



FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA A ESTIMATIVA DA ILUMINÂNCIA NATURAL EM SUPERFÍCIES PLANAS GENÉRICAS

Renato G. Castanheira (1); Jaqueline L. Pires (2)

(1) PROARQ/UFRJ – UFRRJ – Rua Domingos do Couto, 71 – Campo Grande – RJ

☎ (21) 34-02-14-39 – e-mail: rgcastanheira@uol.com.br

(2) DAU/IT/ UFRuralRJ - Rodovia BR 465 km 7 – Seropédica - RJ

☎ (21) 25-71-48-53 – e-mail: jaqueline@ufrj.br

RESUMO

Nos projetos de iluminação natural, o conhecimento dos valores da iluminância natural nas superfícies planas captadoras de luz nos edifícios é um fator muito importante. A grande dificuldade encontrada pelos projetistas é obter diretamente os valores da iluminância natural em planos com inclinação e orientação genéricas ou mesmo obter os dados meteorológicos necessários para o seu cálculo. Uma forma alternativa de solução para este problema é utilizar os valores da radiação solar global incidente, associado ao conceito de eficácia luminosa. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma ferramenta computacional, denominada *IlumiRAD2*, para estimativas rápidas dos valores da iluminância natural nas superfícies planas genéricas, partindo do conhecimento dos valores da radiação solar média diária mensal incidente em um plano horizontal. Os resultados obtidos serão úteis nas análises preliminares elaboradas nos projetos de iluminação natural e nas atividades de ensino das disciplinas que envolvem o estudo do conforto luminoso e eficiência energética.

ABSTRACT

In projects of natural illumination, being aware of the values of natural illuminance in the plane surfaces which capture light in buildings is a very important factor. A great difficulty found by the planners is to obtain the values of the natural illuminance directly in tilted planes with generic orientation or even to obtain the necessary meteorological data for its calculation. An alternative form of solution for this problem is to use the values of the global solar radiation incident associated to the concept of luminous efficacy. The objective of this work was to develop a computational tool, denominated *IlumiRAD2*, for fast estimation of the values of the natural illuminance in generic plane surfaces. For that it starts from the knowledge of the values of the monthly average of daily radiation on a horizontal plan. The obtained results will be useful in the preliminary analyses elaborated in the projects of natural illumination and in the activities of teaching of the disciplines that deal with the study of visual comfort by correct luminosity and efficient use of energy.

1. INTRODUÇÃO

Os valores da iluminância provenientes da luz solar direta ou difusa são parâmetros fundamentais para os projetos de iluminação natural. Ocorre uma grande dificuldade em se obter informações sobre os valores da iluminância natural nos planos com inclinação e orientação genéricas ou mesmo sobre os valores das variáveis meteorológicas necessárias para a aplicação dos diversos métodos disponíveis para o seu cálculo.

Uma solução alternativa para o problema é o desenvolvimento de métodos que utilizem os valores do espectro completo da radiação solar (ultravioleta, visível e infravermelho), associado ao conceito de rendimento luminoso da luz natural, que pode ser determinado através de medições simultâneas da iluminância e da radiação solar incidente em um determinado plano.

O método adotado neste trabalho estima o valor da iluminância natural em planos genéricos, partindo do conhecimento do valor da radiação solar média diária mensal medido no plano horizontal. O ideal seria partir dos valores horários para a radiação solar incidente no plano horizontal, mas a realidade, no entanto, mostra o quão difícil é também obter estes valores. Normalmente estes dados não são apresentados nas informações provenientes de estações meteorológicas e de satélites e, quando encontrados, são valores médios e bastante aproximados devido às variações intermitentes que ocorrem nas condições da transparência da atmosfera. Por outro lado, os valores da radiação solar média diária mensal incidente no plano horizontal, freqüentemente utilizados em projetos envolvendo o uso da energia solar, são obtidos facilmente a partir de informações provenientes de Institutos de Pesquisa (CRESESB, 2004), de estações meteorológicas (CORBELLA, 1995), de satélites (NASA, 2004) ou ainda estimados através de fórmulas e correlações empíricas (DUFFIE e BECKMAN, 1980).

Considerando esta realidade, o objetivo deste trabalho foi elaborar uma ferramenta computacional prática e simples para uma estimativa rápida da distribuição horária da iluminância natural disponível nas superfícies planas genéricas em um determinado dia. O programa elaborado foi denominado de *IlumiRAD2* e utiliza informações simples tais como: a latitude do local, o mês do estudo, a inclinação e a orientação da superfície estudada, o albedo do solo e os valores da radiação solar média diária mensal.

A expectativa é disponibilizar aos projetistas da área de iluminação uma alternativa simples para estimativas rápidas da iluminância natural disponível nas superfícies planas genéricas e, ainda, ser útil nas atividades de ensino das disciplinas que tratam da radiação solar e da iluminação natural.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O programa *IlumiRAD2* tem como base o algoritmo utilizado no aplicativo *RadiHORA2* (CASTANHEIRA et al., 2002). Em seu desenvolvimento foi utilizada a linguagem Object Pascal, no ambiente de desenvolvimento Delphi 5 para o sistema operacional Windows 95 e versões posteriores.

O modelo matemático adotado para a elaboração do algoritmo de cálculo é apresentado e detalhado em DUFFIE e BECKMAN (1980) e tem como base equações desenvolvidas por *Collares-Pereira e Rabl*, baseadas nos estudos estatísticos realizados por *Hottel, Whillier, Liu e Jordan* para a estimativa da distribuição da radiação solar incidente total sobre superfícies horizontais, partindo dos valores da radiação média diária mensal.

Devido ao fato do programa *IlumiRAD2* utilizar os valores da radiação média diária mensal, os cálculos efetuados consideram ao longo de cada mês, uma transparência média mensal para a atmosfera, obtida no dia médio¹ do mês do estudo. A estimativa da parcela horária de radiação solar total incidente sobre o plano horizontal, representada por (r_t), é realizada através da equação 1.

$$r_t = \frac{\pi}{24} \cdot (a + b \cos \omega) \cdot \frac{\cos \omega - \cos \omega_P}{\sin \omega_P - \left(\frac{2\pi}{360^\circ}\right) \cos \omega_P} \quad [\text{Eq. 01}]$$

¹ Dia do mês no qual o valor da radiação extraterrestre se aproxima mais do valor da radiação extraterrestre média diária mensal.

Os parâmetros (a) e (b) apresentados na equação 1 são calculados utilizando-se as equações 2 e 3, mostradas a seguir.

$$a = 0,409 + 0,5016 \text{sen}(\omega - 60^\circ) \quad [\text{Eq. 02}]$$

$$b = 0,6609 - 0,4767 \text{sen}(\omega_p - 60^\circ) \quad [\text{Eq. 03}]$$

Nas equações apresentadas anteriormente, (ω) representa a posição angular do Sol na hora do estudo e (ω_p) representa a posição angular do Sol na hora do poente, no dia do estudo. Os dois parâmetros são referenciados ao meio-dia solar e devem estar em graus.

A parcela de radiação difusa média diária mensal no valor da radiação total incidente no plano horizontal é estimada pela equação 4.

$$\frac{H_D}{H} \cong 0,775 + 0,00653(\omega_p - 90^\circ) - [0,505 + 0,00455(\omega_p - 90^\circ)] \cos(K_T - 103) \quad [\text{Eq. 04}]$$

Na equação 4, o parâmetro (ω_p) representa a posição angular do sol na hora do poente, considerando o dia médio do mês do estudo, (K_T) representa a transparência média da atmosfera no mês do estudo, (H_D) representa a estimativa da parcela da radiação solar incidente difusa sobre o plano horizontal e a radiação média diária mensal total incidente sobre o plano horizontal é representada por (H).

A estimativa da parcela horária da radiação difusa incidente no plano horizontal, representada por (r_D), é realizada através da equação 5, onde os parâmetros (ω) e (ω_p) são os mesmos apresentados e descritos anteriormente.

$$r_D = \frac{\pi}{24} \frac{\cos \omega - \cos \omega_p}{\text{sen} \omega_p - \left(\frac{2\pi}{360^\circ}\right) \cos \omega_p} \quad [\text{Eq. 05}]$$

A altura solar, representada por (α), é calculada através da equação 6 (HERRERO, 1985).

$$\text{sen} \alpha = \text{sen} \delta \text{sen} \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega \quad [\text{Eq. 06}]$$

As transformações dos valores obtidos para a radiação solar incidente no plano horizontal, para os planos genéricos, são feitas através do método proposto por *Liu e Jordan* para o cálculo da radiação solar incidente em planos inclinados (DUFFIE e BECKMAN, 1980).

No cálculo da iluminância utilizam-se os valores do rendimento luminoso mostrados nos gráficos das figuras 1 e 2, elaborados considerando valores sugeridos e apresentados em HOPKINSON et al. (1966).

Para a determinação da parcela direta da iluminância, proveniente da radiação solar direta, são utilizados o gráfico (figura 1) e os procedimentos descritos a seguir.

Da figura 1:

Para $\alpha \leq 7,5^\circ \Rightarrow RL_{DIR} = 90 \text{ lm/W}$

Para $7,5^\circ < \alpha \leq 25^\circ \Rightarrow RL_{DIR} = 1,5429 \times \alpha + 78,429 \text{ lm/W}$

Para $\alpha > 25^\circ \Rightarrow RL_{DIR} = 117 \text{ lm/W}$

Onde:

RL_{DIR} - Rendimento luminoso para a radiação solar direta.

α - Altura solar ($^\circ$)

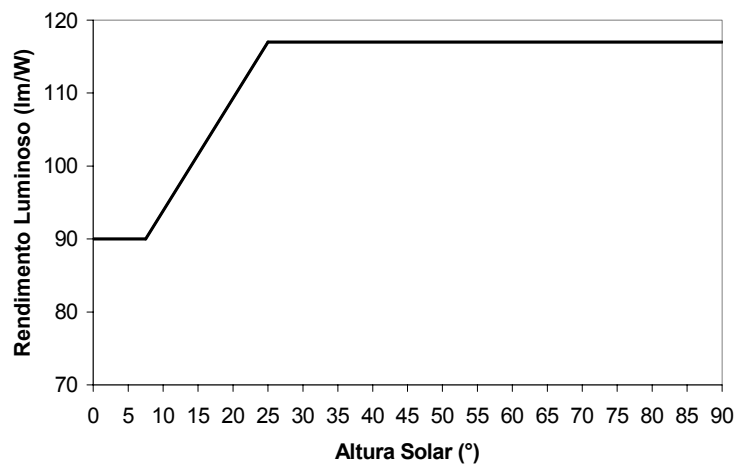


Figura 1. Rendimento luminoso para a radiação solar direta

Para a determinação da parcela difusa da iluminância, proveniente da radiação solar difusa e refletida (céu e solo), utilizam-se o gráfico (figura 2) e os procedimentos mostrados a seguir.

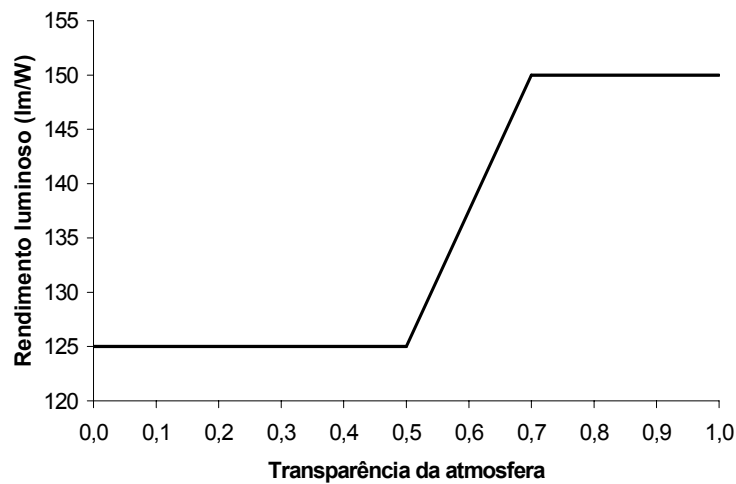


Figura 2. Rendimento luminoso para a radiação solar difusa e refletida

Da figura 2:

Para céu encoberto ($K_T \leq 0,5$) $\Rightarrow RL_{DIF} = 125 \text{ lm/W}$.

Para céu intermediário ($0,5 < K_T \leq 0,7$) $\Rightarrow RL_{DIF} = 1,25 \times K_T + 62,5 \text{ lm/W}$.

Para céu claro ($K_T > 0,7$) $\Rightarrow RL_{DIF} = 150 \text{ lm/W}$.

Onde:

RL_{DIF} - Rendimento luminoso para a radiação solar difusa (céu e solo),

K_T - Transparência da atmosfera.

- Para o cálculo da *iluminância direta* aplica-se o rendimento luminoso (RL_{DIR}) na parcela horária de radiação solar direta.
- Para o cálculo da *iluminância difusa* aplica-se o rendimento luminoso (RL_{DIF}) nas parcelas horárias de radiação solar difusa e refletida.

3. APRESENTAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA

O programa *IlumiRAD2* é uma ferramenta computacional de uso simples, que tem como objetivo fornecer estimativas rápidas para os valores da iluminância disponível nas superfícies planas genéricas, partindo dos valores da radiação solar média diária mensal. É constituído de uma única tela, mostrada na figura 3, onde são inseridas as informações necessárias e também são apresentados os resultados.

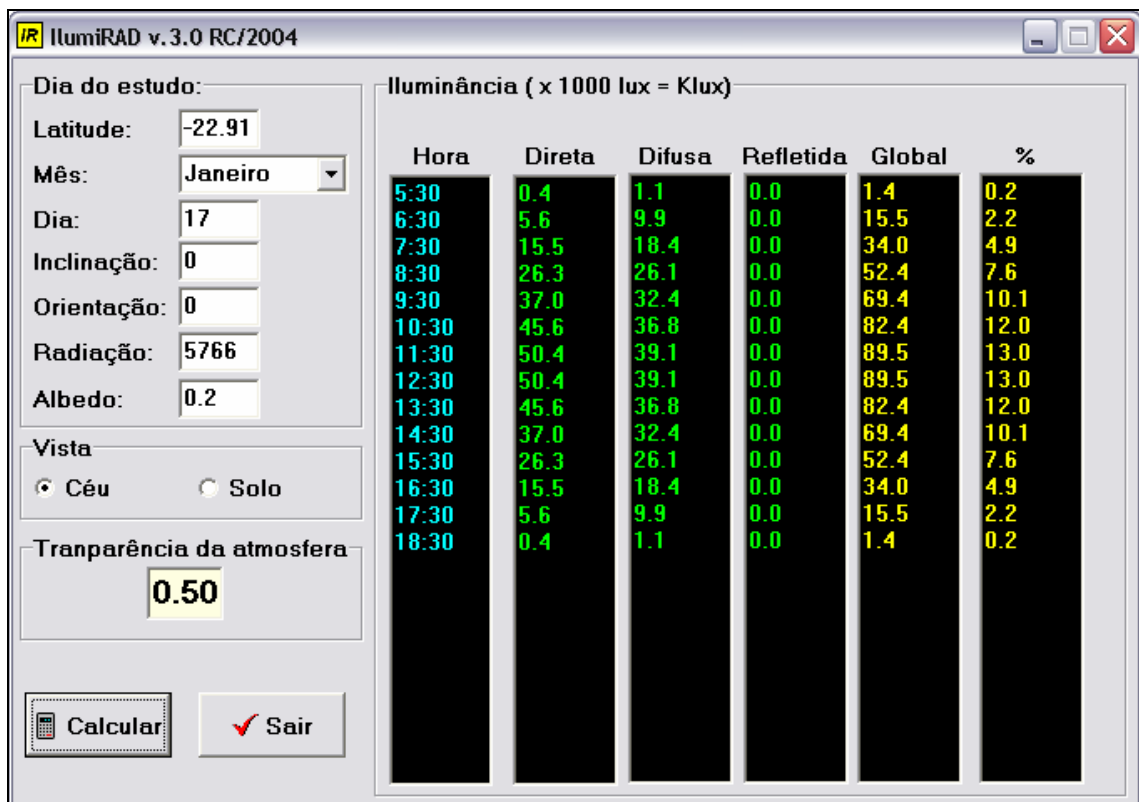


Figura 3. Tela do programa IlumiRAD2

O programa disponibiliza os recursos de transferência do Windows, tais como: *recortar*, *copiar* e *colar*, propiciando que, de forma bastante simples e rápida, os resultados obtidos possam ser transferidos para outro aplicativo, de modo a serem tratados e analisados, conforme a necessidade do estudo.

São inseridos a latitude do local, o mês e o dia do estudo, a inclinação e a orientação da superfície, o valor da radiação média diária mensal incidente no plano horizontal e o albedo do solo.

O programa utiliza de forma automática (default), para uma latitude igual a $-22,91^\circ$ (Rio de Janeiro), os valores para a radiação média diária mensal sugeridos por CORBELLA (1995).

O programa retorna a transparência média da atmosfera utilizada no cálculo, os valores horários para a iluminância direta, a iluminância difusa, a iluminância refletida e a iluminância global disponíveis na superfície estudada. Fornece também uma distribuição percentual horária da iluminância, considerando o total de iluminância disponível ao longo do dia.

Para ilustrar a utilização do programa foram estimados os valores da iluminância natural disponíveis nos dias médios de dezembro (10/12) e junho (11/06), para uma fachada vertical orientada para o sul, no Rio de Janeiro.

A figura 3 mostra a tela com os resultados obtidos no programa *IlumiRAD2* para o mês de dezembro.

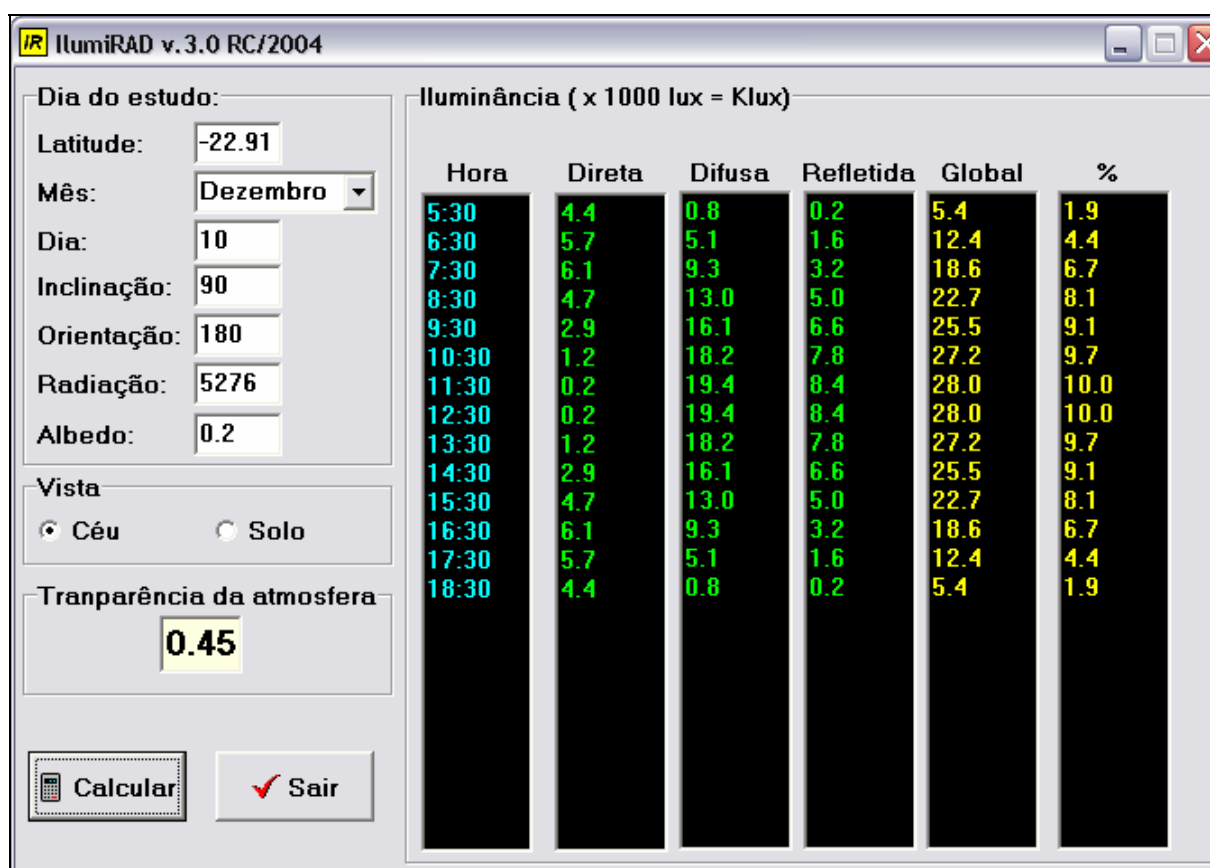


Figura 3. Resultados para um plano vertical orientado para o sul (10/12)

Utilizando-se as funções *Copiar* e *Colar* do Windows os resultados obtidos foram inseridos no *Microsoft Excel*, onde foi elaborado o gráfico mostrado na figura 4.

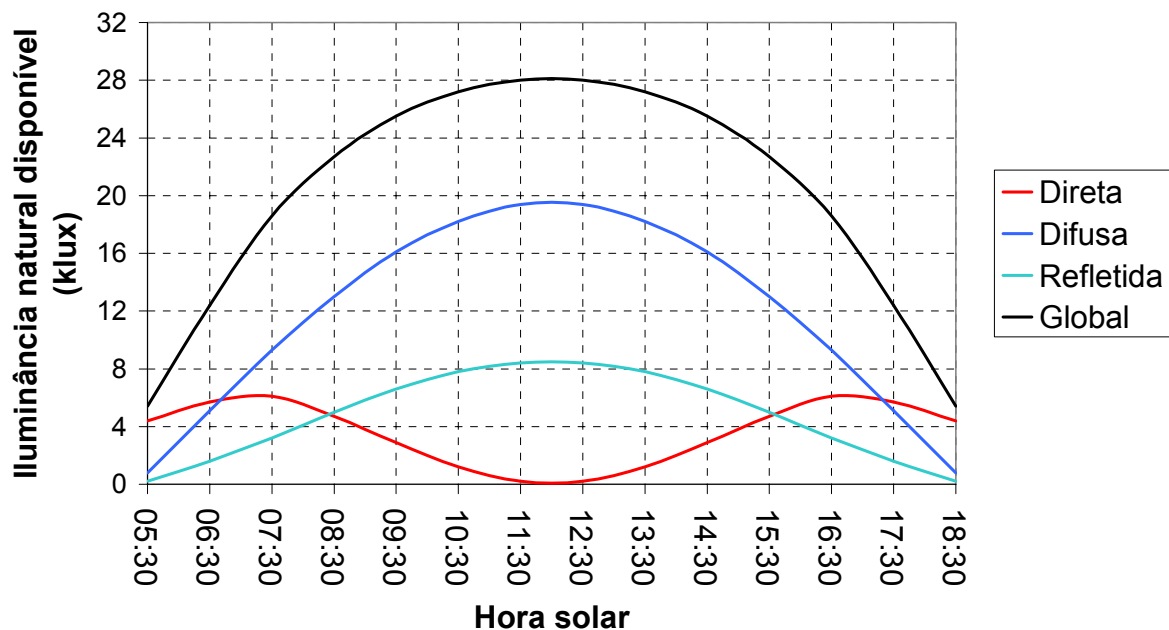


Figura 4. Curvas para um plano vertical orientado para o sul (10/12)

A figura 5 mostra a tela com os resultados obtidos no programa *IlumiRAD2* para o mês de junho.

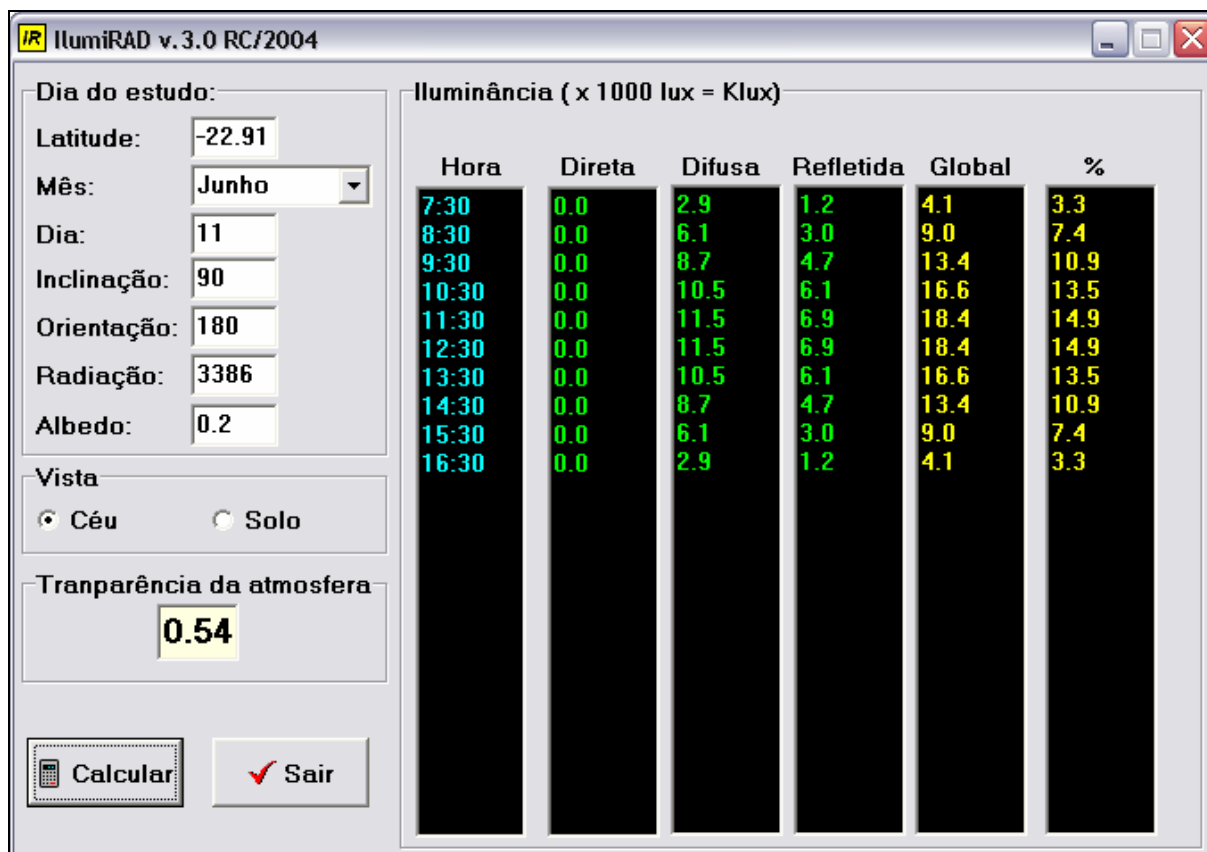


Figura 5. Resultados para um plano vertical orientado para o sul (11/06)

Utilizando-se as funções *Copiar* e *Colar* do Windows os resultados obtidos foram inseridos no *Microsoft Excel*, onde foi elaborado o gráfico mostrado na figura 6.

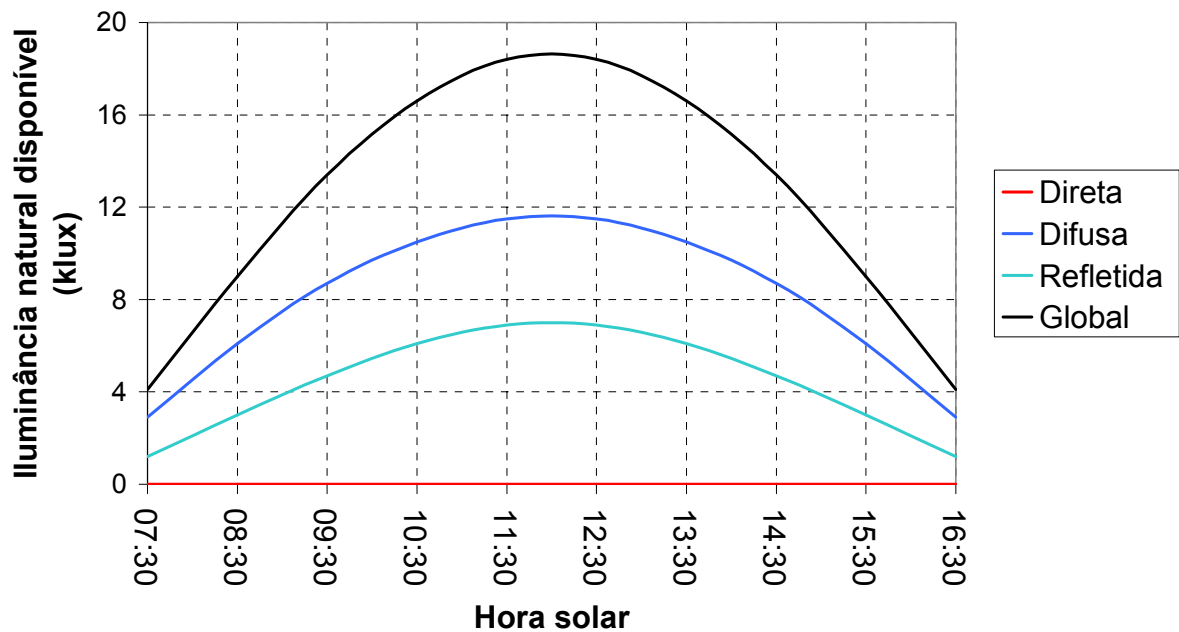


Figura 6. Curvas para um plano vertical orientado para o sul (11/06)

É importante ressaltar que os resultados obtidos através do programa IlumiRAD2 são aproximações, devido às variações que ocorrem nas condições de transparência da atmosfera ao longo de um dia e a estimativa da parcela de radiação difusa no valor da radiação total.

De acordo com estudos apresentados em DUFFIE e BECKMAN (1980), os resultados obtidos serão melhores para os períodos de céu claro, quando comparados com aqueles obtidos em condições de céu nublado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ferramenta computacional desenvolvida apresenta as seguintes características:

- Apresenta uma interface muito simples, com dicas auto-explicativas, permitindo que pessoas que possuam um mínimo conhecimento de informática possam utilizá-la sem a menor dificuldade,
- Pode ser utilizada a partir de um único disquete, não sendo necessária qualquer forma de instalação no disco rígido,
- Oferece as funções para transferência do Windows, *Copiar* e *Colar*, o que permite realizar uma análise elaborada dos dados obtidos em outros aplicativos mais específicos,
- A principal diferença do programa desenvolvido, em relação à maioria dos programas existentes, é permitir o estudo da iluminância natural, partindo dos valores da radiação solar média diária mensal, que podem ser obtidos facilmente em NASA (2004), CRESEB (2004), estações meteorológicas ou ainda estimados através de correlações empíricas.

A possibilidade de se obter resultados para superfícies planas inclinadas e orientadas de forma genérica, em qualquer localidade e em qualquer época do ano, pode ser útil no estudo da iluminância natural disponível em superfícies que recebem a luz do Sol. Sua rápida visualização auxilia o projetista na escolha das melhores orientações e inclinações das superfícies captadoras de luz, otimizando, ainda na fase inicial do projeto, o processo de concepção e a eficiência energética.

Apesar do aplicativo não ser uma versão final e da existência de outras ferramentas para esta finalidade, poderá representar uma alternativa interessante para estudos que tratam da iluminação natural.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASTANHEIRA, R.G; ADEGAS, M.G.; KRAUSE, C.B. RadHora – Programa computacional para estimar o fluxo horário da radiação solar incidente em superfícies planas inclinadas. In: CONGRESSO DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO DO MERCOSUL, 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Asbrav: Associação Sul Brasileira de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação, 2002b, CD – A3205.

CRESESB. Disponível em: < www.cresesb.cepel.br/sundatn.htm>. Acesso em 30/062004.

HERRERO, M.A.. **Solamiento y Energia Solar**. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia, 1985. 248p.

NASA–EARTH SCIENCE ENTERPRISE PROGRAM. Surface meteorology and solar data set. Disponível em: <<http://shere.larc.nasa.gov/sse>>. Acesso em 30/062004.

CORBELLA, O.D.. Dados Consolidados de Energia Solar Global Diária em Plano Horizontal, para a cidade do Rio de Janeiro. **Cadernos de Geociências do IBGE**, Rio de Janeiro, n.16, p. 131-168, out./dez. 1995.

DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A.. **Solar Engineering of Thermal Processes**. New York: John Wiley & Sons,1980. 761p.

HOPKINSON, R.G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. **Iluminação Natural**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1966. 776p.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos às Professoras da Disciplina Iluminação Natural e Conforto Visual do PROARQ-UFRJ *Maria Maia Porto* e *Eunice Bomfim* a imensa colaboração prestada durante a realização deste trabalho.