



GERADOR DE RELATÓRIOS DE ESTUDO DA INSOLAÇÃO EM FACHADAS

Josué Luiz Dalboni da Rocha (1); Ricardo Carvalho Cabús (2).

(1) Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Alagoas – UFAL. GRILU, Centro de Tecnologia, Campus AC Simões, Cidade Universitária, 57072-970, Maceió, Alagoas, Brasil
e-mail: josuedalboni@yahoo.com.br

(2) Prof. UFAL, Eng. Civil, PhD em Arquitetura. Universidade Federal de Alagoas - UFAL, GRILU, Centro de Tecnologia, Campus AC Simões, Cidade Universitária, 57072-970, Maceió, Alagoas, Brasil
e-mail: r.cabus@gmail.com

RESUMO

O estudo correto da insolação nas fachadas pode ser um grande aliado dos projetistas para que tenhamos uma arquitetura que aproveite as benesses do clima. O código computacional, apresentado neste artigo, permite a determinação dos intervalos de tempo em que a luz solar incide diretamente sobre as fachadas das edificações. Essa determinação ocorre em função do conhecimento das orientações cardeais das fachadas estudadas e da latitude do local onde se situa o ambiente, que combinadas aos dias e horários ao longo de um ano, geram relatórios da insolação nas fachadas. Os conceitos e equações utilizados na interpretação da interação geométrica entre o Sol e as fachadas construídas a partir dos diversos movimentos da Terra em relação ao Sol baseiam-se nos azimutes e alturas solares percorridas na trajetória do Sol ao longo dos dias de um ano. Os períodos de insolação são encontrados determinando seus extremos, que ocorrem quando o azimute solar coincide com a direção da fachada. O alcance de precisão na determinação de cada instante de equivalência é possibilitado pela aplicação do Método da Bissecção, pelo qual é construída uma sucessão de aproximações de valores de azimute solar aos reais em função das bisseções iterativas do intervalo de momento temporal. Dessa forma, o código computacional surge como um novo recurso didático para o ensino de Conforto Ambiental, em Arquitetura e Engenharia Civil, e possibilita a sua execução como um meio rápido de análise de insolação em fachadas por profissionais atuantes na área.

Palavras-chave: Insolação; fachadas; conforto ambiental, eficiência energética.

ABSTRACT

The correct study of the insolation in facades can be helpful for designers to achieve an architecture that takes advantage of the climate. In that sense, this computational code allows to determinate the intervals of time that sunlight hits any facade of the building. The basic parameters are the facade's cardinal orientations and the latitude of the place. Insolation reports are generated based on period of time. The concepts and equations used are based on the solar azimuths and altitude along the days of the year. The insolation periods are found by determining their extremes, which happen when the solar azimuth coincides with the direction of the facade. To reach the necessary accuracy the Bisection Method was chosen. A sequence of approaches from the truth value of solar azimuth is set up in function of the repetitive bisections of the interval of temporal moment. In this way, the computational code appears as a new didactic resource, and to help designers to achieve better solutions for buildings with comfort and that take into account energy efficiency.

Keywords: Insolation; facades; passive and low energy architecture.

1 INTRODUÇÃO

O estudo correto da insolação nas fachadas pode ser um grande aliado dos projetistas para que tenhamos uma arquitetura que aproveite as benesses do clima. Entretanto, sua determinação pelos métodos convencionais demanda tempo e para avaliações para longos períodos – em particular em análises de economia de energia em edificações – carecem de uma precisão adequada.

Neste sentido, o código computacional proposto, permite a determinação dos períodos de tempo em que a luz do Sol incide diretamente sobre as fachadas em estudo e a exposição detalhada dos mesmos em tabelas organizadas, com processamento em tempo significativamente menor que na solução por métodos antigos.

Seu processo de cálculo na elaboração de seus resultados ocorre em função do conhecimento das direções azimutais das fachadas estudadas e da latitude da cidade onde se situa o ambiente em avaliação, que analisadas ao longo dos dias e horários de um ano, geram os relatórios anuais, diários e resumidos de insolação em fachadas.

Os conceitos e algoritmos utilizados na interpretação da interação geométrica entre o Sol e as fachadas construídas a partir dos diversos movimentos da Terra em relação ao Sol se referem às proposições de Peter Tregenza (1993) e baseiam-se nos azimutes e alturas solares percorridas no caminho do Sol ao longo dos dias de um ano.

Esses relatórios são parte do programa TropFac (CABUS, 2008), desenvolvido no Grupo de Pesquisa em Iluminação, disponível na página www.grilu.ufal.br.

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar aos atuantes da área de Conforto Ambiental, sejam profissionais, estudantes ou professores, um novo método de pesquisa da insolação em fachada com o advento da matemática computacional, de forma a facilitar a avaliação do conforto no ambiente por meio do usuário do software.

3 METODOLOGIA

O código computacional de geração dos relatórios de insolação, produzido em linguagem de programação MATLAB, utiliza como parâmetros de entrada a latitude da cidade de localização do ambiente e a direção azimutal de cada fachada em análise, como explanado nessa seção.

O período de insolação se caracteriza pela fase em que o sol encontra-se numa faixa azimutal com extensão de cento e oitenta graus, sendo que o centro dessa faixa equivale à direção frontal da fachada em estudo e os extremos da faixa equivalem às direções laterais desta fachada. Na carta solar abaixo, da cidade de Boa Vista, no estado de Roraima, está exemplificado uma fachada com insolação na faixa azimutal solar de -45° , ou 315° , a 135° (Figura 1). Por convenção, a esta fachada é adotada a direção 45° , correspondente ao azimute da normal à fachada.

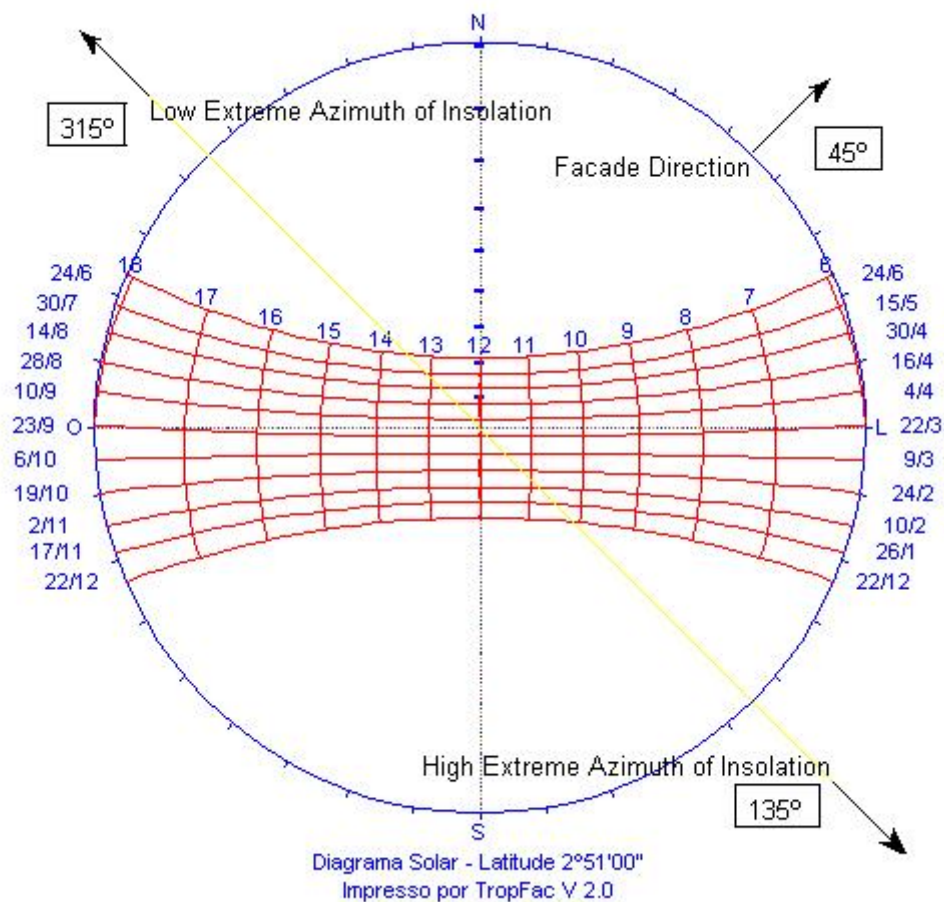


Figura 1 – Carta solar com representação de fachada com insolação na faixa azimutal solar de $-45^{\circ}(315^{\circ})$ a 135° , para a cidade de Boa Vista (RR).

Para determinação precisa dos instantes em que o azimute solar coincide com uma das direções paralelas a fachada, o que ocasiona o início ou o fim da insolação na fachada, é aplicado do Método da Bissecção em valores de azimute solar calculados por equações propostas por Tregenza (1993).

Nas duas seções seguintes, esses pontos serão abordados de maneira simplificada com o intuito de embasar a compreensão do funcionamento do gerador de relatórios de estudo da insolação em fachadas. Maiores informações sobre as equações e o método podem ser encontradas por meio de consulta às referências bibliográficas.

3.1 Equações utilizadas

3.1.1 Declinação Solar

Declinação solar é o ângulo formado pelo raio do Sol e o plano equatorial terrestre. Esse valor equivale à latitude em que o Sol incide perpendicularmente ao meio-dia. Essa declinação é convencionada como positiva quando o Sol está ao norte do equador, no período de 21 de março e 23 de Setembro de cada ano, e negativa quando o Sol está ao sul do equador, ou seja, entre 23 de Setembro e 21 de Março. Os valores máximos e mínimos da declinação solar são $23,45^{\circ}$ e $-23,45^{\circ}$.

O algoritmo apresentado abaixo tem uma margem de erro de 0,0007 radianos, ou seja, 0,04 graus, exceto próximo aos equinócios, onde o erro máximo é de 0,0014 radianos, o que equivale a 0,08 graus (TREGENZA, 1993). As eq. 1 e 2 expressam o cálculo da declinação solar para cada dia do ano (SPENCER, 1971).

$$\begin{aligned}\delta_s = & 0.006918 - 0.0399912 \cdot \cos(\tau_d) + 0.070257 \cdot \sin(\tau_d) \\ & - 0.006758 \cdot \cos(2 \cdot \tau_d) + 0.000907 \cdot \sin(2 \cdot \tau_d) \\ & - 0.002697 \cdot \cos(3 \cdot \tau_d) + 0.00148 \cdot \sin(3 \cdot \tau_d), \text{ em radianos}\end{aligned}\quad (\text{eq.1})$$

$$\tau_d = \frac{2 \cdot \pi \cdot (J - 1)}{365}, \text{ em radianos} \quad (\text{eq.2})$$

Nas equações acima δ_s representa a declinação solar, enquanto τ_d é o dia angular e J é o dia Juliano, no qual os dias são representados por números de 1 (1º de Janeiro) a 365 (31 de Dezembro). Para anos bissextos a eq. 2 deve ter seu denominador substituído por 366.

3.1.2 Altitude Solar

Conhecido o valor de δ_s , pode-se então calcular a altitude solar de qualquer horário deste dia a partir da combinação da declinação solar com a latitude da cidade onde está situado o ambiente em questão e a hora de estudo. Altitude solar é definida como $\gamma_s = \frac{\pi}{2}$, em radianos, quando o Sol está no Zênite e $\gamma_s = 0$ quando o Sol está no horizonte. Dessa forma, a altitude solar pode ser calculada por meio da eq. 3 (CIE, 1990), visualizada abaixo.

$$\gamma_s = \arcsin[\sin(\varphi) \cdot \sin(\delta_s) - \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta_s) \cdot \cos(\xi)] \quad (\text{eq.3})$$

Nesta equação, φ representa a latitude do ambiente estudado e ξ é o ângulo de hora solar, que representa proporcionalmente as horas do dia, de 0 a 24 horas, em uma faixa de ângulos de domínio 0 a $\frac{\pi}{2}$ radianos.

3.1.3 Azimute Solar

O azimute solar é representado dentro do domínio de 0 a $2 \cdot \pi$ radianos. Na convenção adotada neste trabalho, o azimute 0 representa a direção norte, enquanto o azimute π equivale à direção sul. Já as direções leste e oeste são representadas pelos azimutes $\frac{\pi}{2}$ e $\frac{3 \cdot \pi}{2}$, respectivamente. Nesta convenção, o azimute cresce à medida que a direção avaliada gira no sentido horário e decresce quando a rotação é no sentido anti-horário. A determinação do azimute solar, α_s , a partir do conhecimento da altitude solar, da declinação solar e da latitude da região estudada, pode ser feita pela utilização da eq. 4 (CIE, 1990).

$$\begin{aligned}\alpha_s = & \arccos\left[\frac{-\sin(\varphi) \cdot \sin(\gamma_s) + \sin(\delta_s)}{\cos(\varphi) \cdot \cos(\gamma_s)}\right], \text{ para } 0 < \xi \leq \pi \\ \alpha_s = & 2 \cdot \pi - \arccos\left[\frac{-\sin(\varphi) \cdot \sin(\gamma_s) + \sin(\delta_s)}{\cos(\varphi) \cdot \cos(\gamma_s)}\right], \text{ para } \pi < \xi \leq 2 \cdot \pi\end{aligned}\quad (\text{eq.4})$$

3.2 Método da Bissecção

Dada a direção azimutal da fachada, os instantes de início e de fim da insolação podem ser encontrados quando, nos mesmos, ocorre uma equivalência entre o azimute solar e o azimute de uma das duas direções laterais da fachada, a partir da aplicação das equações acima.

Dotado do valor do azimute equivalente a ser encontrado, conhecidas a latitude da cidade e a declinação solar do dia, são feitas 90 iterações variando-se o valor da altura solar de 1 a 90 graus acrescentando 1 grau a cada iteração. A eq. 4 é aplicada em cada iteração e o azimute solar calculado é comparado ao da iteração imediatamente anterior. Se uma perpendicular do azimute frontal da fachada estiver entre o azimute calculado na iteração atual e o azimute da iteração anterior, determina-se a existência de um azimute equivalente quando o Sol estiver dentro da faixa compreendida pela altura solar da iteração atual e da altura solar da iteração anterior no dia Juliano em estudo.

Nestes casos, é aplicado o método da bissecção, que divide em duas partes iguais a faixa de altura solar, verifica em qual delas está o azimute equivalente e, repetitivamente, secciona-a na faixa encontrada até que se obtenha uma faixa pequena o suficiente para ser considerada a altura solar de seu extremo inferior como possuidora do azimute solar equivalente sem que haja relevantes erros de precisão.

Posteriormente, a eq. 3 é utilizada com a altura solar, obtida pelo método da bissecção, e as já conhecidas latitude da cidade e declinação solar do dia em estudo, permitindo o cálculo do valor do ângulo de hora solar em que o fenômeno de equivalência azimutal ocorre. Em seguida, esse ângulo horário é convertido para a representação padrão internacional de tempo, em horas, minutos e segundos.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Este gerador de relatórios possibilita a geração de três tipos de relatórios, que são o anual, o diário e o resumido. Cada um desses relatórios apresenta resultados para as quatro fachadas do ambiente em estudo, o que permite a comparação entre a insolação destas fachadas.

O relatório resumido concentra-se na apresentação da insolação nos dias considerados de maior relevância durante o ano por serem épocas de máxima ou mínima inclinação da Terra em relação a seu plano de translação ao redor do Sol, ou seja, os Solstícios de Verão e Inverno e os Equinócios de Primavera e Outono. Abaixo, é possível visualizar um exemplo do relatório resumido aplicado à cidade de Maceió (Figura 2).

Relatório Resumido de Insolação Possível - Impresso por TropFac V 2.0 Beta 15/01/2008 11:48:44									
Cidade: Maceió-AL Latitude: -9° 40' Longitude: -35° 44' Meridiano Padrão: -45° Horário de Verão: 0									
Ins. 1 = total de insolação possível/duração do dia (ast) (em porcentagem) Ins. 2 = total de insolação possível/dia + noite (24h) (em porcentagem)									
Fachada AB - Azimute 023° - Orientação NNE									
Dia	Início	Insolação Fim	Início	Fim	Dur. do dia Astronômico	Total de Insolação	Ins. 1	Ins. 2	
Solstício de Verão	06 03 42	08 48 58	-----	-----	12 33 52	02 45 16	022	011	
Equinócio	06 00 13	13 29 11	-----	-----	11 59 33	07 28 57	062	031	
Solstício de Inverno	06 16 57	17 43 03	-----	-----	11 26 07	11 26 07	100	048	
Fachada BC - Azimute 113° - Orientação SEE									
Dia	Início	Insolação Fim	Início	Fim	Dur. do dia Astronômico	Total de Insolação	Ins. 1	Ins. 2	
Solstício de Verão	05 43 04	12 25 22	-----	-----	12 33 52	06 42 18	053	028	
Equinócio	06 00 13	11 43 08	-----	-----	11 59 33	05 42 55	048	024	
Solstício de Inverno	06 16 57	11 01 59	-----	-----	11 26 07	04 45 02	042	020	
Fachada CD - Azimute 203° - Orientação SSW									
Dia	Início	Insolação Fim	Início	Fim	Dur. do dia Astronômico	Total de Insolação	Ins. 1	Ins. 2	
Solstício de Verão	05 43 04	06 03 42	08 48 58	18 16 56	12 33 52	09 48 35	078	041	
Equinócio	13 29 11	17 59 47	-----	-----	11 59 33	04 30 36	038	019	
Solstício de Inverno	-----	-----	-----	-----	11 26 07	00 00 00	000	000	
Fachada AD - Azimute 293° - Orientação NWW									
Dia	Início	Insolação Fim	Início	Fim	Dur. do dia Astronômico	Total de Insolação	Ins. 1	Ins. 2	
Solstício de Verão	12 25 22	18 16 56	-----	-----	12 33 52	05 51 34	047	024	
Equinócio	11 43 08	17 59 47	-----	-----	11 59 33	06 16 38	052	026	
Solstício de Inverno	11 01 59	17 43 03	-----	-----	11 26 07	06 41 05	058	028	

Figura 2 – Relatório Resumido de Insolação Possível, para Maceió (AL), em português.

A característica principal do relatório é a apresentação dos momentos de início e fim dos períodos de insolação para cada dia analisado. A permissão de até dois períodos de insolação por dia previne erros em alguns dias críticos, nos quais a fachada se comporta como secante à projeção horizontal da trajetória do sol ao longo do dia. No exemplo acima, a ocorrência disto pode ser observada no Solstício de Verão para a fachada CD, com direção 203°, ou seja, exposta a insolação na faixa azimutal solar de 113° a 293°.

A soma diária dos períodos de insolação permite, pela quantificação da insolação em cada dia, uma avaliação rápida da condição de iluminação da fachada analisada. Esta pode também ser comparada à duração do dia astronômico, que também está presente na tabela de resultados elaborada na execução do código.

Os parâmetros denominados “Ins. 1” e “Ins. 2” representam, respectivamente, a relação percentual entre a duração da insolação ao longo do dia analisado e a duração do dia astronômico e a relação em porcentagem entre a insolação total diária e o tamanho do dia, considerado sempre igual a vinte e

quatro horas. Esses dois parâmetros fornecem ao usuário a determinação exata da exposição da fachada à luz solar direta ao longo do dia.

A possibilidade de apresentação destes relatórios não somente em português, mas também em inglês, proporciona a este gerador de relatórios um potencial de internacionalização de seu uso. Uma versão de relatório resumido em inglês aplicado à cidade de Fortaleza apresenta-se abaixo (Figura 3).

Possible Insolation Summary Report - Printed by TropFac V 2.0 Beta							15/01/2008 14:39:49		
City: Fortal eza-CE									
Latitude: -3° 45'									
Longitude: -38° 35'									
Standard Meridi an: -45°									
Summer Time: 0									
Ins. 1 = possible insolation/day length (ast) (in percentage)									
Ins. 2 = possible insolation/day + night(24h) (in percentage)									
Facade AB - Azimuth 060° - Orientation NEE									
Day	Beginni ng	End	Insolati on Beginni ng	End	Astronomi c Day length	Total Insolation	Ins. 1	Ins. 2	
Summer Solst ice	05 53 29	11 10 52	-----	-----	12 13 01	05 17 23	043	022	
Equinox	06 00 05	12 09 25	-----	-----	11 59 50	06 09 19	051	026	
Winter Solst ice	06 06 31	13 06 29	-----	-----	11 46 58	06 59 58	059	029	
Facade BC - Azimuth 140° - Orientation SE									
Day	Beginni ng	End	Insolati on Beginni ng	End	Astronomi c Day length	Total Insolation	Ins. 1	Ins. 2	
Summer Solst ice	05 53 29	13 45 49	-----	-----	12 13 01	07 52 20	064	033	
Equinox	06 00 05	11 40 37	-----	-----	11 59 50	05 40 31	047	024	
Winter Solst ice	06 06 31	09 38 25	-----	-----	11 46 58	03 31 55	030	015	
Facade CD - Azimuth 230° - Orientation SW									
Day	Beginni ng	End	Insolati on Beginni ng	End	Astronomi c Day length	Total Insolation	Ins. 1	Ins. 2	
Summer Solst ice	10 47 37	18 06 31	-----	-----	12 13 01	07 18 54	060	030	
Equinox	12 13 40	17 59 55	-----	-----	11 59 50	05 46 15	048	024	
Winter Solst ice	13 37 35	17 53 29	-----	-----	11 46 58	04 15 54	036	018	
Facade AD - Azimuth 330° - Orientation NNW									
Day	Beginni ng	End	Insolati on Beginni ng	End	Astronomi c Day length	Total Insolation	Ins. 1	Ins. 2	
Summer Solst ice	14 46 28	18 06 31	-----	-----	12 13 01	03 20 02	027	014	
Equinox	11 31 53	17 59 55	-----	-----	11 59 50	06 28 02	054	027	
Winter Solst ice	08 21 38	17 53 29	-----	-----	11 46 58	09 31 51	081	040	

Figura 3 – Relatório Resumido de Insolação Possível, para Fortaleza (CE), em inglês.

O relatório diário analisa a insolação para todos os 365 dias do ano não-bissexto, fornecendo resultados de mesma característica que os do relatório resumido. Este modelo diário de relatório é propício para uma análise detalhada da incidência direta do Sol nas fachadas em estudo. Também é adequado para avaliar as pequenas alterações ocorridas de um dia para o outro no perfil dessa incidência ao longo do dia.

O terceiro modelo de relatório com geração permitida pelo código é o anual, que quantifica redondamente o número total de horas de insolação nas fachadas analisadas durante todo o ano. Os parâmetros “Ins. 1” e “Ins. 2” continuam sendo determinados, mas agora não mais para cada dia e sim

para o ano todo. O exemplo apresentado logo abaixo (Figura 4) refere-se a um ambiente na cidade de Florianópolis.

Relatório Anual de Insolação Possível - Impresso por TropFac V 2.0 Beta				15/01/2008 15:10:21
Cidade: Florianópolis-SC Latitude: -27° 35' Longitude: -48° 34' Meridiano Padrão: -45° Horário de Verão: 0				
Ins. 1 = total de insolação possível / duração do dia (ast) (em porcentagem) Ins. 2 = total de insolação possível / dia + noite (24h) (em porcentagem)				
	Horas de Insolação	Ins. 1	Ins. 2	
Fachada AB - Azimute 059° - Orientação NEE	0002568	059	029	
Fachada BC - Azimute 149° - Orientação SSE	0001257	029	014	
Fachada CD - Azimute 209° - Orientação SSW	0001202	027	014	
Fachada AD - Azimute 289° - Orientação NWW	0002408	055	027	

Figura 4 – Relatório Anual de Insolação Possível, para Florianópolis (SC), em português.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados acima, observa-se que este modelo matemático computacional de determinação da insolação em fachadas surge como um novo recurso didático para o ensino de Conforto Ambiental, tanto na Arquitetura e quanto na Engenharia Civil, e possibilita a sua execução como um meio rápido de análise de insolação em fachadas por profissionais e estudantes atuantes na área.

O aprimoramento das funções deste código e testes de validação mais profundos dos resultados obtidos nele continuam a serem feitos, com o intuito de atender, de forma cada vez mais adequada, às necessidades de confiabilidade e praticidade exigidas pela demanda de usuários.

Espera-se que o uso desse código, inserido no programa TropFac, contribua para os projetistas oferecerem à sociedade edificações mais confortáveis e eficientes energeticamente.

6 REFERÊNCIAS

CIE (Commission Internationale de l'Eclairage). **Guide to daylighting of building interiors**. 1990. Editor Nancy C Ruck. Paris, France, 1990.

TREGENZA, Peter. **Daylighting Algorithms**. Sheffield, 1993. School of Architecture Studies, University of Sheffield, England, United Kingdom, 1993.

CABÚS, Ricardo C. **TropFac**. Grilu, Maceió, 2008. Disponível em <www.grilu.ufal.br>.

SPENCER, J W. **Fourier series representation of the position of the sun**. Search 2 (5). 1971.

7 AGRDECIMENTOS

Os autores aproveitam a oportunidade para agradecer ao Grupo de Estudos em Iluminação, GRILU, e à Universidade Federal de Alagoas, UFAL, pelo apoio e amparo à infra-estrutura necessária na composição deste trabalho.