação 3 , não se mostra viável.

Desta forma, além da evidenciação dos benefícios da utilização envelope solar para fachadas N, para a atual configuração imposta pela legislação da cidade de Curitiba, o conceito de envelope solar se aplicaria apenas para as divisas NE e NO, que mantêm um volume razoável para construção sem que esta afete o acesso solar às construções vizinhas.

4.4 SIMULAÇÃO 4 – ZONA RESIDENCIAL UM (ZR-1), ZONA RESIDENCIAL SANTA FELICIDADE (ZR-SF), ZONA RESIDENCIAL BATEL (ZR-B), ZONA RESIDENCIAL MERCÊS (ZR-M), E ZONA RESIDENCIAL ALTO DA GLÓRIA (ZR-AG).

4.4.1 Simulação 4 – Divisa N

São apresentados a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada

pela simulação 4, divisa N, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

A análise dos valores obtidos, observados em conjunto com os dados obtidos para esta fachada nas Simulações 1, 2 e 3, permite afirmar que esta orientação é a mais favorável para a captação de iluminação natural; ocorre um aumento de 698% na fração de luz obtida internamente quando se utiliza o conceito de envelope solar.

Observa-se que os valores de iluminância mínimos para a situação conforme legislação são baixos, sendo que em nenhum horário e WWR o mínimo de 150 lux é alcançado. Mesmo com a aplicação do envelope solar, na maioria das situações a quantidade de lux permanece abaixo do determinado pela norma (150 lux, conforme Norma ABNT NBR 5413 (1992). O valor só é alcançado às 12h00 para WWR= 75%. Entretanto, verifica-se um aumento significativo da iluminância média no ambiente interno quando se utiliza o envelope solar. Nota-se que, em geral, o uso do envelope solar favorece maior uniformidade tanto em termos de g_1 (E_{min}/E_m), como de g_2 (E_{min}/E_{max}). O envelope solar proporciona uma distribuição uniforme junto à abertura. Ressalta-se que valores excessivos de iluminância interna (E_{max}) podem ser controlados por meio de recursos arquitetônicos móveis ou fixos, reduzindo-os, e mantendo valores mínimos para E_{min} . O aumento dos valores de E_{med} se mantiveram mais altos quando comparados aos obtidos para legislação, bem como os resultados dos valores de uniformidade para g_1 e g_2 permaneceram os mesmos, para todas as orientações avaliadas para a Simulação 4.

4.4.2 Simulação 4 – Divisa NE

São apresentados a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 4, divisa NE, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

A análise dos valores obtidos permite afirmar que ocorre um aumento considerável na fração de luz obtida internamente quando se utiliza o conceito de envelope solar. Em média, o aumento é da ordem de 425%. Conforme esperado

para esta orientação, o benefício do uso do envelope solar se dá em maior quantidade durante o período da manhã.

Observa-se que os valores de iluminância mínimos para a situação conforme legislação são baixos, sendo que em nenhum horário e WWR o mínimo de 150 lux é alcançado. Mesmo com a aplicação do envelope solar, na maioria das situações a quantidade de lux permanece abaixo do determinado pela norma (150 lux, conforme Norma ABNT NBR 5413 (1992)). O valor só é alcançado às 10h00 para WWR=50% e 75%. Entretanto, verifica-se um aumento significativo da iluminância média no ambiente interno quando se utiliza o envelope solar. Nota-se que, em geral, o uso do envelope solar favorece maior uniformidade tanto em termos de g_1 (E_{min}/E_m), como de g_2 (E_{min}/E_{max}). O envelope solar proporciona uma distribuição uniforme junto à abertura. Ressalta-se que valores excessivos de iluminância interna (E_{max}) podem ser controlados por meio de recursos arquitetônicos móveis ou fixos, reduzindo-os, e mantendo valores mínimos para E_{min} . O aumento dos valores de E_{med} se mantiveram mais altos quando comparados aos obtidos para legislação, bem como os resultados dos valores de uniformidade para g_1 e g_2 permaneceram os mesmos, para todas as orientações avaliadas para a Simulação 4.

4.4.3 Simulação 4 – Divisa E

São apresentados a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 4, divisa E, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

A análise dos dados obtidos permite afirmar que houve um aumento significativo da fração luz/imagem quando se comparam os dados obtidos com aplicação da legislação versus envelope solar (583%). O aumento do acesso solar ocorre com maior intensidade no período das 08h00 às 09h00, quando há uma maior disponibilidade de luz natural.

Verifica-se que, mesmo com a utilização do envelope solar, para qualquer WWR, o mínimo de iluminância (150 lux) conforme Norma ABNT NBR 5413 (1992), não é obtido.

4.4.4 Simulação 4 – Divisa SE

São apresentados a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 4, divisa SE, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

Observa-se que o aumento da fração / imagem (cerca de 272%) ocorre, porém em menor quantidade quando comparado às outras divisas. Isto pode ocorrer devido a pouca oferta de acesso solar que a fachada SE apresenta naturalmente (a leitura da carta solar define os horários entre 07h00 às 09h00 como os insolados para esta orientação).

Devido à baixa capacidade de acesso solar da orientação SE, nenhum horário, para nenhum tipo de implantação (legislação e envelope solar) apresenta valores para iluminação mínima de 150 lux, conforme Norma ABNT NBR 5413 (1992).

4.4.5 Simulação 4 – Divisa SO

Apresenta-se a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 4, divisa SO, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

A variação entre os resultados obtidos conforme legislação e com o envelope solar é em torno de 296%. É a segunda fachada com menor potencial de acesso solar, depois da SE (201%). Como ocorre nesta, isto também pode ser causado pela pouca oferta natural para esta orientação. O período insolado ocorre no final da tarde, e por um período de aproximadamente três horas (entre 15h00 e 17h00).

Como no caso da orientação SE, devido à baixa capacidade de acesso solar da orientação SO, nenhum horário apresenta a iluminação mínima de 150 lux, conforme Norma ABNT NBR 5413 (1992).

4.4.6 Simulação 4 – Divisa O

Apresenta-se a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 4, divisa O, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

A análise dos valores obtidos permite afirmar que ocorre um aumento considerável na fração de luz / imagem obtida quando se aplica o envelope solar. Em média, o aumento é da ordem de 445%. Conforme o comportamento esperado para esta orientação, o benefício do acesso solar se dá em maior parte no período da tarde.

A observação do gráfico permite afirmar que as iluminâncias mínimas permanecem abaixo do mínimo especificado, (150 lux) conforme Norma ABNT NBR 5413 (1992), para a situação conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

4.4.7 Simulação 4 – Divisa NO

Apresenta-se a seguir os resultados obtidos em fração de luz/ imagem e em lux para a luz natural direta obtida no interior para a implantação representada pela simulação 4, divisa noroeste, no solstício de inverno, conforme legislação e com a utilização do envelope solar.

Observa-se que houve um aumento considerável na fração de luz obtida internamente quando se utiliza o conceito de envelope solar. Em média, este aumento é da ordem de 398%.

Verifica-se que a iluminância mínima determinada conforme Norma ABNT NBR 5413 (1992), (150 lux) para os valores mínimos, não é alcançada em nenhum horário e WWR para a implantação conforme legislação.

Para avaliação dos dados obtidos com o levantamento dos dados de fração de luz / imagem e de iluminância, foi estabelecido o critério de análise dos dados para WWR=50%, por representar o valor médio dos WWR analisados (25%, 50% e 75%), evitando-se assim possíveis distorções provocadas por picos nas duas situações extremas.

4.4.8 Síntese dos resultados encontrados em termos de fração de luz/imagem e Emédio para a Simulação 1

Com os dados obtidos para as divisas analisadas para a Simulação 4, elaborou-se o Gráfico 37, que sintetiza estes dados.

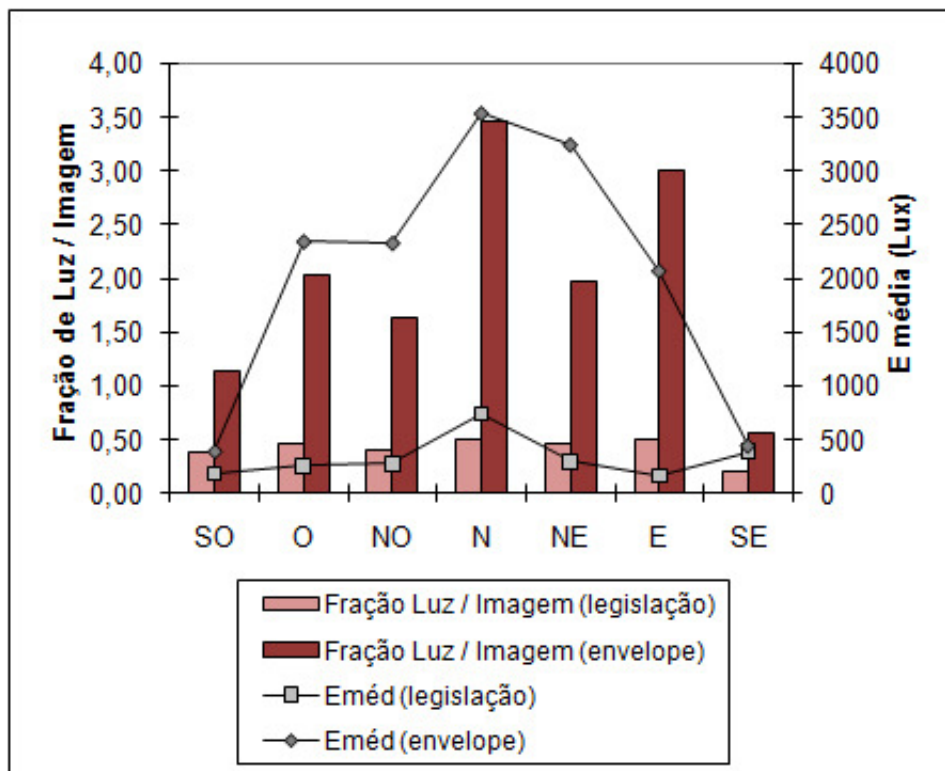


Gráfico 12 – Simulação 4 - Dados em fração de luz /imagem e Emédia obtidos em simulações para implantações conforme legislação e com a aplicação do conceito de envelope solar das orientações N, NE, E, SE, SO, E e NO, para WWR=50%.

Da mesma forma como ocorreu com as Simulações 1, 2 e 3, observa-se que a relação diretamente proporcional entre os valores de fração de luz / imagem e de iluminância permanece, porém com baixa correlação (a maior diferença entre fração de luz / imagem não significa necessariamente que haja maior iluminância média no ambiente quando se adota o conceito de envelope solar. As orientações NE e NO são bastante favorecidas em relação ao acesso solar com a aplicação do envelope solar, com valores expressivamente maiores de iluminância que os apresentados para implantação conforme legislação. Isto pode ocorrer também como reflexo da favorável disponibilidade de acesso solar que estas orientações apresentam naturalmente. A orientação E apresenta o maior valor de fração de luz / imagem.

Observa-se também que orientações de fachada SE e SO necessariamente implicam em orientação da fachada oposta da edificação para NO e NE, respectivamente. Assim, a análise dessas orientações refere-se a situações específicas que prejudicariam o acesso solar de NO ou NE, como áreas em terreno em declive, por exemplo. Havendo acesso a ambas orientações (SE e NO ou SO e

NE), o conceito de envelope solar se aplicaria para NO ou NE, proporcionando grande benefício de acesso solar para as edificações.

Pode-se concluir assim que as orientações mais favoráveis para a obtenção do acesso solar são as NE, SE, O e E. Entretanto, deve-se observar que, do ponto de vista da volumetria resultante para a edificação adjacente, a aplicação do conceito de envelope solar, para a atual configuração dos lotes e recuos deste grupo de ZR's que constituem a Simulação 4, não se mostra viável.

A melhor performance com relação ao acesso solar é obtida com a utilização do envelope solar se encontra na orientação N, para a atual configuração imposta pela legislação da cidade de Curitiba. Além desta orientação, o conceito de envelope solar se aplicaria apenas para as divisas NE e NO, que mantêm um volume razoável para construção sem que esta afete o acesso solar às construções vizinhas.

4.5 ANÁLISES

Os resultados para valores de fração de luz / imagem e iluminância em edificações dimensionadas conforme legislação, nas Simulações 1, 2, 3 e 4 foram similares. A correlação entre estes valores e os dados de iluminância permaneceu baixa, entretanto observou-se uma relação diretamente proporcional.

Os maiores valores para iluminância média estão concentrados na orientação N, depois nas orientações NE e NO, seguidas das E e O, fenômeno causado pela maior disponibilidade de luz natural apresentada para estas orientações no inverno. Entretanto, mesmo nas situações mais favoráveis, nenhuma orientação de divisa em implantações conforme legislação apresentou valores mínimos de iluminância iguais ou maiores de 150 lux, o mínimo determinado para o interior de ambientes de estar de residências, segundo a Norma ABNT NBR 5413 (1992), que trata de iluminância de interiores.

Assim, pode-se concluir, com a análise destes dados, que, para implantações dimensionadas conforme os parâmetros legais, a disponibilidade solar está muito mais relacionada ao eventual favorecimento natural acidental da orientação da divisa do que a mecanismos legais de provimento do acesso solar.

Da mesma forma como ocorreu para as análises conforme legislação, os resultados obtidos para valores de fração de luz / imagem e iluminância em edificações que utilizaram o conceito de envelope solar em seu dimensionamento, nas Simulações 1, 2, 3 e 4, também apresentaram grande similaridade.

A relação de fração de luz/imagem com o envelope solar apresentou uma variação significativa para mais, quando comparada aos mesmos valores para legislação, com uma amplitude nos resultados que variou de 121% (Simulação 2, orientação SE), a 1056% (Simulação 3, orientação N). O Quadro 7 apresenta a variação ocorrida entre as médias de fração de luz / imagem para legislação e envelope solar.

Orientação	Variação entre as médias de fração de luz / imagem para legislação e envelope (%)			
	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3	Simulação 4
N	879	861	1056	698
NE	490	362	519	425
E	495	285	654	583
SE	195	121	280	272
SO	271	142	231	296
O	394	226	463	445
NO	385	267	539	398

Quadro 7– Dados de acesso solar calculados em fração de luz por área da imagem a partir das imagens obtidas pelo programa SketchUp conforme legislação e com utilização do envelope solar, para as Simulações 1, 2, 3 e 4.

Fonte: Pesquisa.

A análise dos dados evidencia que os maiores valores de incremento da relação fração de luz / imagem foram obtidos na Simulação 3, que possui o maior terreno padrão (Figura 48).

Já os menores valores de variação para fração de luz / imagem foram encontrados na Simulação 2, que é o único cuja edificação adjacente provoca a obstrução total ao longo de toda a extensão lateral da edificação teste, onde se encontra a divisa (Figura 47), corroborando a relação inversamente proporcional entre a área obstruída e o acesso solar.

Estes resultados podem também sugerir uma relação diretamente proporcional entre a área da implantação e a fração de luz / imagem. Metragens de lote maiores proporcionam melhor aproveitamento do acesso solar, ao mesmo tempo em que diminuem a restrição volumétrica causada pelo envelope, mesmo com ângulos menores para alturas solares.

Similarmente aos resultados para legislação, os maiores valores para iluminância média estão concentrados nas orientações NE e NO, seguidas das orientações E e O, comportamento que pode ter sido causado pela maior disponibilidade de luz natural apresentada para estas orientações.

Com exceção da orientação N, os valores de iluminância mínima para implantações que utilizaram o conceito de envelope solar, salvo algumas exceções, não atingiram o mínimo de 150 lux, conforme o recomendado para ambientes de estar em residências na Norma ABNT NBR 5413 (1992). Estes valores igualaram ou superaram o mínimo apenas nas Simulações 1 e 2, para as orientações NE e NO, com $WWR=75\%$, nos horários de maior incidência solar (10h00 e 11h para NE e 14h00 para NO).

Os resultados obtidos para todas as simulações com a utilização do conceito de envelope solar sugerem que as orientações com potencial significativo para a obtenção do acesso solar são: N, NE, E, O e NO.

As orientações SE e SO foram as que apresentaram as condições menos favoráveis para o acesso solar. Tanto as diferenças encontradas em termos de valores numéricos de fração de luz / imagem e de iluminância versus situação padrão (legislação) são inferiores aos apresentados pelas demais orientações.

Estes resultados parecem se relacionar ao fato que estas orientações apresentam potencial de provimento de acesso solar naturalmente reduzido (07h00 às 09h00 para SE, e 15h00 a 17h00 para SO). A baixa potencialidade de acesso solar, somada aos reduzidos volumes para envelope solar produzidos para SE e SO, ocasionados pelos baixos valores de suas alturas solares, fizeram com que a utilização destas orientações se tornasse inviável, sendo descartadas das recomendações finais do trabalho.

Assim, visando obter períodos de horas insoladas maiores, e ao mesmo garantir valores volumétricos razoáveis em que as edificações possam ser

construídas, levantou-se os valores métricos e de ângulos para as orientações N, NE, E, O e NO.

O dimensionamento dos volumes construtivos relacionados por grupo de simulação, para as orientações selecionadas que combinam o conceito de envelope às exigências da legislação vigente resultou nos dados apresentados na Figura 66. Os dados numéricos do levantamento foram compilados para a Tabela 57.

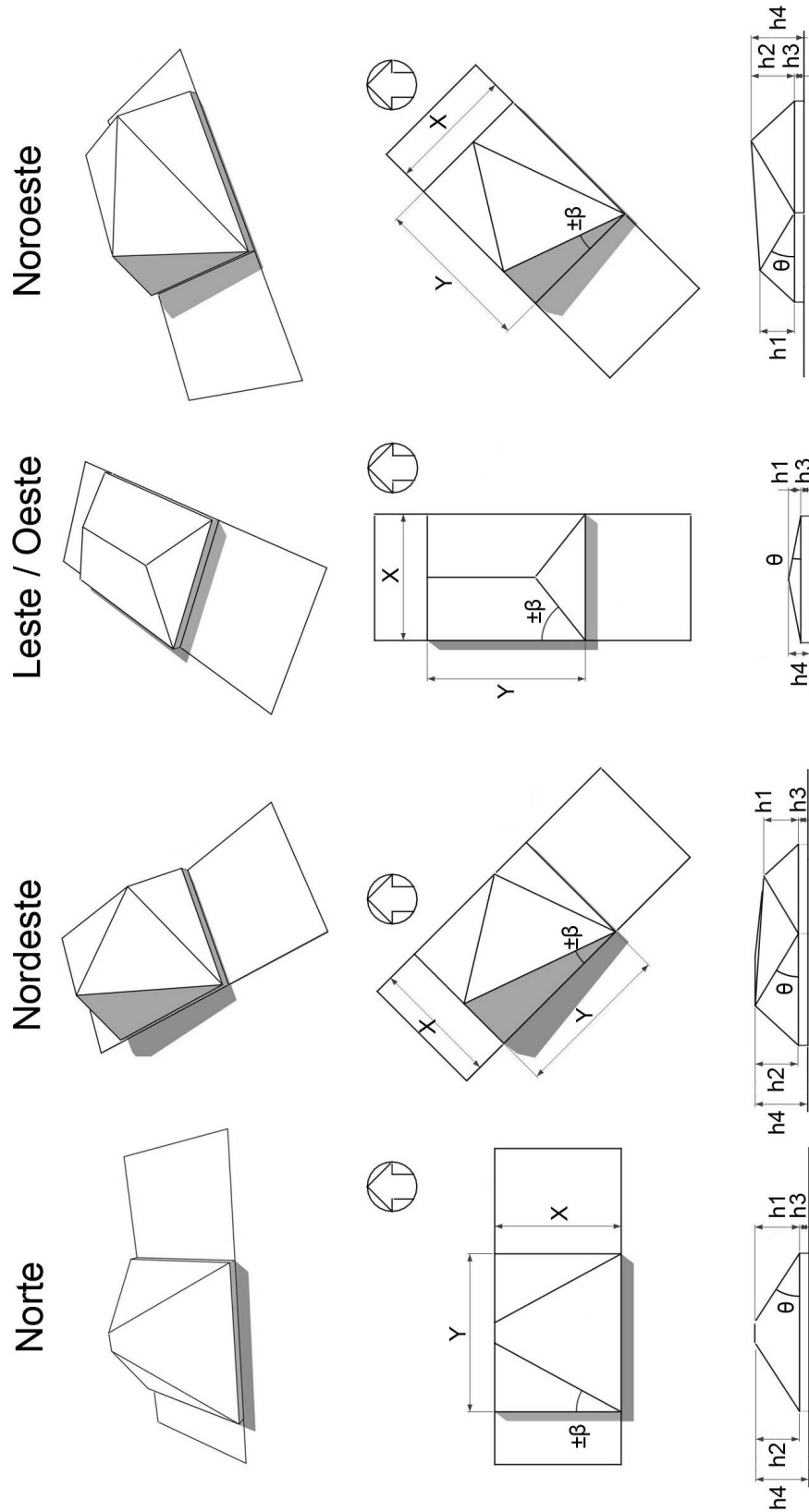


Figura 66– Medidas e ângulos para os volumes geométricos resultantes da aplicação do envelope solar em lotes das ZR's, de acordo com o tipo de orientação.

X e Y são os valores para largura e comprimento da base do envelope solar. Os ângulos β e θ indicam respectivamente o azimute e a altura solar para as horas de corte definidas para cada orientação. O h_1 é a menor altura, e o h_2 é a maior altura definida pelo volume do envelope solar. O valor de h_3 é fixo em 0,90 m, que representa a altura de um patamar que representa a altura do peitoril da abertura para WWR= 25% e 75% (e é o valor mais comumente encontrado em construções padrão). Isto foi feito para que a restrição à altura da edificação não aumentasse mais ainda, sem que prejudicasse o acesso solar obtido com o envelope solar.

O valor de h_4 é obtido pela somatória da maior altura obtida e da altura de 0,90 m do patamar, e representa a maior altura alcançada para o volume construtivo para a situação específica de ZR e orientação.

Tabela 7 - Resumo de medidas e ângulos para envelopes solares em cada grupo de simulação avaliado.

Grupo		Valores	Orientações		
			N	NE / NO	E / O
Simulação 1	ZR-2 e ZR-U	X	12,0 m	12,0 m	12,0 m
		Y	15,0 m	15,0 m	15,0 m
		β	$\pm 33^\circ$	$\pm 29^\circ$	$\pm 52^\circ$
		θ	33°	31°	11°
		h1	4,24 m	3,28 m	1,17 m
		h2	---	4,11 m	---
		h3	0,90 m	0,90 m	0,90 m
		h4	5,14 m	5,01 m	2,07 m
Simulação 2	ZR-3	X	8,0 m	8,0 m	8,0 m
		Y	22,5 m	22,5 m	22,5 m
		β	$\pm 33^\circ$	$\pm 29^\circ$	$\pm 52^\circ$
		θ	33°	31°	11°
		h1	2,83 m	2,19 m	0,78 m
		h2	---	6,15 m	---
		h3	0,90 m	0,90 m	0,90 m
		h4	3,73 m	7,05 m	1,68 m
Simulação 3	ZR-O	X	20,0 m	20,0 m	20,0 m
		Y	30,0 m	30,0 m	30,0 m
		β	$\pm 33^\circ$	$\pm 29^\circ$	$\pm 52^\circ$
		θ	33°	31°	11°
		h1	7,07 m	5,74 m	1,94 m
		h2	---	8,21 m	---
		h3	0,90 m	0,90 m	0,90 m
		h4	7,97 m	9,11 m	2,84 m
Simulação 4	ZR-1, ZR-SF, ZR-P, ZR-B, ZR-M, ZR-AG	X	15,0 m	15,0 m	15,0 m
		Y	20,0 m	20,0 m	20,0 m
		β	$\pm 33^\circ$	$\pm 29^\circ$	$\pm 52^\circ$
		θ	33°	31°	11°
		h1	5,31 m	4,11 m	1,46 m
		h2	---	5,47 m	---
		h3	0,90 m	0,90 m	0,90 m
		h4	6,21 m	6,37 m	2,36 m

Fonte: Pesquisa.

As maiores médias de alturas do volume obtido com a aplicação do envelope solar ocorreram nas orientações N e NE/NO. Verifica-se que a amplitude do valor de h_4 variou de 1,68m (orientação E e O), a 9,11m (para orientações NE e NO).

A altura mínima de 2,40m recomendada pela legislação (PMC, 2008) é atingida em todas para as orientações N e NE/NO, o que não ocorre nas orientações LE/OE, em que este valor é alcançado apenas na Simulação 3. Este dado parece sugerir uma relação diretamente proporcional entre a metragem do terreno e o aumento do volume edificável quando se utiliza envelope solar.

Apesar das orientações E e O apresentarem um potencial considerável para acesso solar (mínimo de 3 horas diárias), essas têm a viabilidade de sua utilização comprometida devido à metragem restrita do lote, somada à possibilidade de se construir junto às divisas que a legislação atual permite. Em conjunto, estes fatores favorecem o ocasionamento de um volume edificável pouco expressivo.

5 CONCLUSÕES

A necessidade de prover acesso solar no interior de edificações é uma preocupação facilmente encontrada em inúmeros agrupamentos humanos. A Antiguidade demonstra inúmeros exemplos de arquiteturas solares que representam o esforço do ser humano no sentido de promover a ordenação racional do espaço urbano, acomodando as populações de forma a que estas permaneçam harmonicamente integradas às condições climáticas pertencentes a cada localização geográfica.

Entretanto, o inchamento das cidades provocado pela necessidade de abrigar contingentes populacionais cada vez maiores é um reflexo do modelo econômico mundial de crescimento. Esta característica de rápido crescimento levanta dúvidas acerca da possibilidade de um futuro sustentável.

Curitiba é notoriamente reconhecida como a cidade modelo de um padrão de ocupação balizado por preocupações de âmbito ecológico e de ordem social. Entretanto, contraditoriamente ao seu marketing de cidade modelo, possui legislações reguladoras do uso e ocupação do solo que aparentemente não priorizaram a garantia do acesso solar para suas zonas residenciais. Este fato se agrava ainda mais quando somado à condição de Curitiba de capital mais fria do país.

Os resultados da simulação piloto 1, divisa N, para implantações realizadas de acordo com a legislação, e com a aplicação do envelope solar, realizadas com os programas AutoCAD e SketchUp, permitiram verificar a grande similaridade dos resultados obtidos nestes programas, possibilitando a escolha do SketchUp para a realização do trabalho, devido à sua facilidade de manuseio e disponibilização aberta. Pelas condições de manutenção inadequadas do equipamento Heliodon anteriormente reportadas, a comparação dos dados das simulações virtuais com os modelos físicos no equipamento não resultaram em dados confiáveis, e seu uso foi descontinuado no trabalho, sendo assim descartadas da análise para as demais orientações. Este fato impossibilitou o cumprimento de um dos objetivos específicos iniciais do trabalho, que era realizar um comparativo entre os resultados referentes ao acesso solar para as ZR's obtidos com modelos físicos e com modelos virtuais.

Com a análise dos resultados obtidos a partir das simulações virtuais realizadas, verificou-se que a utilização do máximo potencial permitido pela legislação para a ocupação de lotes destinados ao uso residencial, prática facilmente observada nas construções da cidade, somada à incipiente influência dos parâmetros de ocupação atuais na garantia do acesso ao sol, produzem como resultado residências que possuem acesso por vezes desprezível ao aquecimento e iluminação naturais promovidos pelo sol.

A análise dos parâmetros construtivos legais definidos para cada ZR permitiu verificar que, em detrimento da qualidade espacial, construções de grande volume com espaçamento ínfimo entre si são permitidas, com a finalidade de proporcionar o maior retorno em metragem construída e garantir uma maior valorização do imóvel, sob a ótica financeira.

Esta super utilização ocorre em decorrência de parâmetros de uso e ocupação do solo definidos sem que aparentemente houvesse preocupação com sua relação direta ao provimento de acesso solar. Assim, a combinação entre valores elevados de altura máxima e afastamentos laterais mínimos ou mesmo inexistentes, resulta em situações cujas sombras resultantes poderão causar a obstrução solar total ou parcial nas aberturas das edificações adjacentes.

Um segundo fator levantado que interfere de forma pontual no acesso solar é a orientação das divisas. A legislação edilícia atual não contempla a necessidade de se propor recomendações para promover a implantação de vias com orientações que sejam as mais favoráveis para permitir o melhor aproveitamento da luz solar.

Para que seu potencial pudesse ser aproveitado em sua plenitude, seriam necessárias alterações significativas nas metragens dos lotes. Isto envolve questões de ordem econômica e cultural. A diminuição da densidade de ocupação e do aumento da metragem dos lotes acarretaria em quantidades menores de unidades habitacionais, o que em conjunto diminuiria a margem de lucro de incorporadoras. A alteração da cultura de aproveitamento máximo da área de terrenos teria de ser trabalhada, a fim de que os recuos deixassem de ser encarados como áreas “ociosas”, para passarem a ser elementos imprescindíveis na promoção da qualidade espacial e dos benefícios que o acesso ao sol pode proporcionar. Outra questão que merece citação são os benefícios para a ventilação entre as edificações

no período de verão que a utilização de afastamentos entre divisas maiores podem proporcionar.

Neste contexto, a questão energética é pontual na argumentação da necessidade do melhor aproveitamento solar. A produção atual de edifícios não possui incentivos para que seus idealizadores a concebam tendo em mente os custos energéticos para sua manutenção a longo prazo. Isto somado à pressão para que se construa cada vez mais, de forma cada vez mais rápida, resulta num modelo de crescimento onde se cresce de forma “barata” e se mantém de forma “cara”. (KNOWLES, 2003).

Knowles (2003) ainda afirma que a conscientização dos arquitetos acerca da necessidade imperiosa da produção de uma arquitetura sustentável se dará através de pressões sociais, econômicas, ecológicas e da mídia, caso os profissionais diretamente ligados à área não tomem rapidamente o controle da situação.

A utilização do conceito de envelope solar apresenta-se como uma solução altamente viável, demandando cálculos simples e que oferecem resultados bastante satisfatórios, sem que seja necessária a utilização de artefatos tecnológicos complexos ou demandem altos investimentos.

Quanto às limitações do estudo, cita-se a impossibilidade da realização das comparações entre os dados das simulações virtuais com os resultados de simulações com modelos físicos para todas as orientações e grupos de simulação. Embora a utilização do programa SketchUp tenha promovido subsídios para a compreensão do comportamento do acesso solar para as orientações avaliadas, a comparação com dados obtidos com o equipamento Heliodon poderia ter ajudado a delimitar uma margem de erro para os dados, ao mesmo tempo que permitiria aumentar a confiabilidade destes.

A comparação entre os dados obtidos com o SketchUp e com modelos físicos poderia ser uma das possíveis pesquisas futuras que o trabalho possibilita. É possível também que os resultados deste trabalho possam servir de subsídio para outras pesquisas relacionadas a planos urbanísticos que visem ao máximo aproveitamento do acesso solar tanto para a promoção de uma melhoria no aspecto de conforto ambiental de edificações residenciais quanto para o dimensionamento de dispositivos de captação de energia solar para aquecimento e para produção de energia elétrica.

Num momento histórico onde a questão da escassez de recursos naturais, a necessidade de redução do consumo de fontes energéticas não renováveis, e o aumento da utilização de fontes de energia alternativas assumem grande importância, a luz solar desponta com uma solução eficiente, inesgotável e de custo zero.

REFERÊNCIAS

ALLUCI, M. P. **Conforto térmico, conforto luminoso e conservação de energia elétrica**: Procedimentos para desenvolvimento e avaliação de projetos de edificações. 1992. Tese (Doutorado, Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 1992.

ANDERS, S.; GRIGSBY, K.; KUDUK, C. **California's Solar Right Act**: a review of the Statues and Relevant Cases. University of San Diego, 2007. Disponível em: <http://www.sandiego.edu/epic/publications/documents/070123_RightsActPaperFINA_L.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2009.

ANDRADE, R. V. **O processo de produção dos parques e bosques públicos de Curitiba**. 2001. 141 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001. Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/12844744/Dissertacao-Rivail-Vanin-de-Andrade-O-processo-de-producao-dos-parques-e-bosques-publicos-de-curitiba>>. Acesso em: 05 dez. 2009.

ANDRADE, T. A.; SERRA, R. V. **O recente desempenho das cidades médias no crescimento populacional urbano brasileiro**. *Texto para discussão* n° 554. Rio de Janeiro: IPEA, 1998. Disponível em: < <http://www.ipea.gov.br/publicacoes>>. Acesso em: 07 out. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413**: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-3**: Iluminação Natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho Térmico de Edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **PROJETO 02:136.01-001/1**: Desempenho de edificações. Rio de Janeiro, 2007.

AL-AZZAWI, S. H. Oriental houses in iraq. In: Oliver, P. (ed). **Shelter and Society**. London: Barrie and Rockliffe Press. 1969.

BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, A. **A Daylight in Architecture**: a european reference book. Comission of European Comunities. Bruxelas and Lexemburg: James & James Ltda, 1998.

BAKER, N.; STEEMERS, K. **Daylighting Design of Buildings**. Londres: James & James Ltda, 2002.

BEGEMANN, S. H. A.; VAN DEN BELD, G. J.; TENNER, A. D. Daylight, artificial light and people in an office environment, overview of visual and biological responses. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 20, p. 231-239, 1997.

BENEVOLO, L. **História da Cidade**. 3ª Ed. São Paulo: Perspectiva, 1999.

BECK, U. Politics of Risk Society. In FRANKLIN, J. **The Politics of Risk Society**. Oxford: Blackwell, 1998.

BIALECKI, K. R. GESTÃO HABITACIONAL E CONFIGURAÇÃO DO ESPAÇO URBANO: O CASO DA CIDADE DE CURITIBA (BRASIL). **eGesta** (UNISANTOS), v. 2, p. 1, 2006. Disponível em: <<http://www.unisantos.br/mestrado/gestao/egesta/artigos/71.pdf>>. Acesso em 05 dez. 2009.

BITTENCOURT, L. **Uso das cartas solares**: diretrizes para arquitetos. Maceió: EDUFAL, 2000.

BOULDER. Solar **Access Guide or solar shadow analysis**. Building Services Center, Boulder, Colorado, 2006. Disponível em: <<http://joomla.ci.boulder.co.us/files/PDS/codes/solrshad.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2009.

BROWN, G. Z; DEKAY, M. **Sun, Wind & Light**: Architectural Design Strategies, 2nd ed. New **York: John Wiley and Sons**, 382 p.

BUSTOS ROMERO, M. A. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. Brasília: CopyMarket, 2000.

BUSTOS ROMERO, M. A. As características do lugar e o planejamento de Brasília. **Revista Espaço e Geografia**, vol. 6, n.2, p.31-58, 2003.

BUTTI, K.; PERLIN, J. **Un hilo dorado**. Madri: Hermann Blume, 1980.

CABRITA, A. M. R. **O homem e a casa**: definição individual e social da qualidade da habitação. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil/Departamento de Edifícios, 1995.

Camarano, A. A.; Beltrão, K. I. **Distribuição espacial da população brasileira**: mudanças na segunda metade deste século. Rio de Janeiro: IPEA, 2000. 28p. Disponível em: < <http://www.ipea.gov.br/publicacoes>>. Acesso em: 07 out. 2009.

CAMPOS, R. F. **Análise da influência da orientação da testada dos lotes na ocupação do setor estrutural de Curitiba**. 2005. 202f. Dissertação (Mestrado). Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

CASTELNOU, A. M. N. Parques urbanos de Curitiba: de espaços de lazer a objetos de consumo. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, Belo Horizonte, v. 13, n. 14, p. 53-73, dez. 2006. Disponível em: <http://www.pucminas.br/documentos/arquitetura_14_artigo04.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2009.

CASTRO PÉREZ, D. R. **O envelope solar e o direito ao sol**. Campinas, SP: [s.n.], 2007. 177f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. 2007.

CAVALHEIRO, F.; DEL PICCHIA, P. C. D. Áreas verdes: conceitos, objetivos e diretrizes para o planejamento. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 4, 1992, Vitória/ES. **Anais...v.I**. Vitória: 1992.p.29-38.

CHOAY, F. **O Urbanismo**. São Paulo: Perspectiva, 1979.

CHOAY, F. **A regra e o Modelo**: sobre a teoria da arquitetura e do urbanismo. São Paulo: Perspectiva, 1985.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**: conforto ambiental. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

COMEC. **Situação geográfica**. Disponível em <<http://www.pr.gov.br/comec/ormc.html>> Acesso: em 25.out.2008.

COSTA, E. V. **Da Monarquia à República: momentos decisivos**. São Paulo: Brasiliense, 1992.

DANNI-OLIVEIRA, I. M. Aspectos Climáticos de Curitiba-PR: uma contribuição para o ensino médio. **RA'E O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, n. 03, p. 229-253, 1999.

DANNI-OLIVEIRA, I. M. **A cidade de Curitiba/PR e a poluição do ar** – implicações de seus atributos urbanos e geocológicos na dispersão de poluentes em período de inverno. 1999. 330f. Tese (Doutorado em Geografia) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

DERINGER, J. J.; BUSCH, J. F. **Vol. I: Energy Standards**. Eds. Berkeley: Califórnia, 1992. Disponível em: < <http://www.osti.gov/bridge/purl.cover.jsp?purl=/10161207-VUv2FG/>>. Acesso em: 21 dez. 2009.

DUMONT, M.; BEAULIEU, C. Effects of dim and bright work environment on circadian functions. In: CIE EXPERT SYMPOSIUM ON LIGHTING AND HEALTH, 2., 2006, Ottawa. **Proceedings...** Viena: Commission Internationale de l'Eclairage, 2006, p. 46-49.

EDWARDS, L.; TORCELLINI, P. **A literature review of the effects of natural light on building occupants** (Technical report). Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory. 58 p., 2002.

ESKINAZI, M. O. A Interbau e a requalificação moderna do oitocentista Hansaviertel em Berlim - 1957. 7o. Seminário Docomomo Brasil, 2007, Porto Alegre. **Anais do 7o. Seminário Docomomo Brasil**, 2007. p. 1-20.

FAIMAN, D. **Solar energy in Israel**. Ben-Gurion University of the Negev. Negev, 2002. Disponível em: <<http://www.mfa.gov.il/MFA/Facts%20About%20Israel/Science%20-%20Technology/Solar%20Energy%20in%20Israel>>. Acesso em: 10 dez. 2009.

FATHY, H. **Construindo com o povo**. Rio de Janeiro: Editora Forense, 1980.

FILHO, V. F. C. **Cidade e sociedade: a gênese do urbanismo moderno em Curitiba (1889-1940)**. 1998. 133 f. Dissertação (Mestrado em História, Cultura e Poder). Curso de Pós-Graduação em História, Departamento de História, Setor de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

FIRKOWSKI, O. L. C. de F. Urbanização, crise urbana e cidades no século XXI: um olhar a partir da realidade paranaense. In: José Borzacchiello da Silva; Luiz Cruz Lima; Eustógio Wanderley Correia Dantas. (Org.). **PANORAMA DA GEOGRAFIA BRASILEIRA II**. São Paulo: Annablume, 2006, v. 2, p. 57-66.

FRY, M. A. **Arte na era da máquina**. São Paulo: Editora Perspectiva, 1982.

GALAFASSI, G. Relaciones entre Ciencia, Tecnologia y Ambiente. In: Albornoz, Mario, Kreimer, Pablo & Glavich, Eduardo. **Ciencia y Sociedad em América Latina**. Bernal: Universidad de Quilmes, 1996.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. Amsterdam: Elsevier, 1969.

GIVONI, B. Confort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**. v. 18, p. 11-23, 1992.

GOITIA, F. C. **Breve História do Urbanismo**. Lisboa: Editorial Presença/Martins Fontes, 1982.

GRAZZIOTIN, P. C. **Técnicas de Incorporação de Controle de Acesso à Luz Solar em Modelos Computacionais de Edificações**. 2003. 90f. Dissertação (Mestrado em Computação) – Programa de Pós-Graduação em Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

HARDT, L. P. A. **Subsídios ao planejamento de sistemas de áreas verdes baseado em princípios de ecologia urbana**: aplicação a Curitiba PR. 1994. 171f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

HATHAWAY, W.E.; HARGREAVES, J.A.; THOMPSON, G.W.; NOVITSKY, D. A Study into the Effects of Light on Children of Elementary School Age – a case of daylight robbery. **Bright Light Enterprises On-Line**. Disponível em:< <http://www.vitalight.com/articles/alberta2.htm>>. Acesso em: 11 jun. 1998.

HAROUEL, J. L. **História do Urbanismo**. (Tradução Ivone Salgado). São Paulo: PAPIRUS, 1998.

HAWKEN, P.; LOVINS, A.; LOVINS, L. H. **Capitalismo Natural**. São Paulo. Cultrix – Amana Key, 1999.

HOLSTON, J. **A cidade modernista**: uma crítica de Brasília e sua utopia. São Paulo: Companhia das letras, 1993.

IPPUC – INSTITUTO DE PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA. **História do planejamento urbano de Curitiba**. Disponível em: http://www.ippuc.org.br/pensando_a_cidade/index_hist_planej.htm. Acesso em 15 jun. 2008.

KENT, S. **Domestic architecture and the use of space: an interdisciplinary cross-cultural study**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

KNOWLES, R. L. **Sun, Rythm, Form**. Massachussets: The MIT Press, 1981.

KNOWLES, R. L. The solar envelope: it's meaning for energy and buildings. **Energy and Buildings**. Los Angeles, v.35, n.1, p.15-25, 2003.

LAMBERTS, R. DUTRA, L., PEREIRA, Fernando. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: UFSC/Procel/Eletróbrás, São Paulo, 1997.

LEITÓLES, F. Moradores da Caximba apresentam água com chorume aos vereadores de Curitiba. **Gazeta do Povo**, Curitiba, 17 nov.2009. Seção Vida e Cidadania. Disponível em: <http://portal.rpc.com.br/gazetadopovo/vidaecidadania/conteudo.phtml?id=945506>. Acesso em: 07 dez. 2009.

LIMA, C. de A. **A ocupação de áreas de mananciais na Região Metropolitana de Curitiba: do planejamento à gestão ambiental urbana-metropolitana**. 2000. 406 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

MARTAU, B. T. **A luz além da visão: iluminação e sua relação com a saúde e bem-estar de funcionárias de lojas de rua e shopping centers em Porto Alegre**. Campinas, 2009. 504 f. Tese [Doutorado em Engenharia Civil] - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.

MARX, L.; SMITH, M. R. **Does technology drive history?: the dilemma of Technological Determinism**. Cambridge: Mass:MIT Press, 1996.

MOFFET, M.; FAZIO, M.; WODEHOUSE, L. **A world History of Architecture**. Londres:Lawrence King Publishing Ltd., 2003.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Cidades Sustentáveis**: Agenda 21. Disponível em <<http://www.mma.gov.br>> – Acesso em 03 jun.2008.

MONTGOMERY, M. R. Keeping the Tenants Down: Height Restrictions and Manhattan's Tenement Hose System, 1885-1930. **Cato Journal**. Washington: v.22, n.3, p. 495-509, 2003.

MP-PR MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DO PARANÁ. Procuradoria-Geral de Justiça. Assessoria de imprensa. **Aterro da caximba passará por ampliação emergencial**. Disponível em: <<http://200.189.113.39/mppr/noticiamp.nsf/0/9f5df2e07a119f8303256df00069ea00?OpenD>> Acesso em: 21 nov. 2003.

MP-PR MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DO PARANÁ. Procuradoria-Geral de Justiça. Assessoria de imprensa. **IAP só libera caximba com o aval do MP**. Disponível em: <<http://200.189.113.39/mppr/noticiamp.nsf/0/e490c8f09f613bf303256e910052b3b4?O>> Acesso em: 28 nov. 2004.

MASCARÓ, L. **Temperatura e umidade**. Programa PREAMBE. UFRGS, 2001, 41 p.

MOREIRA, G. de O.; ROCHA, V. C. C. Ares, miasmas e lugares: o discurso... Guanicuns. **Rev. da FECHA/FEA**, Goiás, n.03-04, p.245-254, nov. 2006 / jun. 2006.

NUCCI, J. C. Análise sistêmica do ambiente urbano, adensamento e qualidade ambiental. **PUC SP Ciências Biológicas e do Ambiente**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 73-88, 1999. Disponível em: <<http://www.geografia.ufpr.br/laboratorios/labs/arquivos/nucci-1999.pdf>>. Acesso em: 08 dez. 2009.

OLIVEIRA, M. de. A trajetória do discurso ambiental em Curitiba (1960-2000). **Revista de Sociologia e Política**. Curitiba, n.4, p.97-106, jun. 2001.

PEARLMUTTER, D. Patterns of sustainability in desert architecture. In Desert Architecture for a New Millenium, **Arid Lands Newsletter**, n. 47, 2000. Disponível em: < <http://ag.arizona.edu/OALS/ALN/aln47/pearlmutter.html>>. Acesso em 25 nov. 2009.

PEREIRA, F. O. R.; PEREIRA, A. T. C. Envelope solar: um exercício teórico ou uma proposição viável. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3., 1995, Gramado. **Anais...** São Paulo: Antac, 1995. 1 CD-ROM. . 499-504.

PEREIRA, F. O. R.; SILVA, C. A. N. A methodology for sunlight urban planning: A computer-based solar and sky vault obstruction analysis. **Solar Energy**, v. 70, n.3, p. 217-226, 2001.

PRADO, A. L. Em busca da pertinência para uma arquitetura tropical. MDC. Revista de Arquitetura e Urbanismo. **MDC Revista de Arquitetura e Urbanismo**. Belo Horizonte, Officina 3 Consultores Associados, n.1, 2 e 3, p. 10-13, 2006. Disponível em: <<http://www.mdc.arq.br/mdc/txt/mdc01-txt03.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2008.

PMC – PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Curitiba**: uma cidade ambientalmente correta. Curitiba, 1996.

PMC – PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Lei Nº 11266 DE 16 DE Dezembro de 2004** - dispõe sobre a adequação do Plano Diretor de Curitiba ao Estatuto da Cidade - Lei Federal nº 10.257/01, para orientação e controle do desenvolvimento integrado do Município. Curitiba, 2004. Disponível em: <http://www.ippuc.org.br/informando/tematicos/2004_Lei_Plano_Diretor.pdf>. Acesso em 09 dez. 2009.

PMC – PREFEITURA DE CURITIBA. **Projeto de Lei Ordinária n. 05.00236.2006**. Institui no âmbito do município de Curitiba o Programa de Incentivos ao Uso de Energia Solar nas Edificações Urbanas. Curitiba, 2006.

PMC – PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Decreto 212/2007 – que aprova o regulamento de edificações da Cidade**. Curitiba, 2007. Disponível em: <<http://sitepmcestatico.curitiba.pr.gov.br/servicos/urbanismo/legislacao/decreto212-07.pdf>>. Acesso em 19 mar. 2008.

PMC - PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Lei n º9.800, de 03 de janeiro de 2000**. Dispõe sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no Município de Curitiba e dá outras providências. Curitiba, 03 jan. 2000. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/Servicos/Governo/Legislacao/zoneamento/9800.00.zip>> Acesso em: 04 fev. 2009.

PMC - PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Plano Municipal de Controle Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**. Curitiba, 2009. Disponível em: <<http://sitepmcestatico.curitiba.pr.gov.br/servicos/meioambiente/planoambiental/pmc-ads-versaocompleta.pdf>>. Acesso em: 05 dez. 2009.

PMPA – PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Lei Complementar n° 560, de 3 de janeiro de 2007**. Institui, no Município de Porto Alegre, o Programa de Incentivos ao Uso de Energia Solar... Porto Alegre, 2007. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/geesp/docs/legislacao/municipal/porto_alegre/lei_comp_lementar_n560_%203_janeiro_2007.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2009.

QUENNEL, M. **Everyday things in Ancient Greece**. New York: Putnam, 1954.

ROAF, S.; CRICHTON, D.; FERGUS N. **A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas**: um guia de sobrevivência para o séc. XXI. Porto Alegre: Bookman, 2009.

ROBINSON, G. **Illustrated dictionary of architecture**. 1 ed. Delhi: Saras Graphics, 2006.

ROSEN, G. **Uma história da saúde pública**. São Paulo: Ed. Unesp, 1994.

SANTOS, M. **A Urbanização Brasileira**. São Paulo: Edusp, 2008.

SCARAZZATO, P. S. **DLN : software preditivo da disponibilidade de luz natural em planos horizontais e verticais externos às edificações**. São Paulo, SP. 1995. p. 269-273. In: Anais do Encontro Nacional de Modelos de Simulação de Ambientes, São Paulo, 1995.

SCHMID, A. L. Daylighting and insolation in high density urban zones: how simulation supported a new law in Curitiba. In: BUILDING SIMULATION, 7., 2001. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2001. p. 1093 - 1099.

SERRES, M. **O contrato natural**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1991.

SHAVIV, E., CAPELUTO, I. G. Modeling the design of Urban fabric with Solar Rights Considerations. **Solar Energy**, Haifa, v. 70, n.3, p. 275-280, 2001.

STERLING, Theodor D.; COLLET, Chris; RUMEL, Davi. A epidemiologia dos “edifícios doentes”. **Ver. Saúde Públ.**, São Paulo, v. 25, n.1, p. 56-63, 1991.

SUGA, M. **Avaliação do potencial de aproveitamento de luz natural em cânions urbanos**: estudo realizado nos eixos estruturais de Curitiba. 2005. 213 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Desenvolvimento) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

SUTCLIFFE, A. **Towards the planned city** – German, Britain, the United States and France. (1780-1914). New York: St. Martin Press, 1981, p. 2.

NAÇÕES UNIDAS. **World Urbanization Prospects: the 2007 revision**. New York: UN, 2008.

TOLEDO, B. G. **Integração de iluminação natural e artificial: métodos e guia prático para projeto luminitécnico**. 2008. 190 f. Dissertação. (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, LMPT / EMC e NPC / ECV. **Analysis Bio**. versão 2.1: Avaliação bioclimática e de conforto térmico. Florianópolis: UFSC. Disponível em: <www.labee.ufsc.br>. Acesso em: 17 dez. 2009.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e arquitetura**. São Paulo: Virtus, 2001.

Viaro, A.; Ziegler, A. **Habitat traditionnel dans le monde: Eléments pour une approche**. Paris: Unesco, 1983.

VITRUVIUS. **Ten books on Architecture**. Londres: Harvard University Press, 1914. Disponível em: <<http://www.gutenberg.org/files/20239/20239-h/29239-h.htm>>. Acesso em: 18.nov. 2009.

WINNER, L. Do artifacts have politics? In: **The whale and the reactor: a search for limits in an age of high technology**. Chicago: University of Chicago Press, 1986. p. 19-39.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Indoor air pollutants: exposure and health effects**. Copenhagen, Euro Reports and Studies, 1983.

Wurtman, R. J. The Effects of Light on the Human Body. **Scientific American**; v.233, n.1, p. 68-77, jul. 1975. Disponível em: <<http://wurtmanlab.mit.edu/publications/pdf/286.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2009.

YEZIORO, A.; CAPELUTO, I. G.; BLEIBERG, T.; SHAVIV, E. Regulations for Solar for Buildings, Sidewalks and Open Spaces. In: World Renewable Energy Congress, p. 587 – 591, 2008. **Anais eletrônicos**...Glasgow: Renewable Energy, 2008.

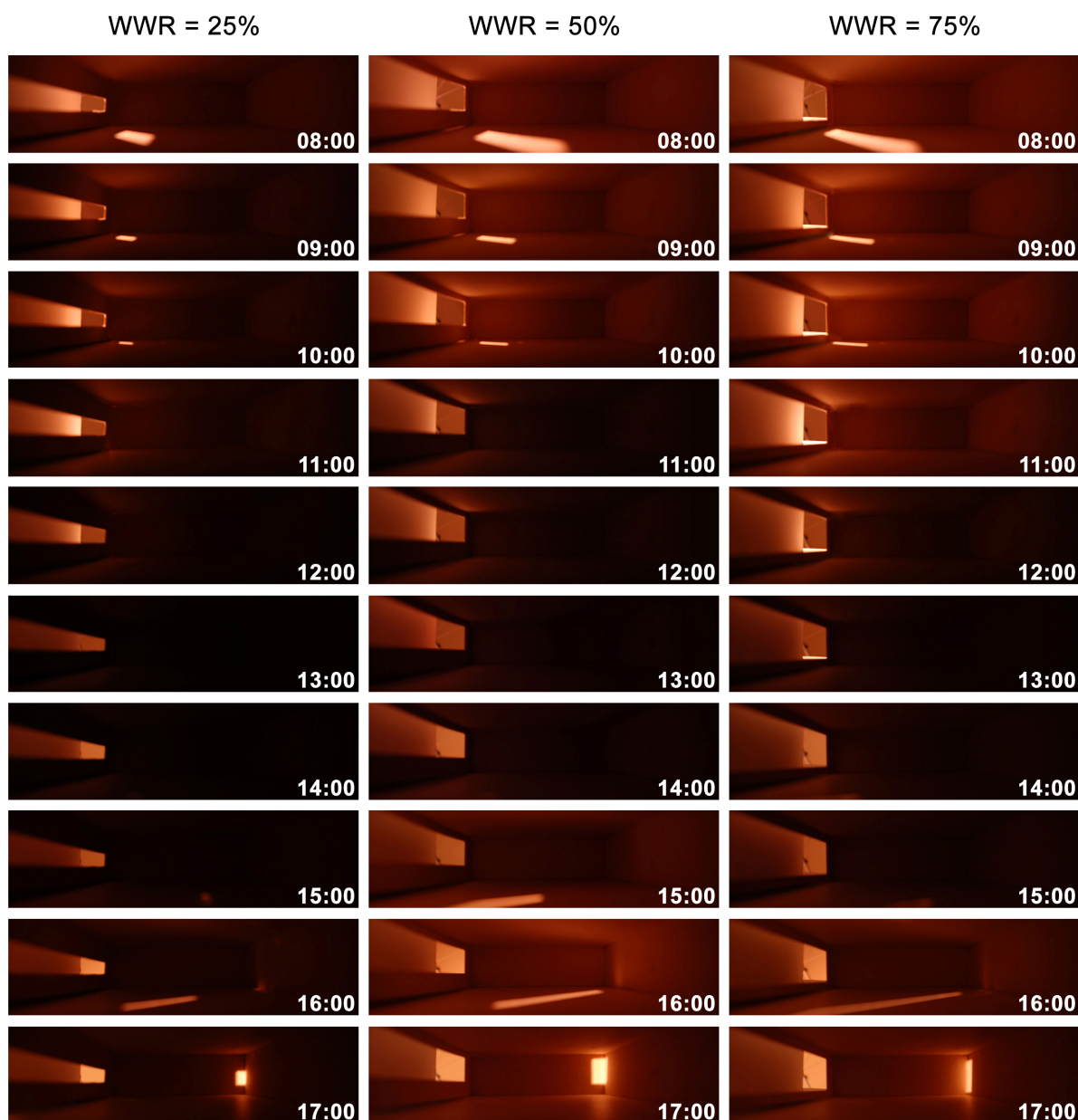
Disponível em: < <http://www.sovereign-publications.com/renewable-energy2008-art.htm> >. Acesso em: 10 out. 2009.

ZANELLO, S. **Caracterização mineralógica e avaliação dos teores de Cr, Ni, Cu, Zn e Pb dos solos do entorno do aterro sanitário da Caximba em Curitiba (PR)**. 2006. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ZIRKL, F. Desenvolvimento urbano de Curitiba (Brasil): cidade modelo ou uma exceção? **Actas latinoamericanas de Varsovia**. Varsóvia, n. 26, p. 87 - 98, 2003.

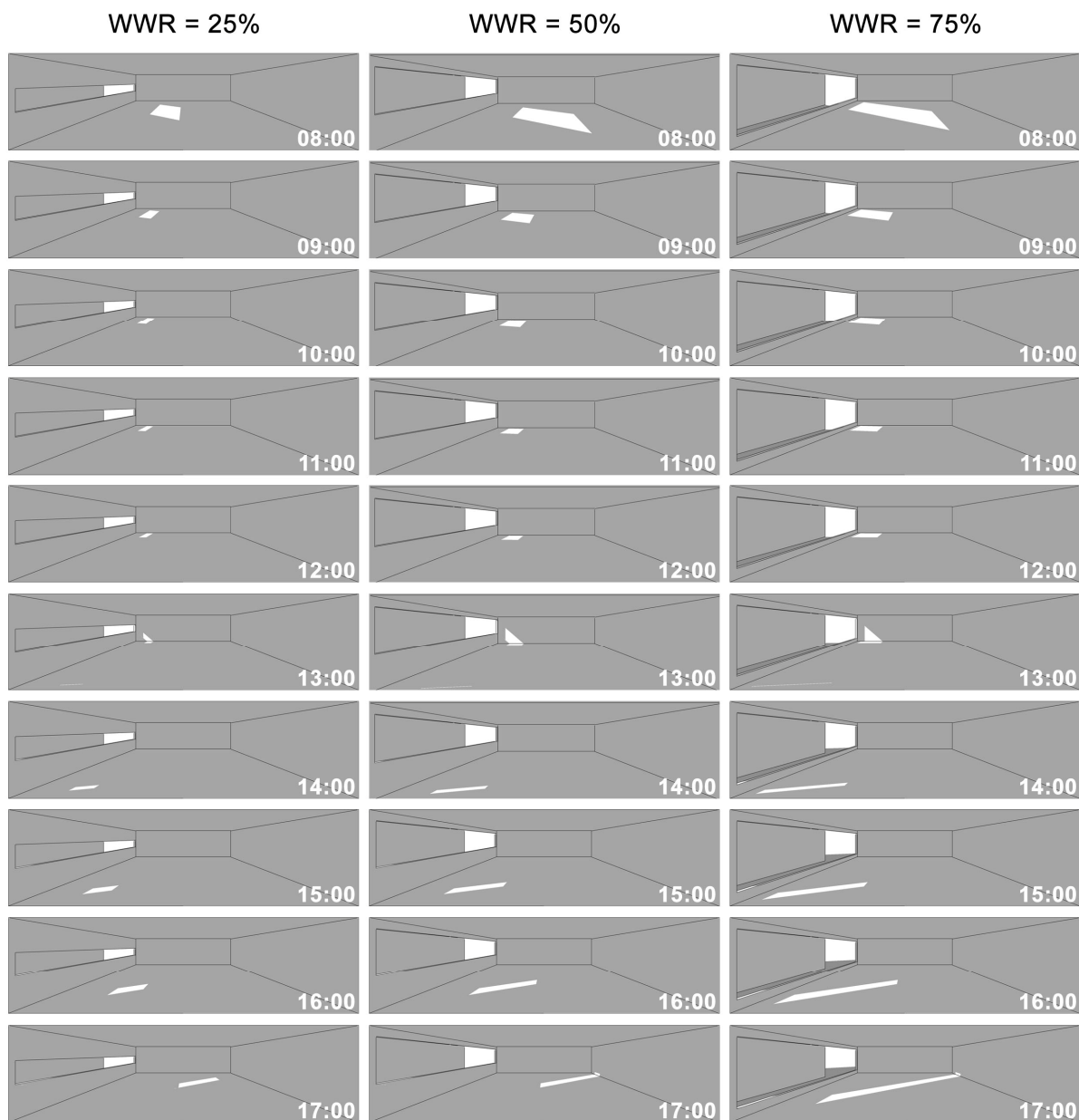
APÊNDICES

APÊNDICE A – Simulação 1: resultados de simulações de insolação das 08h00 às 17h00 com o equipamento Heliodon, para ocupação de lote nas ZR-2 e ZR-U, conforme legislação, para a divisa N, no solstício de inverno (21/06).



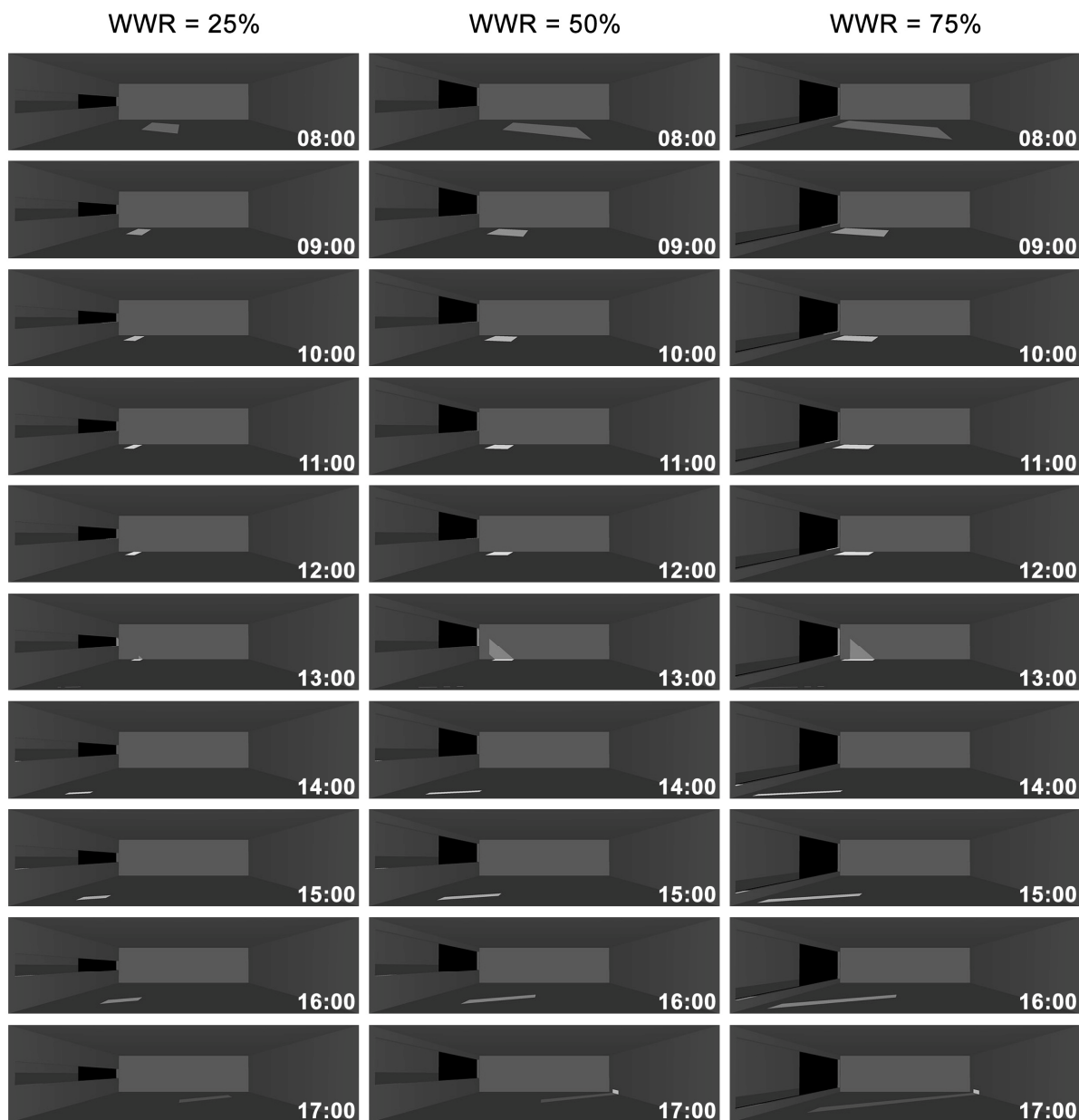
Fonte: Pesquisa.

APÊNDICE B – Simulação 1: resultados de simulações de insolação das 08h00 às 17h00 com o SkethcUp, para ocupação de lote nas ZR-2 e ZR-U, conforme legislação, para a divisa N, no solstício de inverno (21/06).



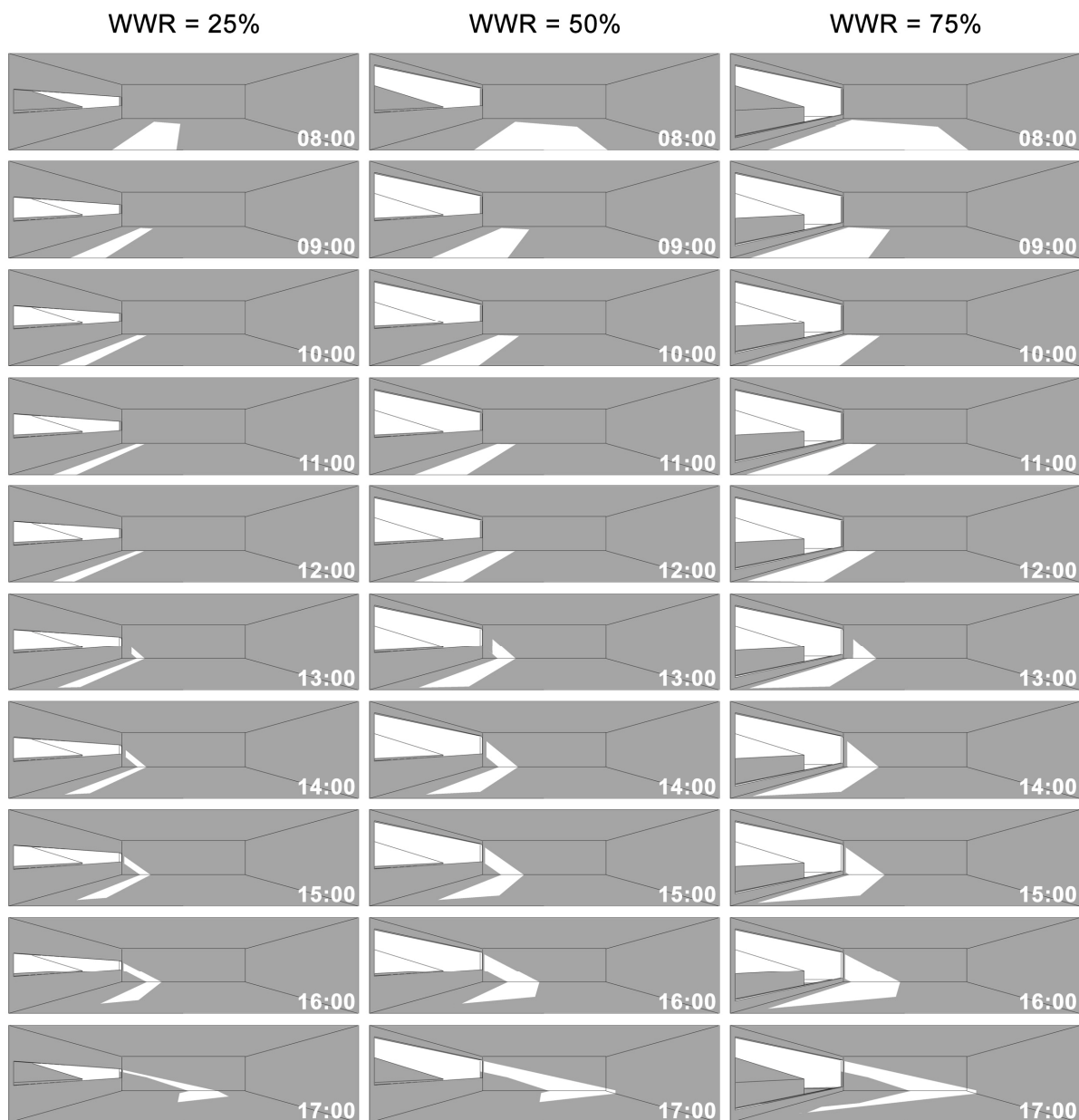
Fonte: Pesquisa.

APÊNDICE C – Simulação 1: resultados de simulações de insolação das 08h00 às 17h00 com o AutoCAD, para ocupação de lote nas ZR-2 e ZR-U, conforme legislação, para a divisa N, no solstício de inverno (21/06).



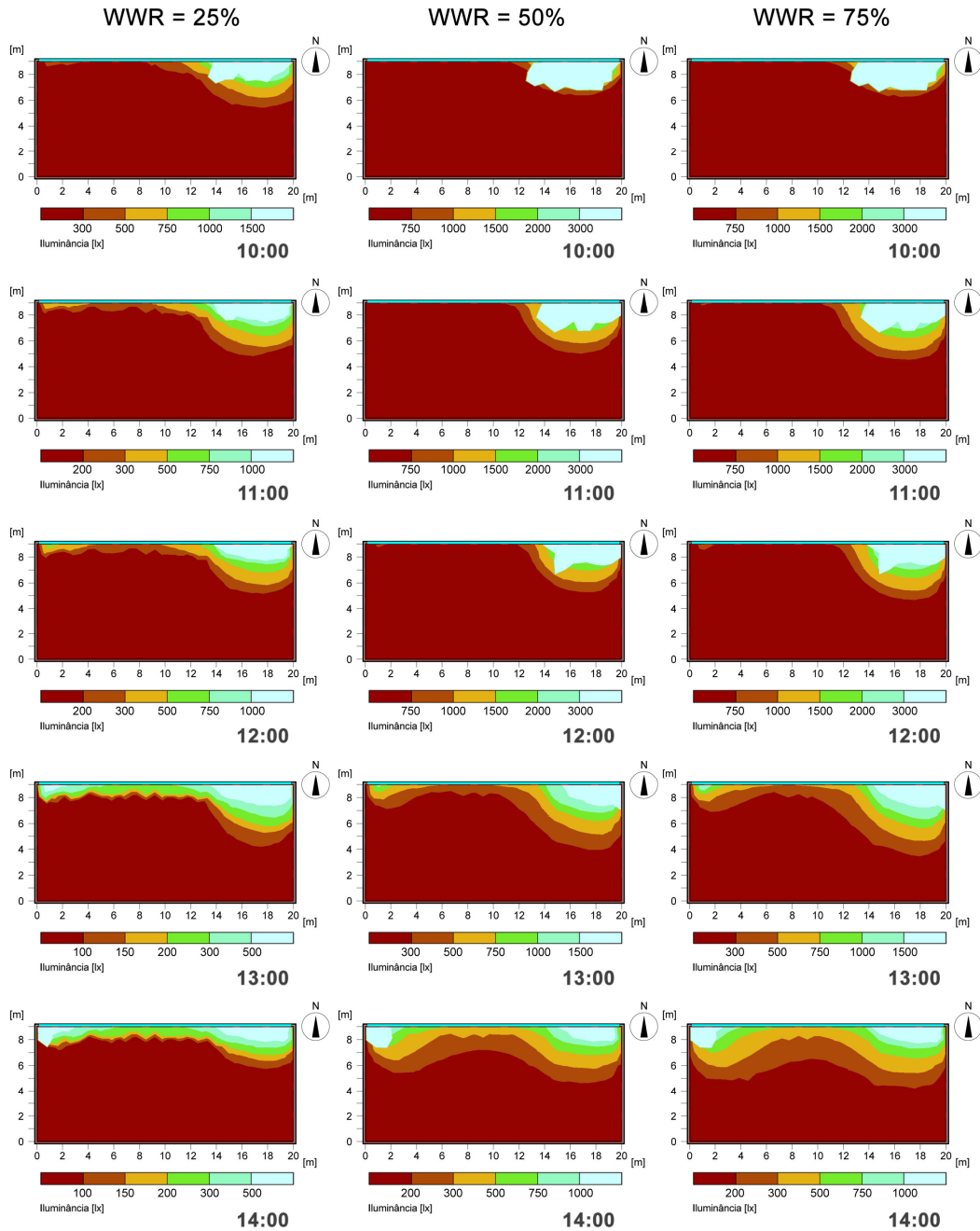
Fonte: Pesquisa.

APÊNDICE D – Simulação 1: resultados de simulações de insolação das 08h00 às 17h00 com o AutoCAD, para ocupação de lote nas ZR-2 e ZR-U, com a utilização do envelope solar, para a divisa N, no solstício de inverno (21/06).



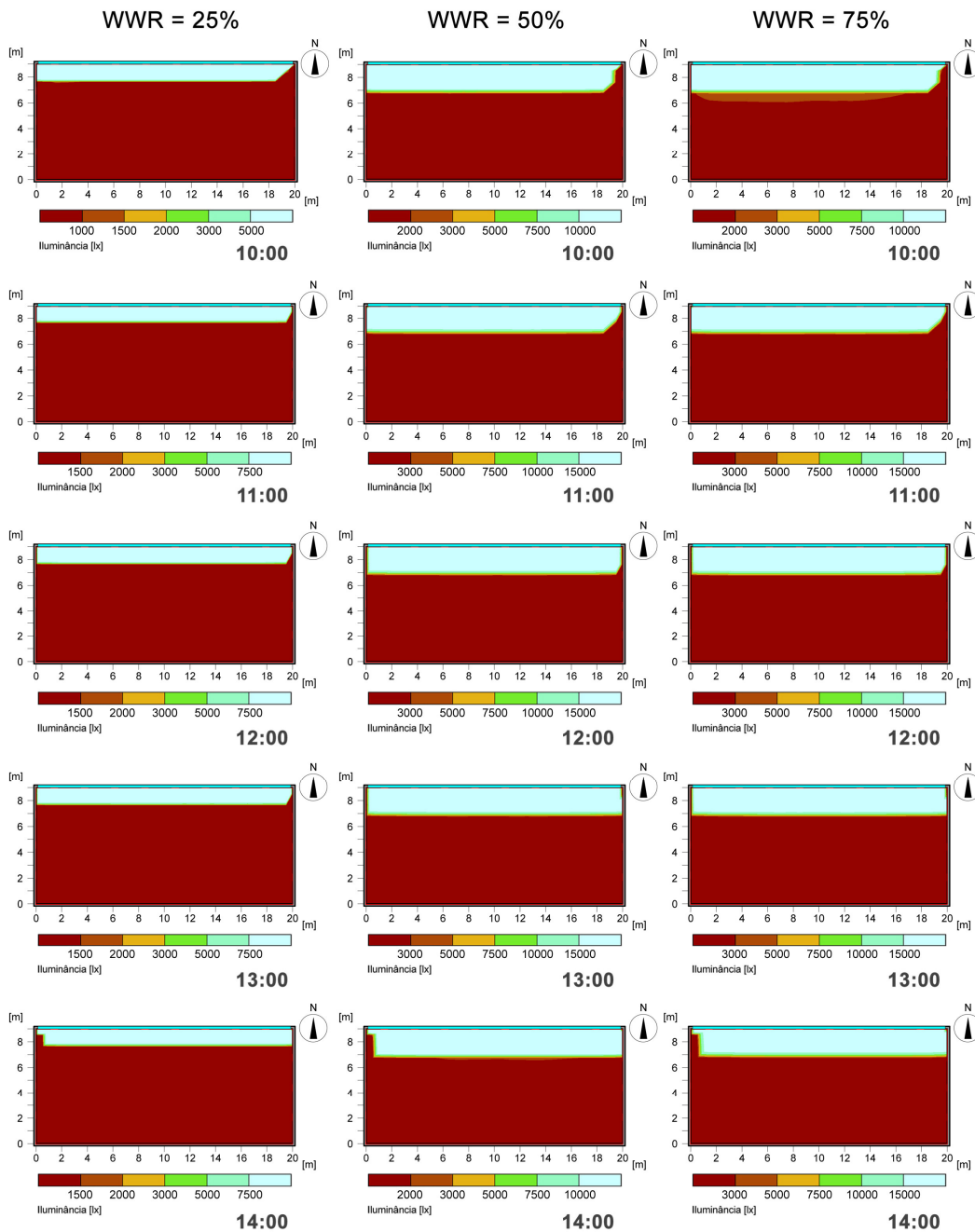
Fonte: Pesquisa.

APÊNDICE E – Simulação 1: gráfico de cores falsas obtido pelo programa Relux, indicando a distribuição de iluminâncias em simulações para abertura com WWR=25%, 50% e 75% voltada para a divisa N, conforme legislação, para ocupação de lote nas ZR-2 e ZR-U, durante o período definido pelas horas de corte (10h00 às 14h00).



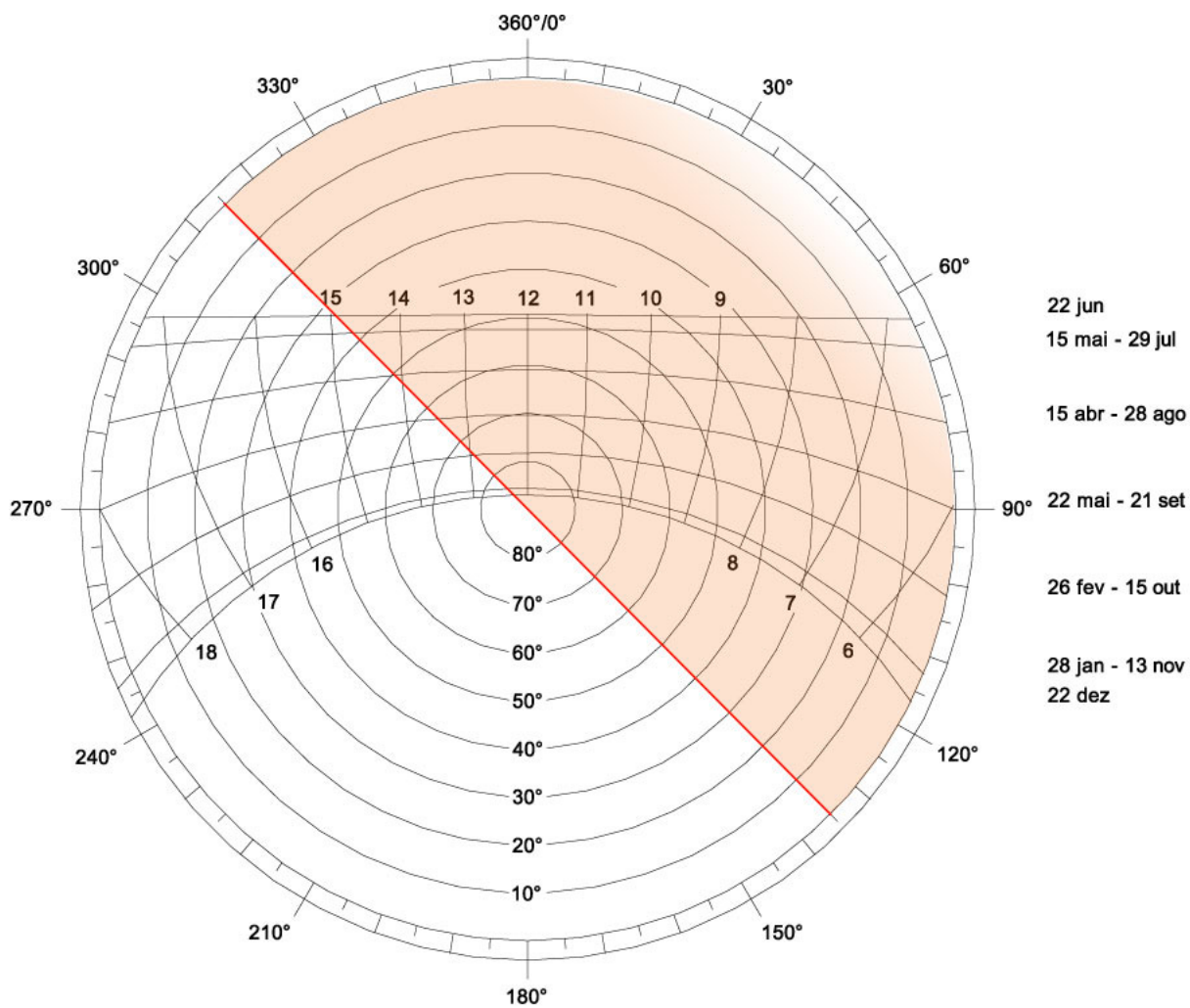
Fonte: Pesquisa.

APÊNDICE F – Simulação 1: gráfico de cores falsas obtido pelo programa Relux, indicando a distribuição de iluminâncias em simulações para abertura com WWR=25%, 50% e 75% voltada para a divisa N, utilizando o conceito de envelope solar, para ocupação de lote nas ZR-2 e ZRU, durante o período definido pelas horas de corte (10h00 às 14h00).



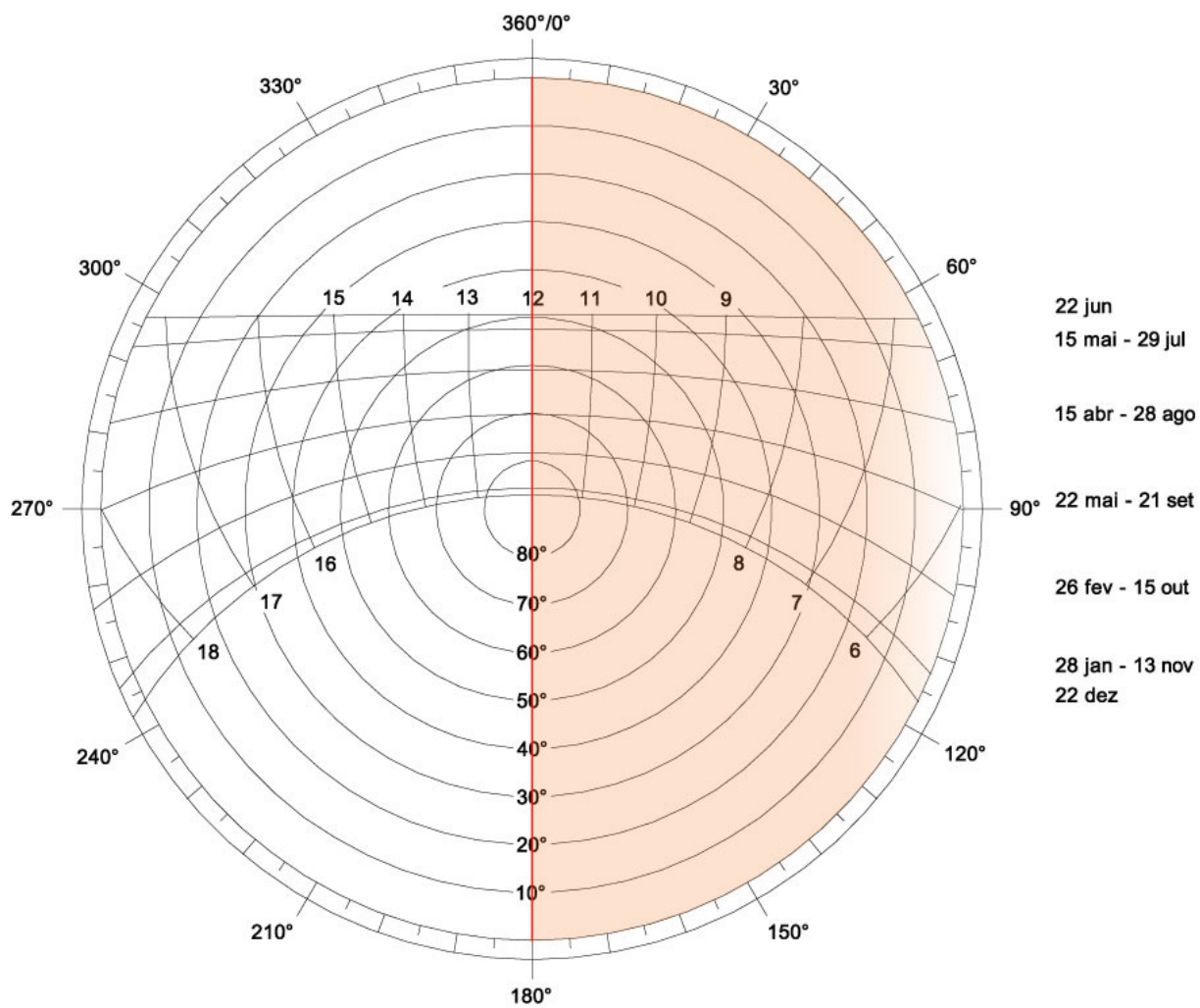
Fonte: Pesquisa.

APÊNDICE G – Carta solar com horários de insolação para a fachada NE na latitude de Curitiba (25°31'S).



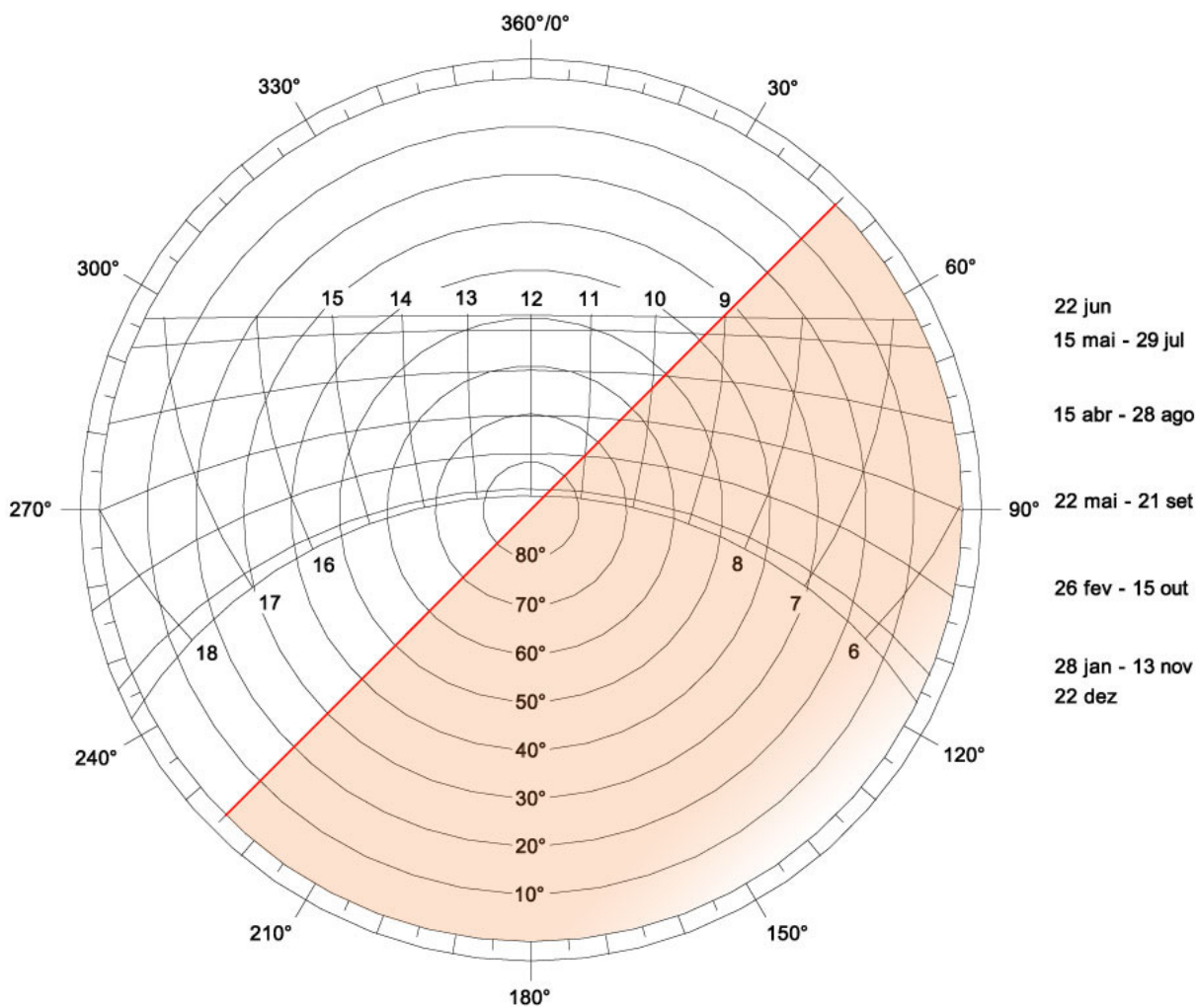
Fonte: Adaptado de Carta Solar elaborada por Francine Rossi e dados de Bittencourt (2000).

APÊNDICE H – Carta solar com horários de insolação para a fachada E na latitude de Curitiba (25°31'S).



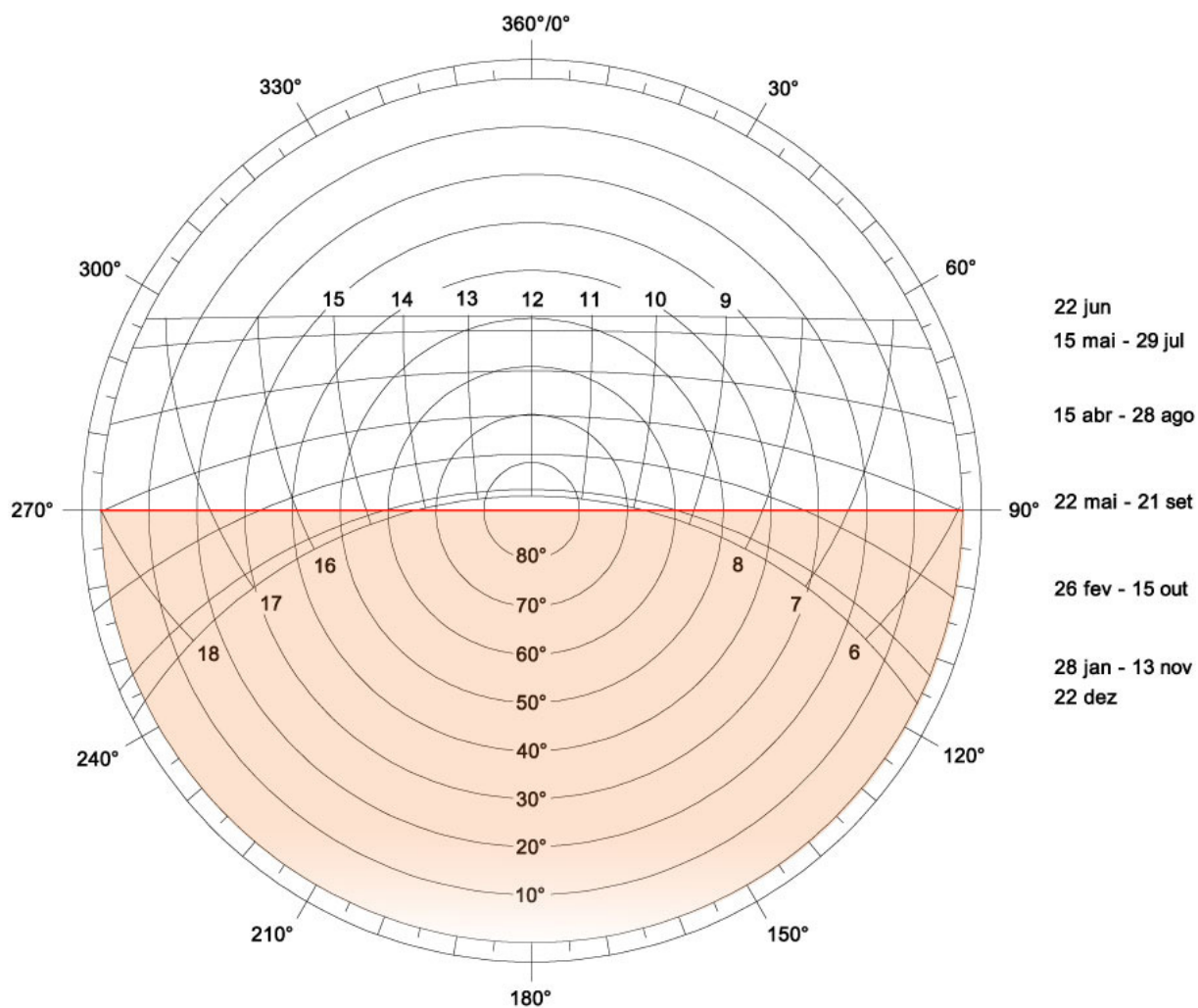
Fonte: Adaptado de Carta Solar elaborada por Francine Rossi e dados de Bittencourt (2000).

APÊNDICE I – Carta solar com horários de insolação para a fachada SE na latitude de Curitiba (25°31'S).



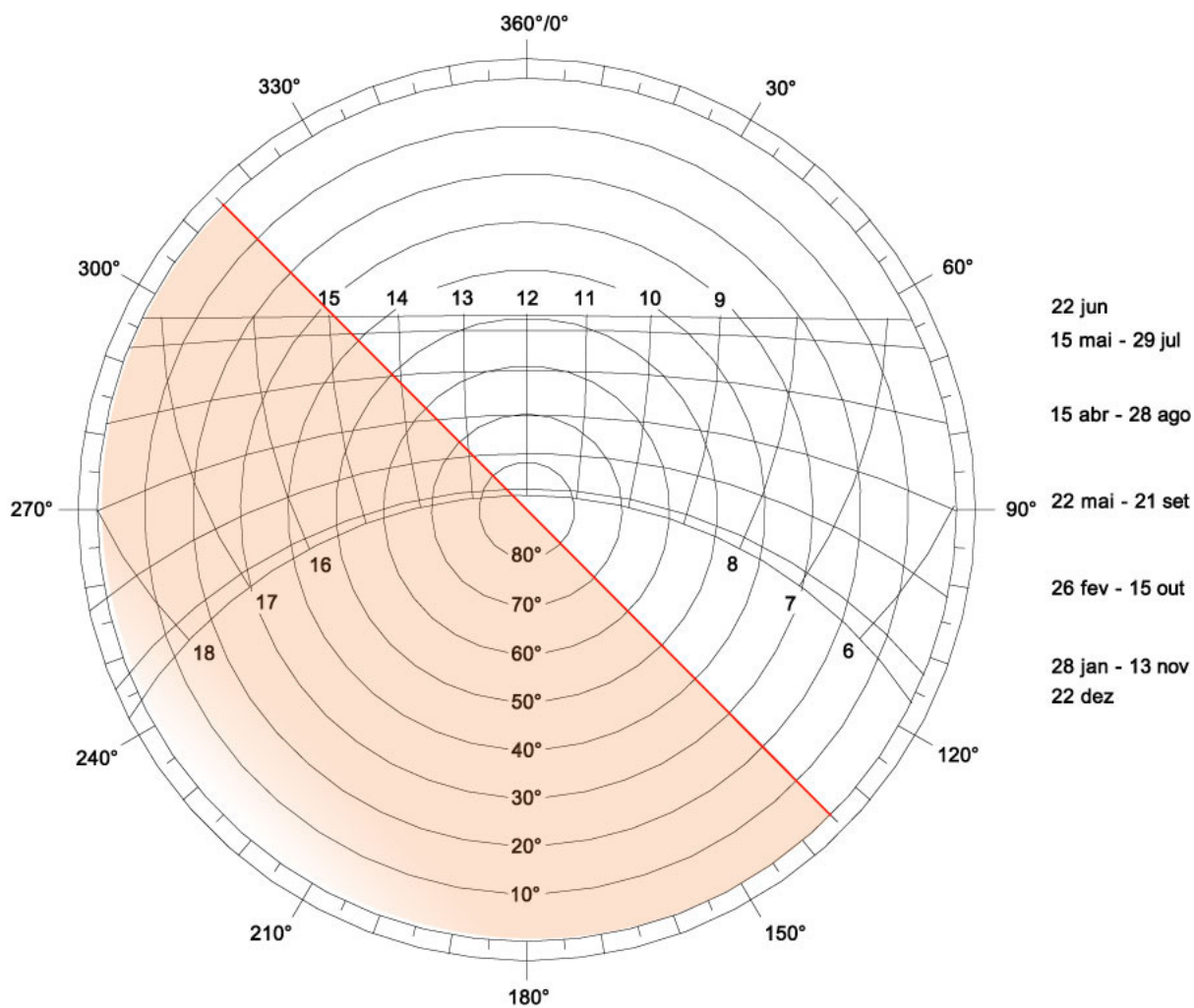
Fonte: Adaptado de Carta Solar elaborada por Francine Rossi e dados de Bittencourt (2000).

APÊNDICE J – Carta solar com horários de insolação para a fachada S na latitude de Curitiba (25°31'S).



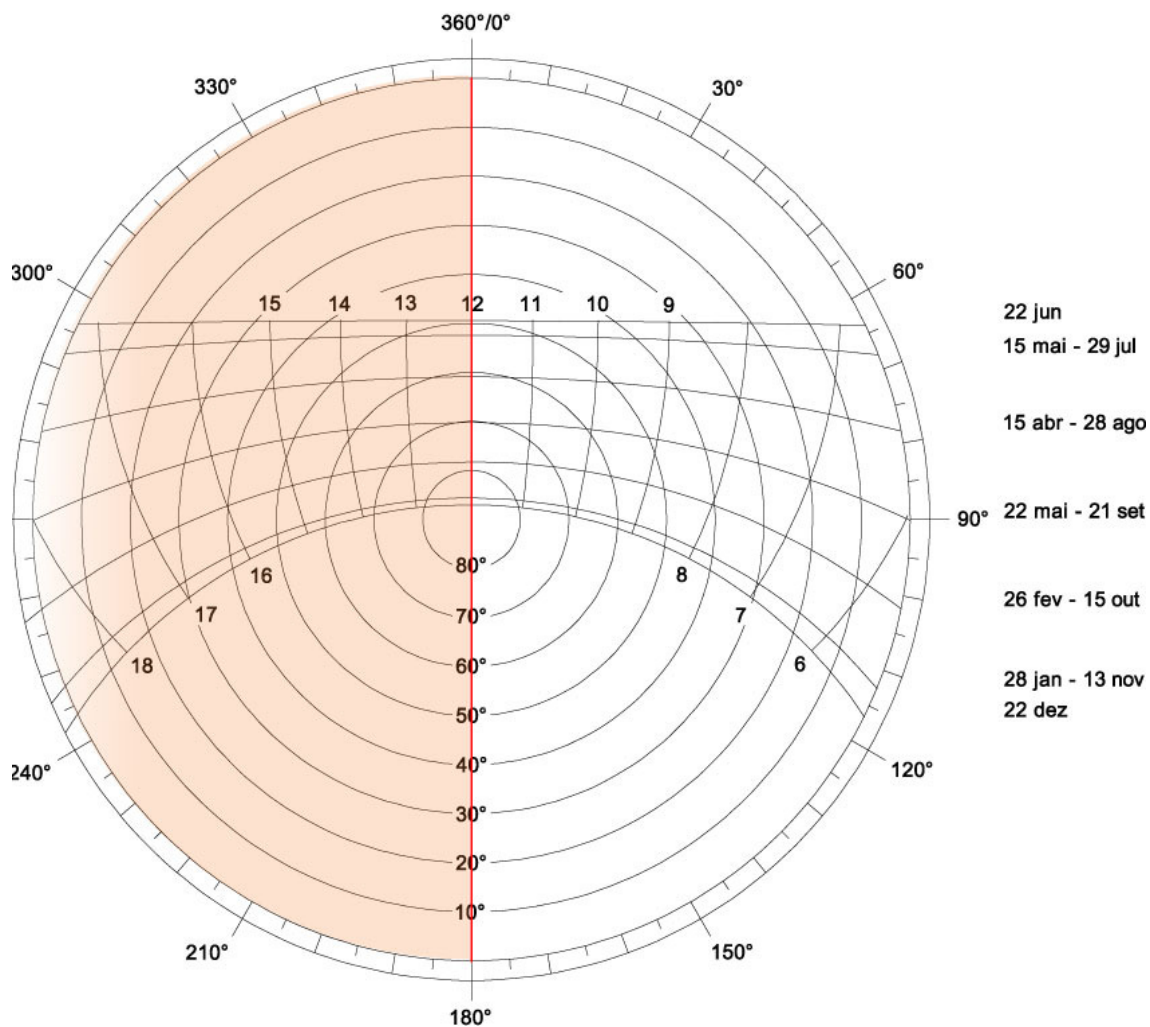
Fonte: Adaptado de Carta Solar elaborada por Francine Rossi e dados de Bittencourt (2000).

APÊNDICE K– Carta solar com horários de insolação para a fachada SO na latitude de Curitiba (25°31'S).



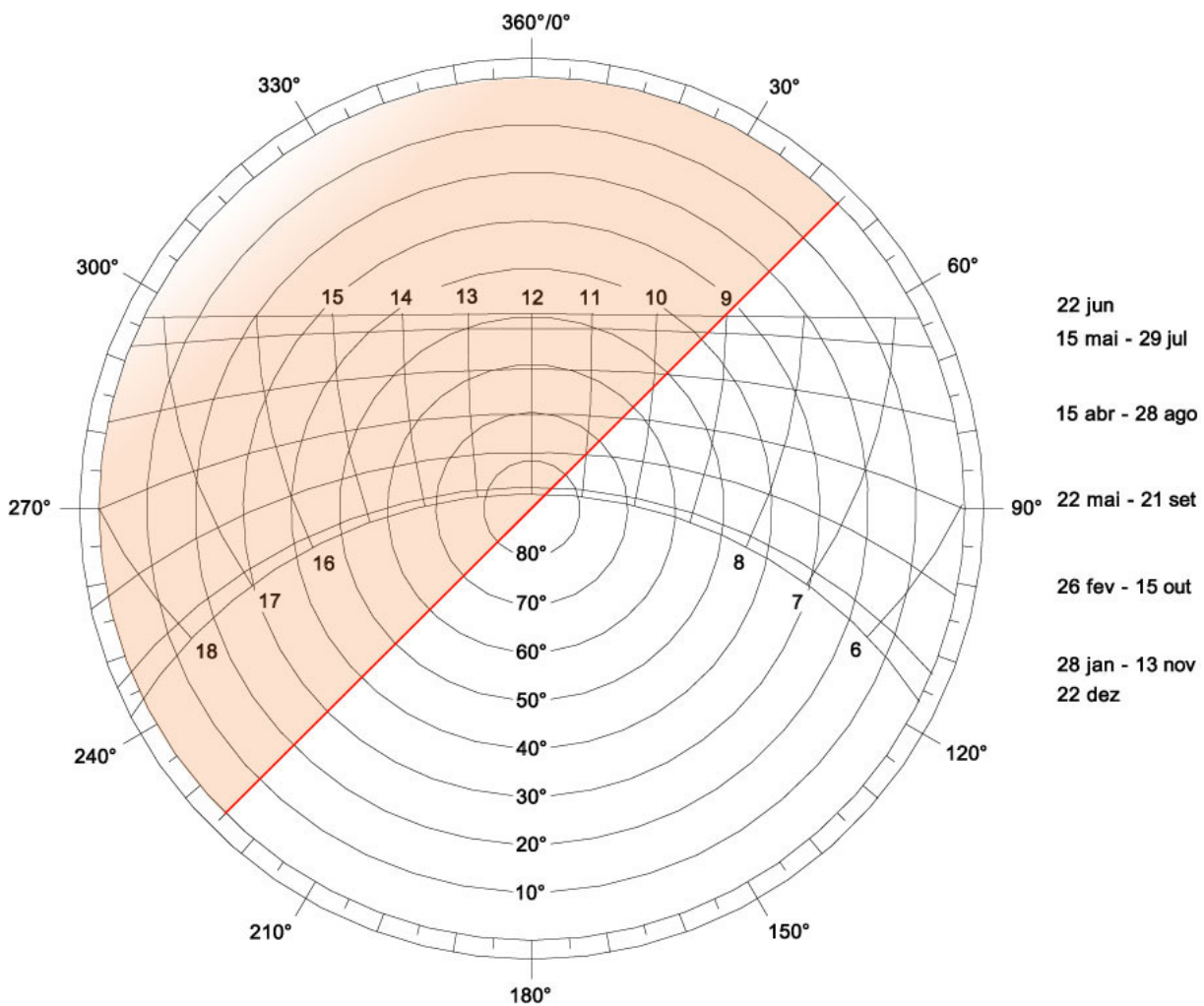
Fonte: Adaptado de Carta Solar elaborada por Francine Rossi e dados de Bittencourt (2000).

APÊNDICE L – Carta solar com horários de insolação para a fachada O na latitude de Curitiba (25°31'S).



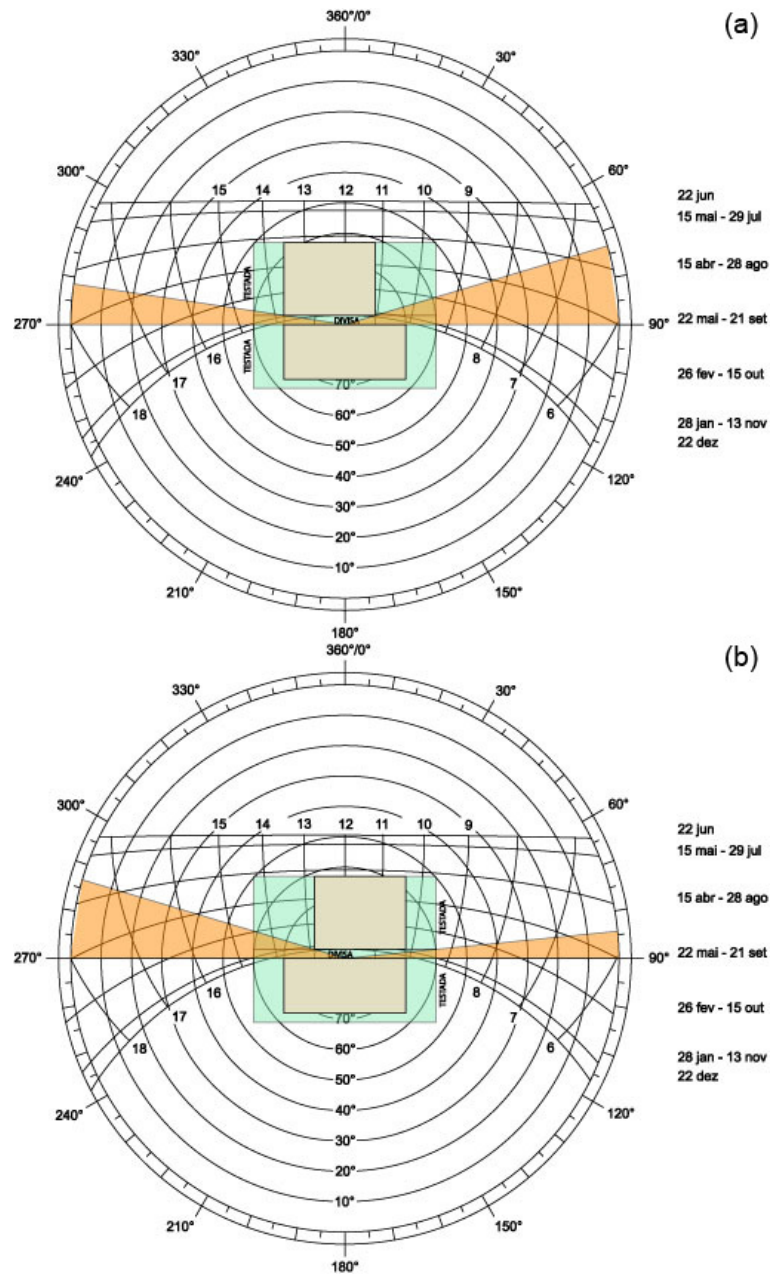
Fonte: Adaptado de Carta Solar elaborada por Francine Rossi e dados de Bittencourt (2000).

APÊNDICE M – Carta solar com horários de insolação para a fachada NO na latitude de Curitiba (25°31'S).



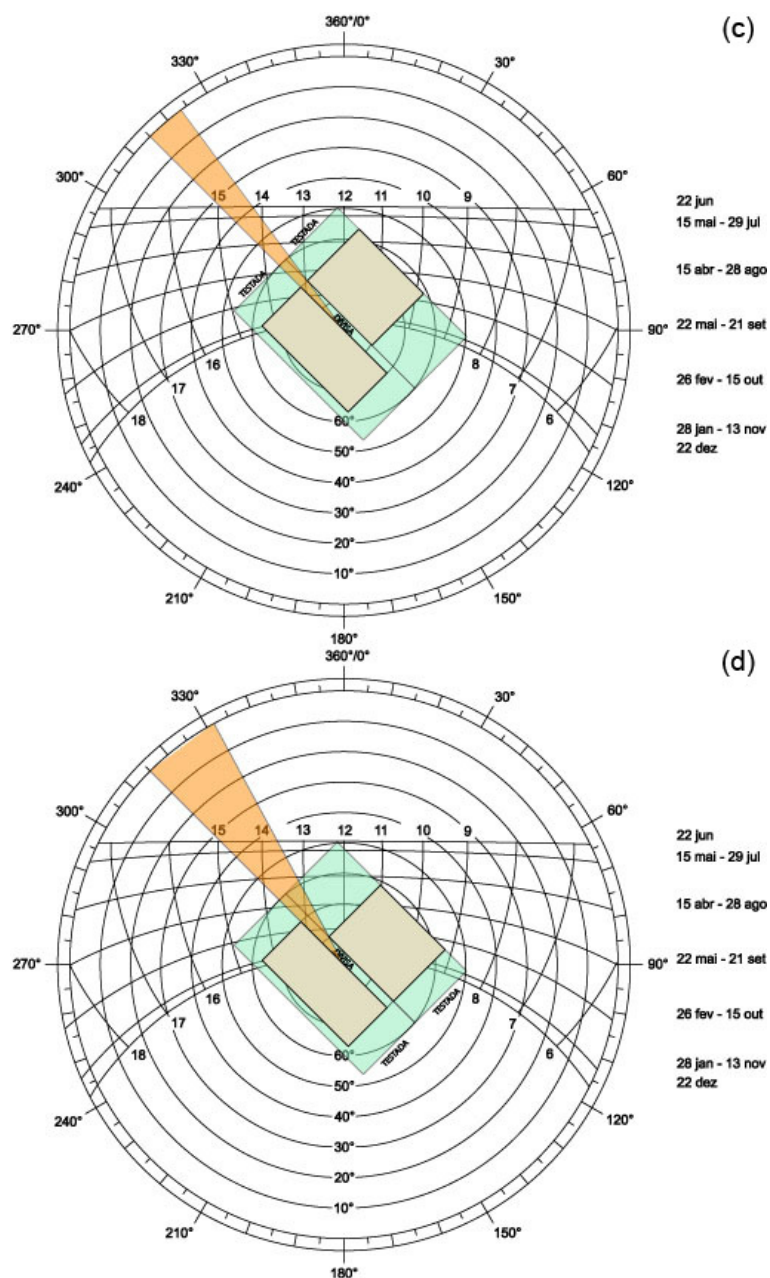
Fonte: Adaptado de Carta Solar elaborada por Francine Rossi e dados de Bittencourt (2000).

APÊNDICE N - Simulações das implantações com obstrução na abertura da divisa com variação da posição da testada com seus respectivos horários de insolação definidos pelo uso da carta solar para a cidade de Curitiba: (a) divisa N com testada voltada para O; (b) divisa N com testada voltada para E.



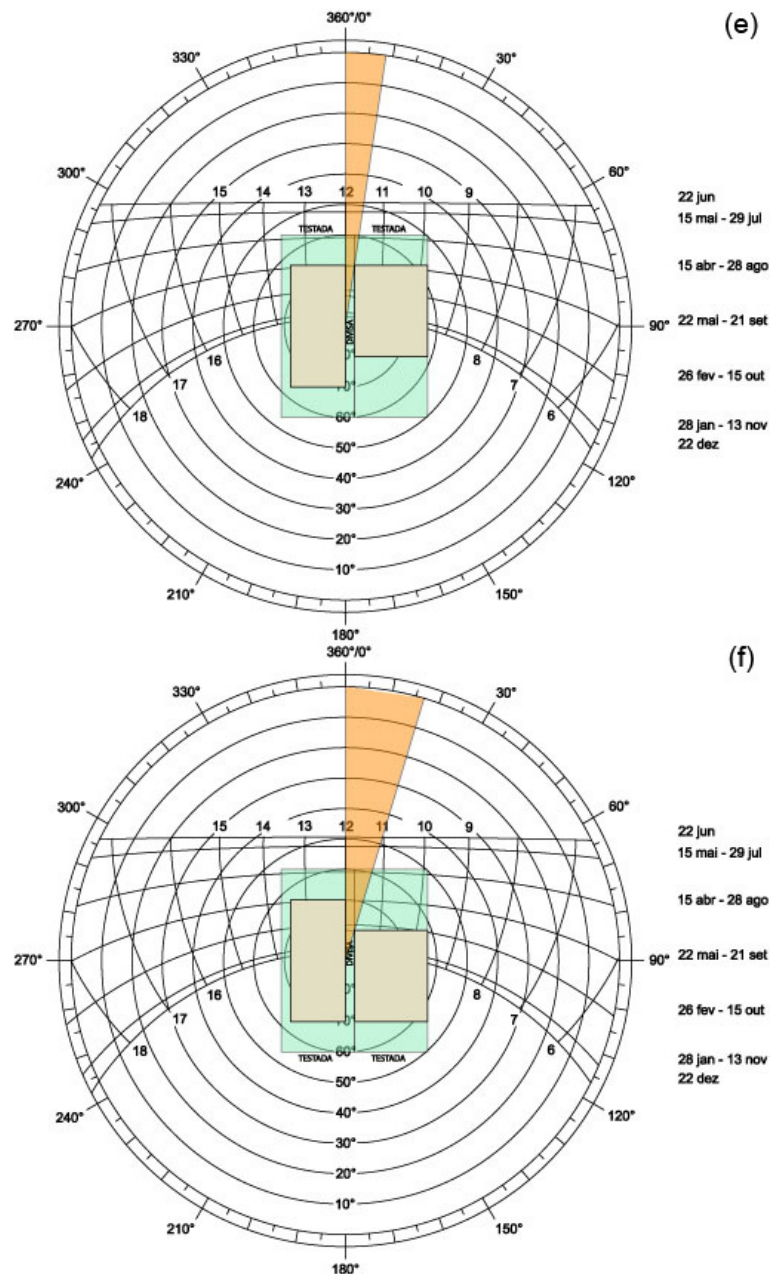
Fonte: Adaptado de Carta Solar elaborada por Francine Rossi e dados de Bittencourt (2000).

APÊNDICE O - Simulações das implantações com obstrução na abertura da divisa com variação da posição da testada com seus respectivos horários de insolação definidos pelo uso da carta solar para a cidade de Curitiba: (a) divisa NE com testada voltada para NO; (b) divisa NE com testada voltada para SE.



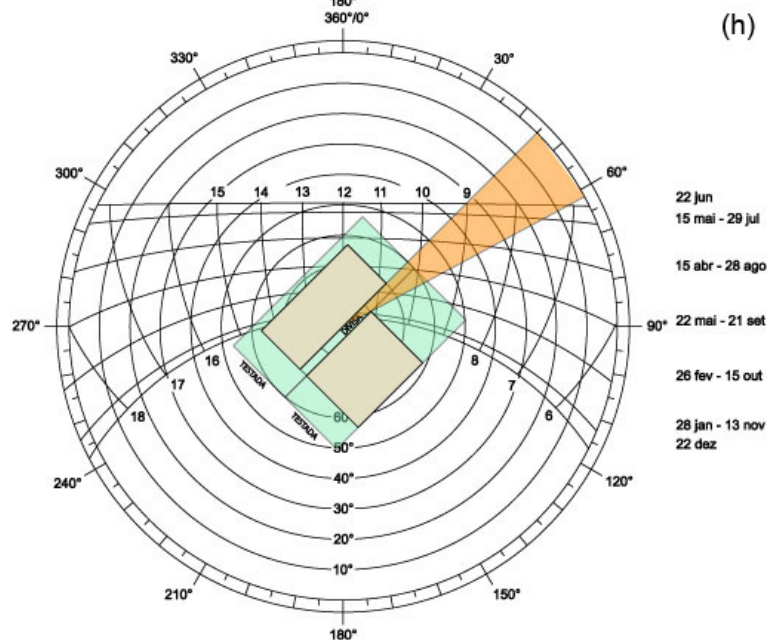
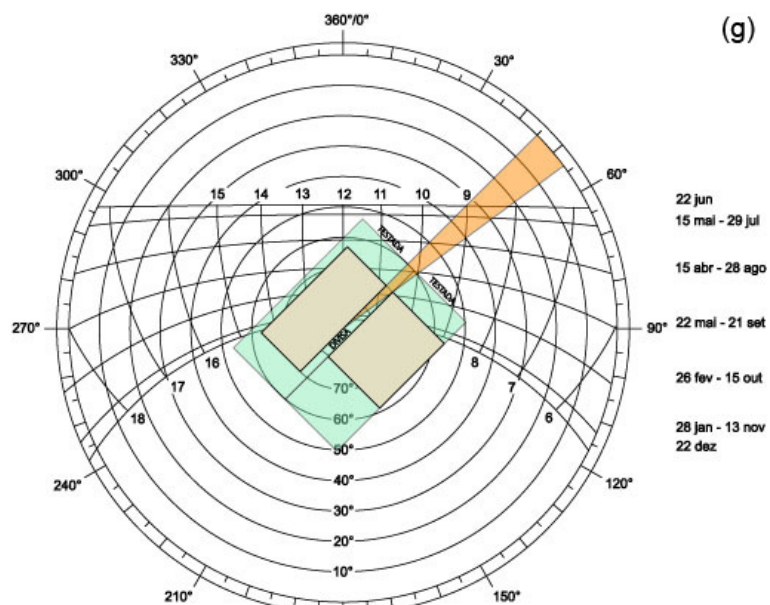
Fonte: Adaptado de Carta Solar elaborada por Francine Rossi e dados de Bittencourt (2000).

APÊNDICE P - Simulações das implantações com obstrução na abertura da divisa com variação da posição da testada com seus respectivos horários de insolação através do uso da carta solar para a cidade de Curitiba: (c) divisa E com testada voltada para N; (d) divisa E com testada voltada para S.



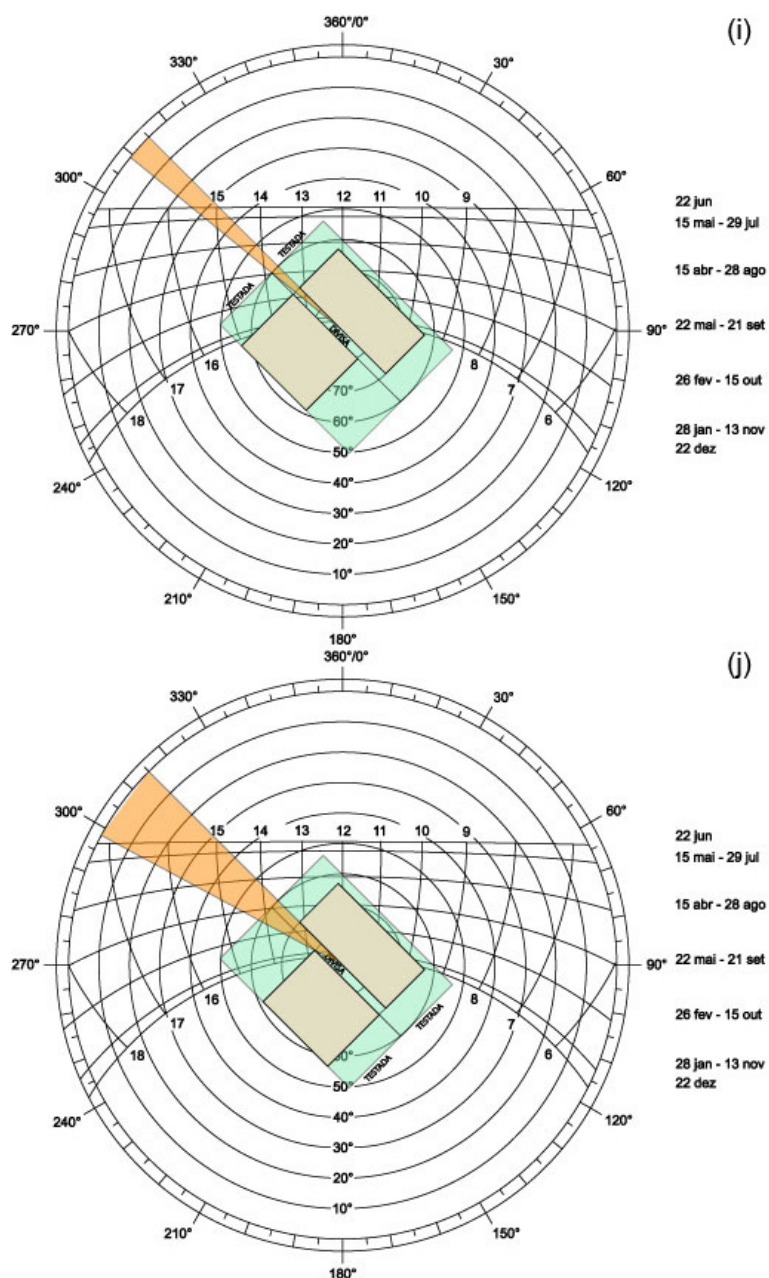
Fonte: Adaptado de Carta Solar elaborada por Francine Rossi e dados de Bittencourt (2000).

APÊNDICE Q - Simulações das implantações com obstrução na abertura da divisa com variação da posição da testada com seus respectivos horários de insolação através do uso da carta solar para a cidade de Curitiba: (e) divisa SE com testada voltada para o NE; (f) divisa SE com testada voltada para o SO.



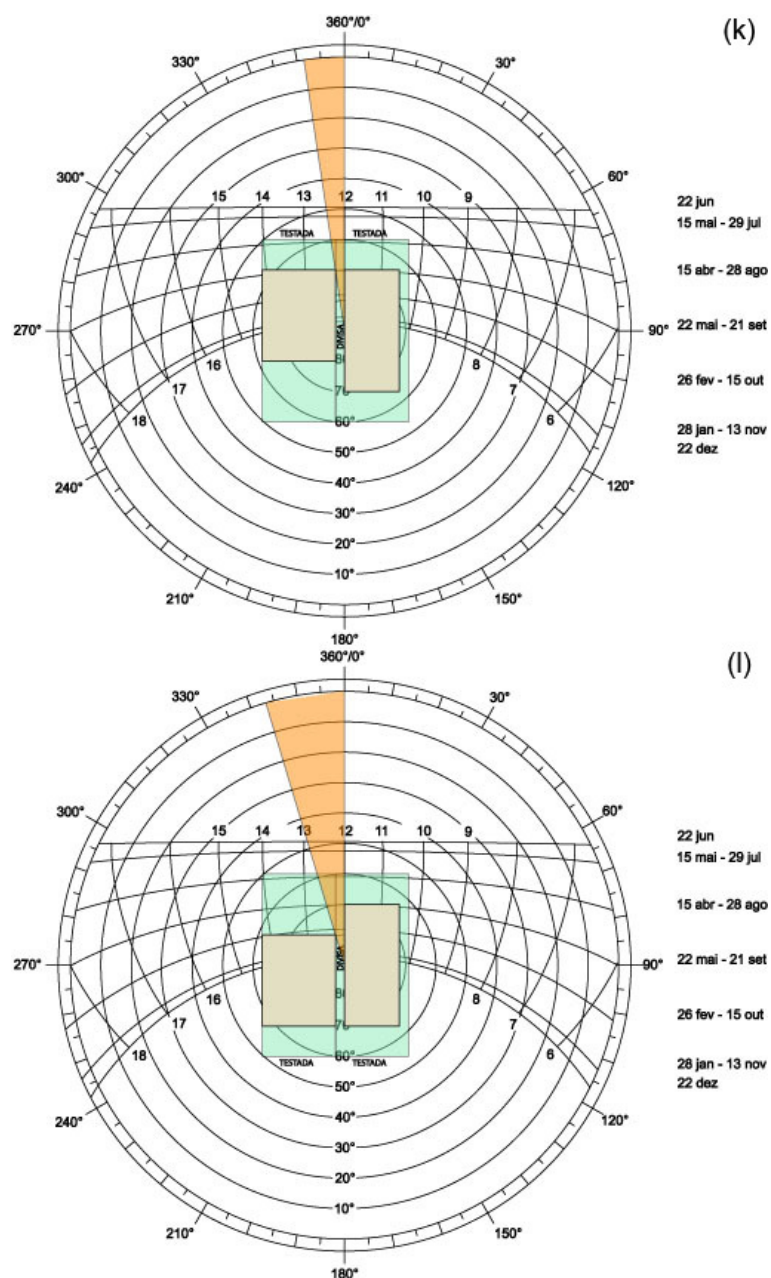
Fonte: Adaptado de Carta Solar elaborada por Francine Rossi e dados de Bittencourt (2000).

APÊNDICE R - Simulações das implantações com obstrução na abertura da divisa com variação da posição da testada com seus respectivos horários de insolação através do uso da carta solar para a cidade de Curitiba: (g) divisa SO com testada voltada para o NO; (h) divisa SO com testada voltada para o SE.



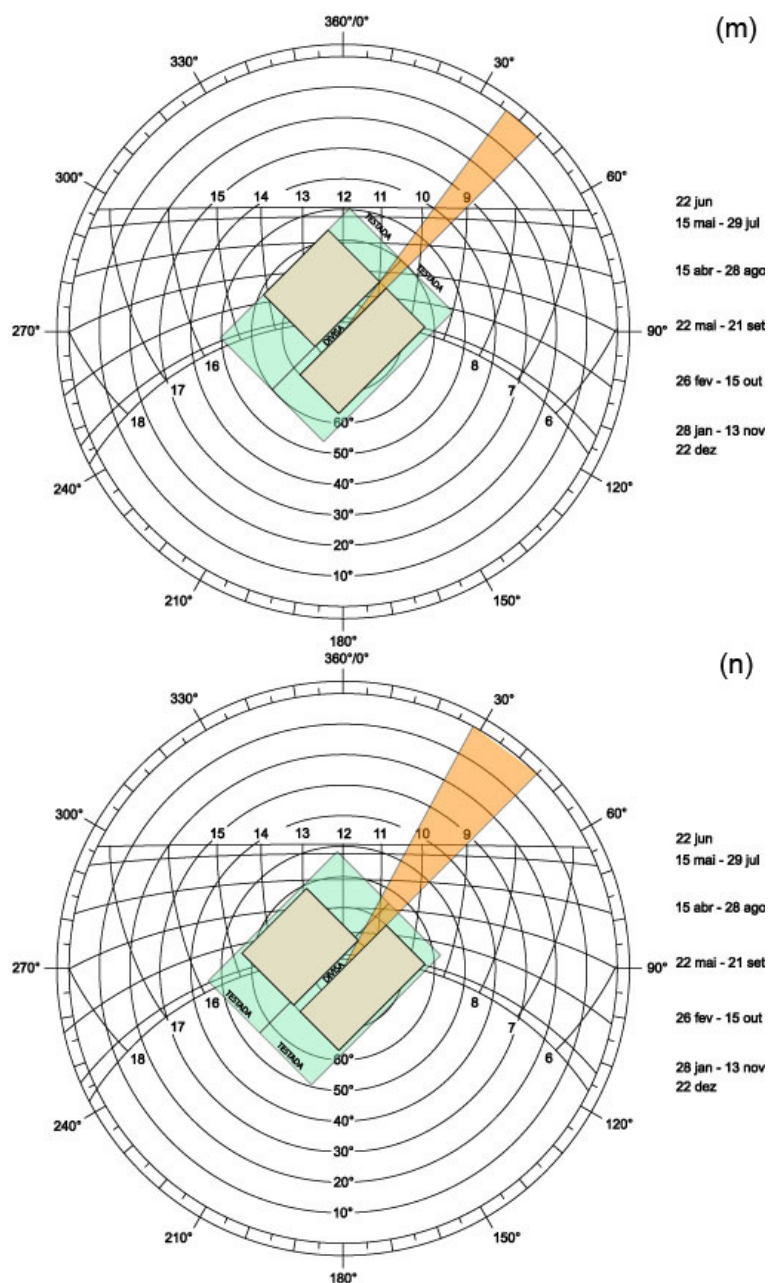
Fonte: Adaptado de Carta Solar elaborada por Francine Rossi e dados de Bittencourt (2000).

APÊNDICE S - Simulações das implantações com obstrução na abertura da divisa com variação da posição da testada com seus respectivos horários de insolação através do uso da carta solar para a cidade de Curitiba: (i) divisa O com testada voltada para o N; (j) divisa O com testada voltada para S.



Fonte: Adaptado de Carta Solar elaborada por Francine Rossi e dados de Bittencourt (2000).

APÊNDICE T - Simulações das implantações com obstrução na abertura da divisa com variação da posição da testada com seus respectivos horários de insolação através do uso da carta solar para a cidade de Curitiba: (k) divisa NO com testada voltada para o NE; (l) divisa NO com testada voltada para o SO.



Fonte: Adaptado de Carta Solar elaborada por Francine Rossi e dados de Bittencourt (2000).