



INSOLAÇÃO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: CRITÉRIOS PARA SUA REGULAÇÃO E NORMALIZAÇÃO

F.O. Ruttkay Pereira* & J.A.C. Mincache**
Depto. de Arquitetura e Urbanismo
Universidade Federal de Santa Catarina
88.049 - Florianópolis/SC - BRASIL

RESUMO. O principal objetivo deste trabalho é o de apresentar parâmetros para a melhoria da qualidade do ambiente construído baseados no uso racional da radiação solar, com a busca do aperfeiçoamento das técnicas de controle solar aplicadas ao planejamento urbano. Uma situação real de regulação da insolação, baseada em "linhas de propriedade", é analisada e, através da aplicação do conceito de desejabilidade e indesejabilidade da radiação solar, outros valores de regulação possíveis são apresentados.

ABSTRACT. The main purpose of this paper is to present data, which will help improve the quality of the built environment based on the rational use of solar radiation, with the intention of advancing insolation and sun control utilization, in order to accommodate solar heat gains or cooling benefits. A real situation of insolation regulation, based on property lines, is analysed, and other possible regulation values are suggested by applying the concept of desirability and undesirability of solar radiation.

1. INTRODUÇÃO

Insolação, até o presente momento, é considerada um dos mais importantes parâmetros de projeto do ambiente construído, e um dos que desempenha um papel muito importante nas resoluções de composição espacial internas e externas. Entretanto, não é um conceito novo, basta lembrar Gropius e seus estudos sobre distâncias e alturas adequadas para blocos retangulares de apartamentos (Cornoldi & Los, 1985), Le Corbusier e a Torre das Sombras em Chandigar, Índia (FARNARCH'83, 1983) e muitos outros exemplos históricos de uso hábil e inteligente da relação existente entre o Sol e a Terra.

A primeira vez que a história tem conhecimento quanto a regulamentos terem sido estabelecidos no sentido de garantir o acesso ao Sol foi em Roma, 600 anos A.C., através do Código da Lei de Justiniano (Butti & Perlin, 1980):

"Se qualquer objeto for colocado de modo a tirar a luz do sol do **heliocaminus**, pode ser afirmado que este objeto cria sombra onde a luz do sol é de absoluta necessidade. Assim, isto está em violação com o direito ao **heliocaminus** do sol."

Entretanto, a definição de uma normalização da insolação adequada e efetiva não é uma tarefa fácil, muitos pesquisadores já demonstraram que trata-se de um problema de critérios múltiplos envolvendo parâmetros climáticos, biológicos, socio-arquiteturais e técnico-econômicos.

Muitos autores têm recomendado simplesmente valores de números de horas de sol por dia, o que, na realidade, carece de objetividade. Talvez seja esta uma das razões para as discrepâncias nos critérios e regulamentações adotados em vários países.

Um trabalho de grande relevância, realizado pelo Scientific Research Institute for Construction Physics, Moscou, (Obolensky & Korzin, 1982) coloca que um sistema de normalização da insolação efetivo deveria estar baseado na normalização da radiação solar anual efetiva incidente sobre as edificações. Por outro lado, uma das barreiras mais significativas para introdução deste conceito na prática é o correto equacionamento das condições de nebulosidade, que ainda não é bem compreendido.

No que concerne a variante da normalização indireta, indicadores espaciais normativos, que podem ser checados através de gráficos geométrico-espaciais na investigação do contexto das sombras num determinado local, estes têm sido bastante utilizados, com bons resultados, no sentido de obter um correto balanço dos efeitos das sombras.

Os indicadores mais conhecidos são aqueles baseados:

- i) em horas de insolação nas fachadas;
- ii) em ângulos setoriais que são posicionados com seus vértices num ponto importante do projeto e que deve apresentar a vista livre de obstruções.

O uso destes indicadores espaciais é bastante simples e prático, proporcionando uma boa compreensão do contexto de sombreamento do local. Entretanto, a grande maioria destes indicadores está baseada em horas de insolação e, uma vez que uma normalização efetiva deve tratar com soluções de múltiplos critérios (como colocado acima), pode-se concluir que apenas a duração da insolação, exceto em algumas situações particulares, não se constitui num indicador normativo adequado (Obolensky & Korzin, 1982).

*Prof. Ass. DAU/UFSC, atualmente em Sheffield Univ., UK.

**Bolsista de Pesquisa da PRPE/UFSC, Curso de Arq. e Urb.

Com o intuito de explorar as possibilidades de desenvolvimento de um destes indicadores espaciais, este trabalho analisa uma situação real de regulamentação da insolação que tem sido aplicada em Florianópolis, SC, Brasil, pela Prefeitura Municipal. Com a ajuda de um instrumento bastante simples (Analisador de Mascaramento Entorno) e pela aplicação do Gráfico Bioclimático, que apresenta a temperatura limite determinante da aceitação ou não da radiação solar no ambiente construído, são apresentados outros possíveis valores normativos obtidos através da aplicação do conceito de desejabilidade e indesejabilidade da radiação solar.

Por conseguinte, não é nossa intenção aprofundar na discussão de parâmetros relativos à radiação solar, mas justamente estimular a discussão a respeito das técnicas de controle solar no planejamento urbano e como, através de seu uso, podemos alcançar melhores resultados.

2. SITUAÇÃO ATUAL

A Prefeitura Municipal de Florianópolis (PMF), SC, Brasil, tem aplicado a Lei No. 1851 que dispõe sobre o zoneamento, uso e ocupação do solo em setor urbano da área insular da cidade (Foto 1). Esta legislação (PMF, 1985) define na seção III, art. 26, pará. 2 que: "para garantir adequada insolação e ventilação dos logradouros, a altura das edificações poderá determinar a exigência de maior afastamento frontal, não podendo as edificações em nenhum caso ultrapassar a linha de projeção de um ângulo de 70 (setenta) graus medidos a partir do eixo da via até o ponto mais elevado da fachada, segundo o desenho (Fig. 1) e a fórmula abaixo:"

L = largura média da rua na testada do lote (mais recuos se houver)
D = eixo da rua, no meio da testada do lote
h = altura da edificação
A = afastamento frontal

$$A = (2h - 2,75L) / 5,5 = 4,00 \text{ m}$$

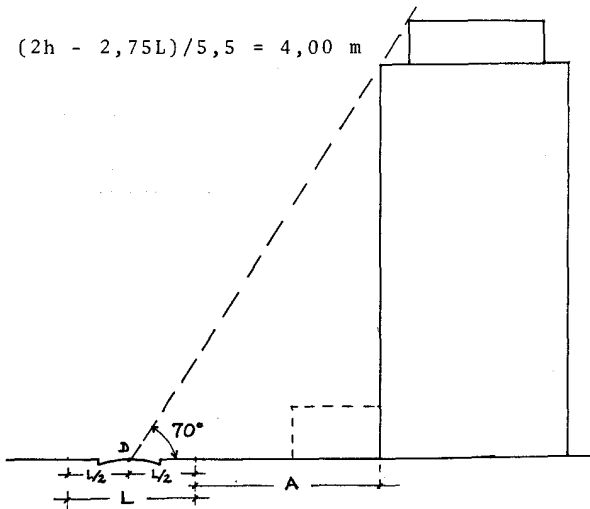


Fig. 1: Desenho esquemático da "lei da insolação".

As principais restrições que podem ser feitas a esta regulamentação são:
i) o valor do ângulo (70 graus) foi obtido através da análise apenas da orientação Norte;
ii) leva em conta apenas o critério de duração da insolação (no caso, mínimo de 2 horas/dia) ao longo do ano. (Souza, 1982)

Estas questões se tornam mais agudas e significativas diante do fato de que a presente regulamentação foi concebida sem nenhuma consideração a respeito das reais condições climáticas e exigências de conforto térmico em Florianópolis.

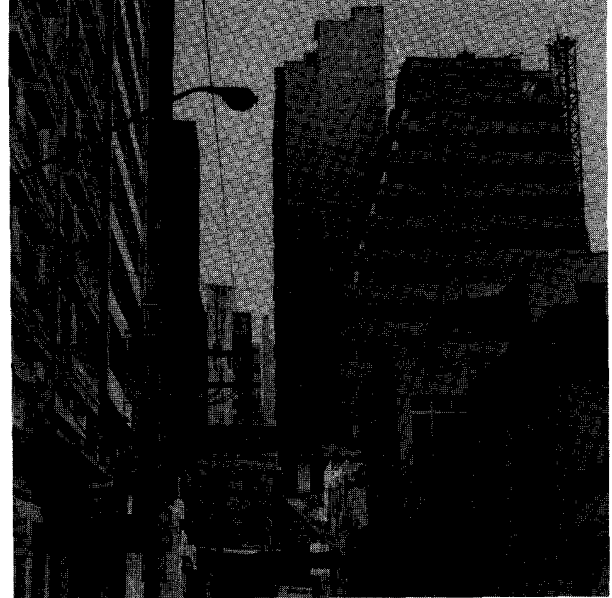


Foto 1: Contraste entre edificações construídas em períodos distintos (antes e após a aplicação da lei).

3. ENFOQUE PROPOSTO

A região Sul do Brasil, onde Florianópolis está localizada (lat. 27,5° S), caracteriza-se por um clima que pode ser definido como Sub-Tropical Composto, apresentando três estações bem definidas: verão quente, primavera-outono e inverno ameno. Através de qualquer método de análise bio-climática é possível apontar um período de superaquecimento (5,5 meses), o período de conforto (4 meses) e o período no qual é necessário aquecimento (2,5 meses) (Pereira, A breu & Schmidt, 1982).

Como podemos notar, o período de superaquecimento (com temperaturas acima de 27° C) é o mais longo dos três, merecendo bastante atenção e requerendo a exclusão total da radiação solar no ambiente construído. Na Figura 2, a faixa situada entre as temperaturas 27° C e 22° C é chamada de Zona de Conforto, na qual também é requerida a exclusão da radiação solar. Finalmente, vem o período com temperaturas abaixo de 22° C, no qual a insolação desempenha um importante papel no atendimento das exigências térmicas.

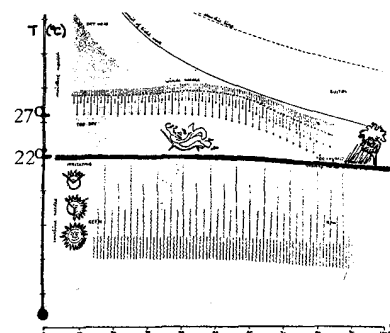


Fig. 2: Gráfico Bioclimático (Olgyay, 1973)

Em seguimento, sobrepondo-se os dados climáticos locais (temperatura e umidade relativa do ar) no Gráfico Bioclimático, obtém-se as necessidades térmicas frente ao meio ambiente e, consequentemente, o período do ano no qual a insolação é desejável ou não. Assim, este intervalo (com temperaturas acima de 22° C) no qual o sombreamento é necessário pode ser transferido para o diagrama de trajetórias aparentes do Sol. A conjugação dos gráficos resultante serve de base para a avaliação do contexto edificado com respeito às exigências de sombreamento (Fig. 3).

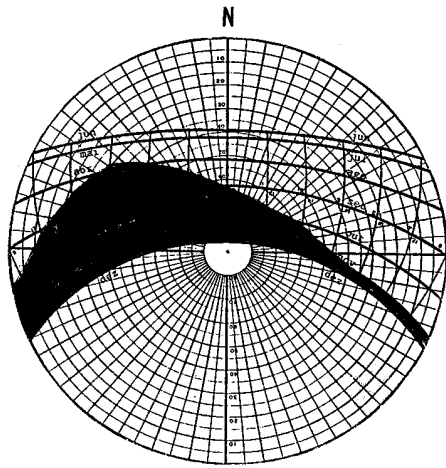


Fig. 3: Período de necessidade de sombreamento para Florianópolis (latitude 27,5° S) (Pereira, Abreu & Schmidt, 1982)

A presente proposta busca integrar o diagrama da Fig. 3 com o Transferidor de Ângulos de Sombra introduzindo o conceito dos Índices de Desejabilidade e Indesejabilidade (ID e II), onde:

$$ID = \frac{\text{horas de insolação desejável}}{\text{total de horas-sol possível}} \quad (\text{ang. de sombra vertical} = 0)$$

$$II = \frac{\text{horas de insolação indesejável}}{\text{total de horas-sol possível}} \quad (\text{ang. de sombra vertical} = 0)$$

Estes valores de horas foram obtidos pela superposição do Transferidor de Ângulos de Sombra sobre o diagrama da Fig. 3, de acordo com:

- i) os ângulos de obstrução (de sombra) verticais tomados a partir do eixo da rua e com variação de 0° (linha do horizonte) até 90°, assumindo as edificações sem recuos laterais por consideração do efeito de obstrução, como o das folhas numa árvore, do entorno urbano construído;
- ii) a orientação do eixo da rua (N-S e L-0);
- iii) o período do dia/ano:

VM - verão de manhã (out-mar, nascer do sol até 12:00) apresentando ambos os períodos de insolação, desejável e indesejável.

VT - verão de tarde (out-mar, 12:00 até o pôr do sol) exigência de sombreamento quase todo o período.

IM - inverno de manhã (abr-set, nascer do sol até 12:00) exigência de insolação por necessidade de aquecimento quase todo o período.

IT - inverno de tarde (abr-set, 12:00 até o pôr do sol) com características semelhantes às do período MV.

Os valores das horas obtidos através do procedimento descrito acima foram plotados em gráficos mostrando seus comportamentos diante das outras variáveis (Fig. 4 a 11)

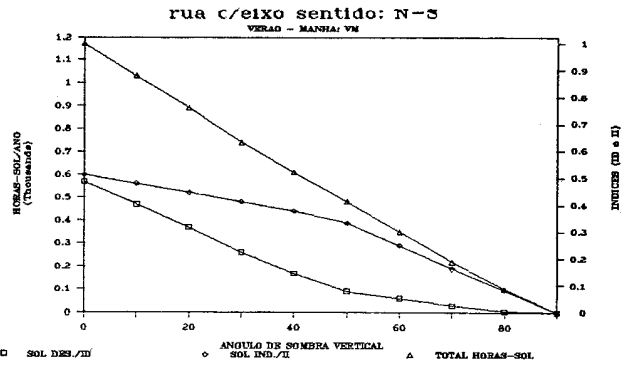


Fig. 4: Horas-sol X Angulo de sombra vert., rua c/eixo N-S e período Verão-Manhã.

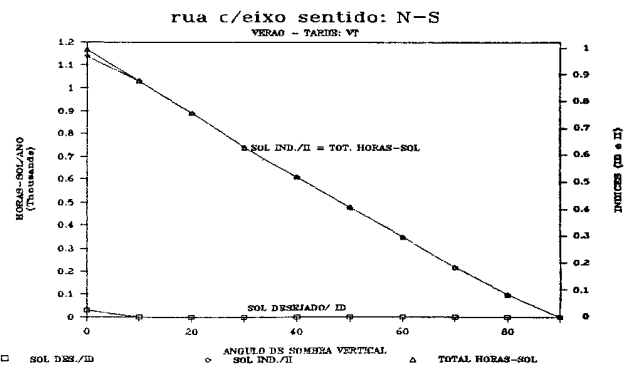


Fig. 5: Horas-sol X Angulo de sombra vert., rua c/eixo N-S e período Verão-Tarde.

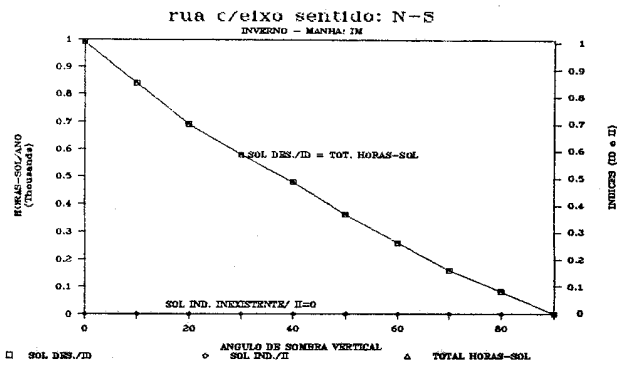


Fig. 6: Horas-sol X Angulo de sombra vert., rua c/eixo N-S e período Inverno-Manhã.

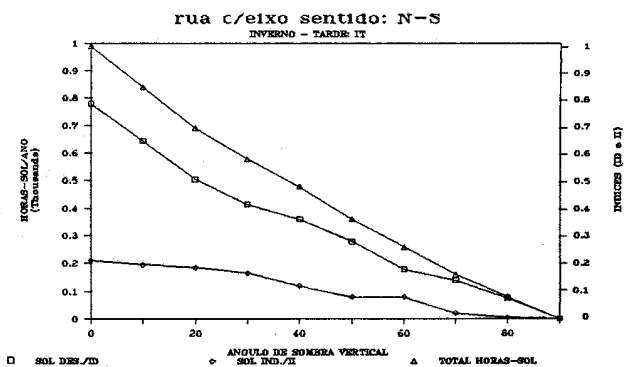


Fig. 7: Horas-sol X Angulo de sombra vert., rua c/eixo N-S e período Inverno-Tarde.

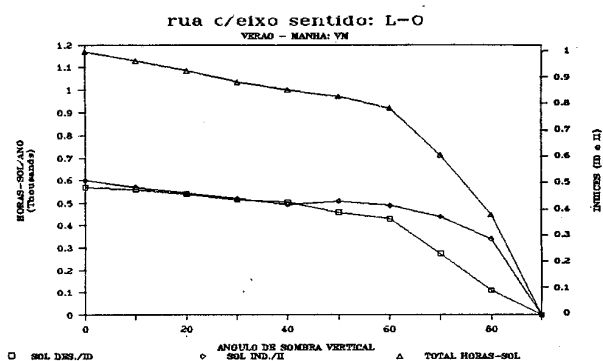


Fig. 8: Horas-sol X Angulo de sombra vert., rua c/eixo L-0 e período Verão-Manhã.

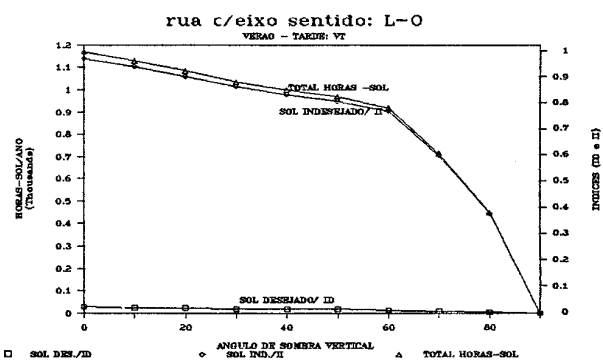


Fig. 9: Horas-sol X Angulo de sombra vert., rua c/eixo L-0 e período Verão-Tarde.

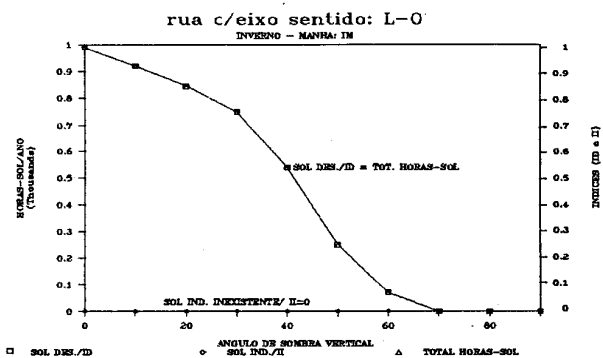


Fig. 10: Horas-sol X Angulo de sombra vert., rua c/eixo L-0 e período Inverno-Manhã.

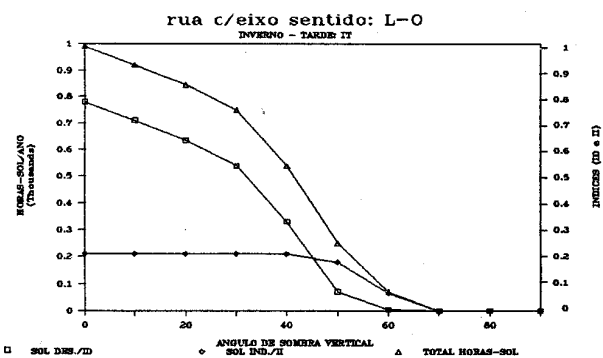


Fig. 11: Horas-sol X Angulo de sombra vert., rua c/eixo L-0 e período Inverno-Tarde.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Inicialmente, através da análise dos gráficos acima, confirmam-se as diferentes exigências de insolação ao longo dos diversos períodos do ano. A seguir, sem contudo nos afastarmos de uma média diária anual de insolação entre 1,5 e 3 horas (aproximadamente o que tem sido apontado por vários autores como valores normativos adequados) e buscando manter os índices ID e II, respectivamente, os mais altos e os mais baixos possíveis, fazemos as seguintes considerações:

i) com a rua orientada no sentido Norte-Sul a contecem duas situações distintas, o lado da rua voltado para o Oeste e o outro lado voltado para o Leste. No primeiro caso, a linha limitante pode ter seu ângulo reduzido de 70° para 65° - 67° no sentido de melhorar a recepção de radiação solar desejável no período de IM ($ID=0,2$), sem, contudo, introduzir perdas significativas no período de VM. O sol neste período (verão) alcança grandes altitudes e, como reportado por Lee (1985), as sombras produzidas neste período são curtas e se movem rapidamente garantindo pouco ganho de sombreamento, particularmente perto do meio-dia, época na qual modo mais efetivo para se criar sombras nas fachadas é através de beirais adequadamente projetados. Nos períodos de VT e IT, a limitação dos índices em $II \leq 0,2$ e $ID \geq 0,15$ (insolação desejável mínima) levou a uma margem de variação de ângulos entre 70° e 72° para o lado da rua voltado para o Leste (Fig. 12):

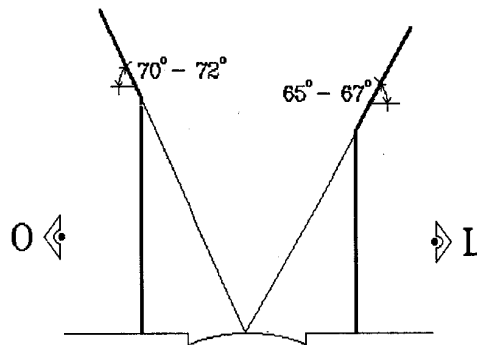


Fig. 12: Proposição de ângulos para ruas orientadas c/eixo N-S.

ii) no caso da rua orientada no sentido Leste-Oeste as discrepâncias de comportamento da atual lei são ainda maiores. Agora, um lado da rua está voltado para o Norte e o outro para o Sul, apresentando condições de insolação bastante distintas. Para os períodos de VM e VT o ângulo de 70° proporciona excessiva insolação, especialmente no VT quando quase toda a radiação solar apresenta-se indesejável por aspectos térmicos ($II=0,6$). Níveis de insolação mais aceitáveis podem ser alcançados com ângulos em torno de 82° a 85° ($II=0,2$ - $0,3$ no período). Considerando, ainda, que nos períodos de IM e IT a atual lei não garante nenhuma incidência de radiação solar no lado da rua voltado para o Norte, a recomendação, ao contrário da situação anterior, é de reduzir o ângulo das linhas limitantes das construções para 53° - 55° , com um $ID=0,15$ no IM (Fig. 13):

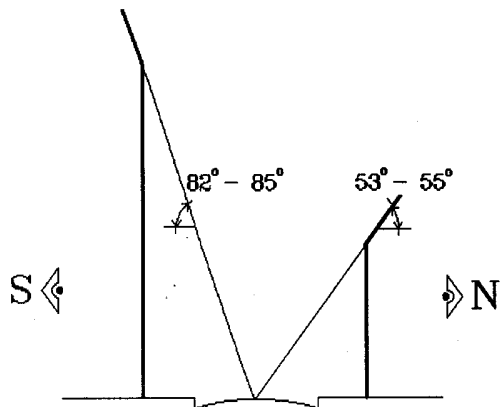


Fig. 13: Proposição de ângulos para ruas orientadas c/eixo L-0.

Como podemos notar nas considerações feitas acima, o conceito de desejabilidade e indesejabilidade da radiação solar produziu diferentes ângulos para as linhas de projeção limitantes ("linhas de propriedade") que podem ser aplicados, do mesmo modo que a lei anterior, para equilibrar o impacto da insolação na área urbana. A principal diferença em relação a "lei dos 70°" é que nos períodos em que a insolação desejável é disponível, o índice $ID \geq 0,15$ garante parte desta insolação. Por outro lado, levando em conta o índice $II \leq 0,2$ consegue-se evitar uma boa parte da insolação indesejável excessiva, que é um dos piores problemas nos períodos de superaquecimento e um dos erros mais comuns quando da aplicação somente da regulação da duração da insolação em regiões que apresentam exigências térmicas opostas ao longo do ano.

Transferindo os ângulos das Fig. 12 e 13 para as bordas e cantos de um lote urbano, o resultado é um conjunto de limites geométricos derivados do balanço desejado entre os índices ID e II . A forma tridimensional resultante, na qual as superfícies representam os limites do lote, é definida por Knowles (1980, 1981) como - **envelope solar** - o maior volume que uma edificação pode ocupar permitindo o acesso ao sol da vizinhança imediata (Fig. 14).

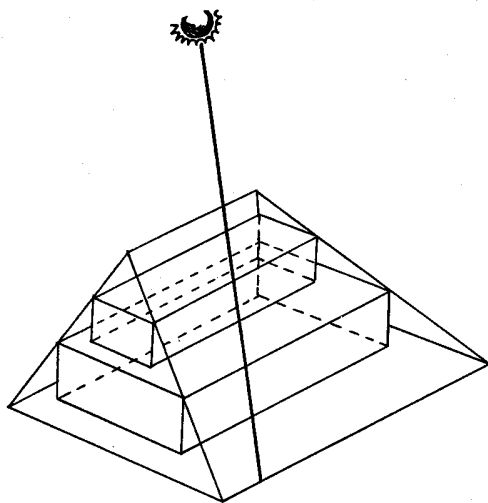


Fig. 14: Envelope solar.

Uma das principais restrições à aplicação deste conceito de linhas de propriedade é a baixa densidade de construção resultante. No presen-

te estudo, entretanto, esta consequência não se mostra significativa, uma vez que as regras utilizadas para gerar os novos ângulos são diferentes e não tão restritivas quanto as regras desenvolvidas por Knowles (1980, 1981). A través de uma simples verificação, levando em conta uma quadra regular no centro de Florianópolis, o envelope solar obtido com os ângulos das Fig. 12 e 13 é apenas 2% a 3% menor que o envelope solar definido pela "lei dos 70°" e, em adição, ainda proporciona condições de insolação mais equilibradas quanto às exigências térmicas.

Possivelmente, a proposta do envelope solar pode induzir projetistas a, buscando tirar o máximo de vantagem do espaço disponível, incorporar fachadas inclinadas nos seus projetos que, por sua vez, podem produzir indesejáveis reflexões da luz solar de altas altitudes diretamente no ângulo de visão de motoristas e pessoas nos arredores das edificações. A respeito deste problema, Littlefair (1987) apresenta um método para análise da possível ocorrência de reflexões da luz solar em fachadas.

5. CONCLUSÕES

Insolação no ambiente construído depende fundamentalmente de decisões relativas aos "parâmetros de projeto", que são tomadas, normalmente, por urbanistas e arquitetos. Portanto, estes profissionais devem ser capazes de lidar com os diversos parâmetros físicos envolvidos nestas decisões.

A intenção dos autores é de introduzir a discussão de um destes importantes parâmetros - **desejabilidade e indesejabilidade térmica da radiação solar** - no sentido de ajudar urbanistas e arquitetos a evitarem configurações urbanas e arquitetônicas pobres no que diz respeito a acessibilidade ao sol, situações estas que não podem ser facilmente corrigidas posteriormente.

No presente trabalho, conduziu-se uma análise simplificada sobre como a configuração espacial do ambiente construído pode contribuir para a obtenção de boas condições de insolação na área urbana. O enfoque utilizado foi o de investigar a possibilidade de introdução de restrições como as **linhas de propriedade** que, por extensão, conformam o envelope solar como foi definido no item anterior.

O principal parâmetro escolhido para controle do estudo, como meta a ser alcançada, em vez dos programas de operação e funcionamento das edificações associados à disponibilidade solar aplicados por Knowles (1980, 1981) e Robbins (1986), foi o balanceamento das exigências de acessibilidade (aquecimento) e interceptação (sombreamento) da radiação solar ao longo do ano, traduzido no conceito de desejabilidade e indesejabilidade da radiação solar.

Os resultados confirmam que a duração da insolação isoladamente (que levou a definição da "lei dos 70°", Souza, 1982) não consegue definir as reais condições de insolação no ambiente construído e, desta forma, também não se constitui num efetivo indicador normativo. Uma consciente utilização de regulamentos através de linhas de propriedade pode proporcionar um método bastante razoável para definição de recuos, afastamentos e limitação de altura das edificações, sem, contudo, afastar-se das reais necessidades de conforto ambiental.

APÊNDICE

Pesquisas futuras são necessárias para verificar e estender a análise para outras orientações e para estudar a situação frente a outros parâmetros específicos locais, como: tamanho, forma, orientação e uso do lote urbano, topografia e contexto urbano imediato, etc. O caso de afastamentos laterais entre edificações e interações com outros parâmetros ambientais de projeto não menos importantes, tais como iluminação natural, fluxo de ar ao redor das edificações, acústica urbana, também devem ser examinados. Deve-se trabalhar no sentido de garantir a incidência de radiação solar efetiva nas usualmente complexas configurações dos centros urbanos.

Finalmente, o Analisador de Mascaramento do Entorno mostrou-se um instrumento bastante útil para o desenvolvimento de uma completa investigação das condições de insolação no ambiente construído (ver Apêndice).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUTTI, K. & PERLIN, J. (1980): *A Golden Thread*. Marion Boyars Publishers Ltd., London.
- CORNOLDI, A. & LOS, S. (1985): *Habitat y Energia* Gustavo Gilli Ed., Madrid.
- ENARCH'83 (1983): *Architettura Bioclimatica*. De Luca Editore, Italia.
- KNOWLES, R.L. & BERRY, R.D. (1980): *Solar Envelope concepts: moderate density building applications*. Solar Energy Research Institute, SERI/SP-98155-1. Golden, Colorado.
- KNOWLES, R.L. (1981): *Sun Rhythm Form*. Cambridge, Massachusetts, MIT Press, London.
- LEE, K. (1985): *Angular Velocity of Shadows-Site Impact. Proceedings of International Symposium on Thermal Application of Solar Energy*, Hakone, Japan.
- LITTLEFAIR, P.J. (1987): *Prediction of Reflected Solar Dazzle from Sloping Facades*. *Building & Environment*, 22(4), UK.
- BOLENSKY, N.V. & KORZIN, O.A. (1982): *Insolation and Sun Control in the Field of Construction: The Progressive Ways of Their Normalization and Regulation.. CIB Symposium Building Climatology*, Moscow.
- OLGAY, V. (1973): *Design with Climate*. Princeton University Press, Princeton.
- PEREIRA, F.O.R.; ABREU, R.C. & SCHMIDT, A.F. (1982): *Edificação para o Clima de Florianópolis. Relatório Interno, Deptº de Arq. e Urb., UFSC, Florianópolis*.
- PMF (1982): *Dispõe sobre o zoneamento, o uso e a ocupação do solo em setor urbano da área insular de Florianópolis. Lei Nº 1851, Prefeitura Municipal de Florianópolis*.
- ROBBINS, C.L. (1986): *Daylighting: Design and Analysis*. Van Nostrand Reinhold Co., New York.
- SOUZA, A.V. de (1982): *Parâmetros de afastamento entre edificações em função da insolação mínima na região de Florianópolis. Relatório Interno, IPUF, Florianópolis*.

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE LUZ SOLAR ATRAVÉS DO ANALISADOR DE MASCARAMENTO DO ENTORNO

A condição de insolação (incidência de radiação solar) é um parâmetro muito importante para o projeto do ambiente construído. Saber onde o sol está com respeito ao local ou a edificação permitirá o projetista verificar a ocorrência ou não de insolação e como a radiação solar adentrará um determinado ambiente através de uma determinada abertura. O instrumento - Analisador do Mascaramento do Entorno (Foto 1) foi desenvolvido no Laboratório de Conforto Ambiental, Deptº de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina (com a participação de Cristiane M. Moraes, bolsista da PRPE/UFSC).

Este instrumento consiste numa superfície parabólica transparente posicionada sobre um diagrama de trajetórias aparentes do sol para a latitude local, corretamente orientado e nivelado com uma bússola e uma bolha de nível incorporados a base do instrumento. Este conjunto visto a partir do correto ponto de visualização mostra a imagem refletida da abóbada celeste e os contornos do entorno imediato (imagem mascarante) com as trajetórias do sol por baixo. Desta maneira, torna-se fácil o levantamento dos períodos (dia/ano) nos quais o ponto analisado receberá luz solar ou não.

Com o auxílio de uma caneta especial, introduzida por baixo da cúpula através de uma abertura lateral, é possível desenhar a visão da imagem refletida na cúpula diretamente sobre o diagrama de trajetórias solares (ou diagrama de disponibilidade de luz natural ou diagrama de energia solar correspondente) para posterior análise e comparação com outras situações.



Foto 1: Analisador do Mascaramento do Entorno.

- EXEMPLO

O instrumento foi utilizado na análise das condições de insolação frente à aplicação da "Lei dos 70°" (seção principal do trabalho) de uma importante área do centro de Florianópolis, SC (Fig. 1).

Neste exemplo, em particular, foi utilizada a documentação fotográfica (Foto 2) com o objetivo de estudar, também, a precisão da imagem obtida com o analisador contra a figura produzida à mão com as dimensões reais do entorno imediato (Fig. 2 e Foto 3).

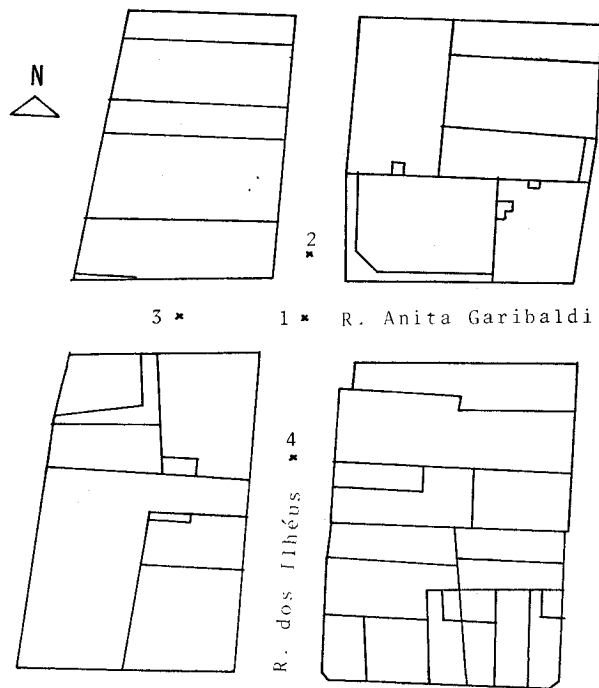


Fig. 1: Área estudada (c/os pontos analisados).

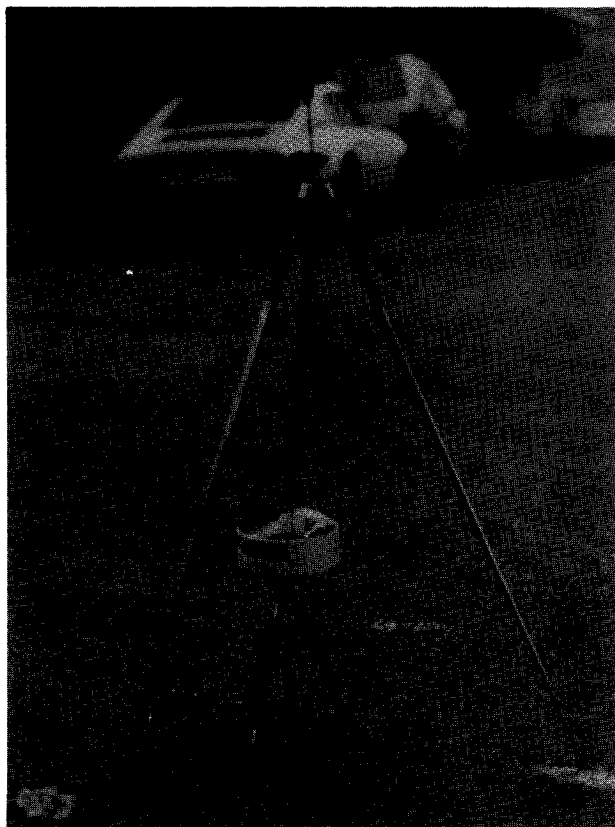


Foto 2: Analisador posicionado para documentação fotográfica no ponto 1.

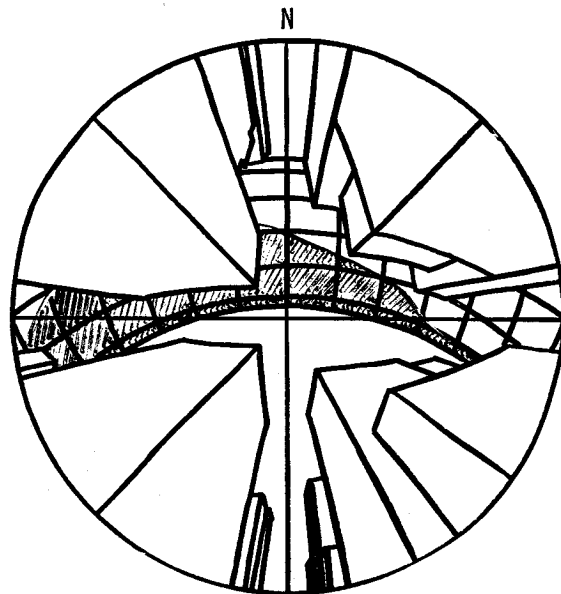


Fig. 2: Projeção do entorno e da abóbada celeste feita à mão (ponto 1).

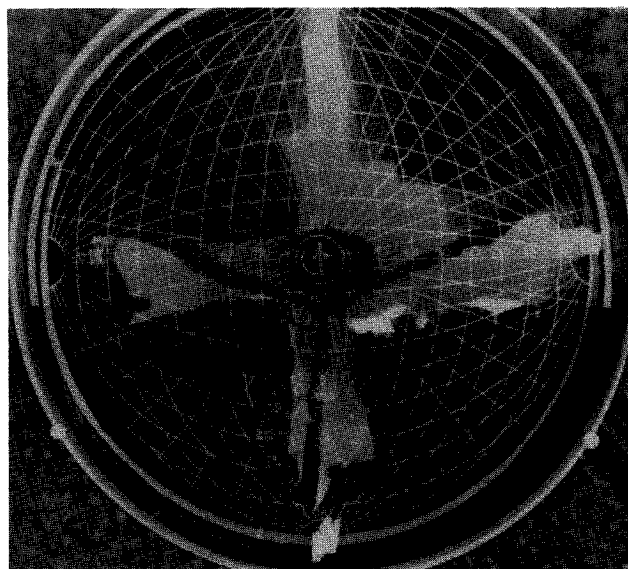


Foto 3: Imagem do Analisador (ponto 1).

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Steve Sharples que esteve sempre disponível para comentários e recomendações.

Aos colegas de trabalho da Universidade Federal de Santa Catarina, em especial ao Prof. Anderson Claro e Prof. José A. B. da Cunha Neto.

Finalmente, gostaríamos de agradecer à Pró-Reitoria de Pesquisa e Extensão/UFSC e CAPES-MEC pelo suporte financeiro.