

**CONTAGEM DE HORAS DE BRILHO SOLAR PARA ESTAÇÕES
PRIMAVERA E OUTONO POR MEIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS
DIGITAIS**

**HOURLY AND DAILY SUN BRIGHTNESS HOURS SCANNING COUNTING
FOR EQUINOX HELIOGRAMS**

**COMPUTO DE HORAS DE LUZ SOLAR PARA LAS ESTACIONES DE
PRIMAVERA Y OTOÑO POR MEDIO DE PROCESAMIENTO DE
IMÁGENES**

ALEXANDRE DAL PAI¹

Recebido em setembro de 2009. Aprovado em setembro de 2009.

¹ Físico, Professor Doutor, Departamento de Informática, Faculdade de Tecnologia de Botucatu, Av. José Ítalo Bacchi, S/N, Tel. (14) 3814-3004, Botucatu-SP. E-mail: adalpai@fatecbt.edu.br

**CONTAGEM DE HORAS DE BRILHO SOLAR PARA ESTAÇÕES
PRIMAVERA E OUTONO POR MEIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS
DIGITAIS**

RESUMO

O trabalho tem como objetivo propor um sistema de contagem de horas de brilho solar nas partições horária e diária das estações primavera e outono por meio de técnicas de processamento de imagens digitais. Foram implementadas sub-rotinas de realce e filtros no domínio espacial na linguagem Delphi. Os resultados do teste do aplicativo mostraram boa concordância para as partições horária e diária. Para partição horária, o sistema possibilitou a criação de um banco de dados original não contemplado pelo método manual. A automação do processo visa eliminar a subjetividade na interpretação dos heliogramas, contribuindo para a melhora da qualidade do monitoramento.

PALAVRAS-CHAVE: Razão de Insolação. Monitoramento. Sistema Informático.

HOURLY AND DAILY SUN BRIGHTNESS HOURS SCANNING COUNTING FOR EQUINOX HELIOGRAMS

ABSTRACT

The goal of this work is to propose a hourly and daily sun brightness counting system for equinox heliograms with digital image processing techniques. Spatial domain filters were implemented in Delphi language. The results showed good agreement for hourly and daily basis. For the hourly basis, the software creates a original database. The automated process is designed to eliminate errors of interpretation, increasing the quality of the measure.

KEYWORDS: Sunshine Duration. Monitoring. Information System.

COMPUTO DE HORAS DE LUZ SOLAR PARA LAS ESTACIONES DE PRIMAVERA Y OTOÑO POR MEDIO DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DIGITALES

RESUMEN

El trabajo tiene como objetivo proponer un sistema de cómputo de horas de luz solar en los tiempos de las particiones horaria y diaria de las estaciones primavera y otoño por medio de técnicas de procesamiento de imágenes digitales. Fueron implementadas subrutinas de realce y filtros en el dominio espacial en el lenguaje Delphi. Los resultados del test del aplicativo mostraron buena concordancia para las particiones horaria y diaria. Para partición horaria, el sistema facultó la creación de un banco de datos originales no considerado por el método manual. La automatización del proceso tiene como objetivo eliminar la subjetividad en la interpretación de los heliogramas, contribuyendo para mejorar la calidad de la supervisión.

PALABRAS CLAVE: Razón de insolación. Supervisión. Sistema Informático.

1 INTRODUÇÃO

A medida de horas de brilho solar é uma medida indireta da radiação solar global e uma das mais antigas. Na literatura, há evidências de registros de dados de brilho solar de mais de 80 anos, enquanto que a base de dados de radiação solar global, medida por piranômetros (instrumentos para medição da radiação solar), é relativamente mais recente. Vários são os trabalhos que relacionam brilho solar com radiação global (Udo, 2000; Tadros, 2000; Almorox e Hontoria 2004; Tiba et al, 2005; El-Metwally, 2005; Yorukoglu e Celik, 2006; Chen et al, 2006), radiação direta (Power, 2001), cobertura de nuvens (Pallé e Butler, 2001; Rahim et al, 2004), temperatura (Jain et al, 2003; Wu et al, 2007), superfícies inclinadas (Melfi et al, 2003), séries mensais (Tiba e Fraidenraich, 2004), redes neurais (Jervase et al, 2003; Tymvios et al, 2005) e modelos estocásticos (Jain e Lungu, 2002).

O monitoramento do brilho solar é realizado por meio de um heliógrafo que, ao concentrar os raios solares em um ponto, queima o papel localizado no foco dos raios convergentes. Ao final do dia, esse papel é recolhido e um funcionário habilitado conta o número de horas queimadas no papel. Como a coleta e o processamento das informações contidas nos gráficos são feitos de forma manual, interpretações subjetivas

devido à falta de treinamento ou a rotinas de coletas diferentes por observadores distintos podem induzir a uma sistemática de erros, afetando diretamente a formação de uma base de dados de qualidade.

A qualidade e confiabilidade dos resultados obtidos com uso de bases de dados de qualquer parâmetro ambiental é alcançada por meio da padronização no processo de coleta e armazenagem desses dados. Como há várias estações meteorológicas no Brasil e no mundo, a coleta de dados pode não ser uniforme, ficando a cargo de cada unidade de medição os critérios de interpretação e coleta. Nesse sentido, os resultados produzidos podem ser inconsistentes devido à falta de padronização no processo de coleta.

Portanto, a digitalização das fitas que contêm as horas de brilho solar juntamente com um sistema de interpretação de imagens digitais pode contribuir na padronização do processo de coleta e interpretação dos dados. O uso de filtros e rotinas de qualidade específicas garantirão uniformidade e padronização da medida em todas as estações meteorológicas do Brasil, minimizando erros de leitura, otimizando tempo e evitando prejuízos.

Outro aspecto positivo da implantação de um sistema digital de coleta e interpretação dos gráficos de brilho solar é a formação de bancos de dados nas partições horária e diária. No processo

manual, apenas as informações diárias são colhidas, perdendo-se informações importantes da distribuição de brilho solar ao longo das horas. Nesse sentido, o banco de dados horário poderá recuperar informações da distribuição de brilho solar ao longo do dia, servindo de estudo para perfis de distribuição de nuvens, aerossóis e poluentes. Um banco de dados horário de brilho solar poderá contribuir de forma significativa para melhor caracterização do potencial solar de uma região, além de fornecer subsídios para estudos da evolução do efeito estufa, responsável pelo aquecimento global.

1.1 Imagens digitais

Quanto às imagens, o termo *imagem monocromática*, ou simplesmente *imagem*, refere-se à função bidimensional de intensidade da luz $f(x, y)$, onde x e y denotam as coordenadas espaciais, enquanto o valor de f no ponto (x, y) é proporcional ao brilho (ou *níveis de cinza*) da imagem naquele ponto (Gonzalez e Woods, 2000). A Figura 1 ilustra a conversão dos eixos. Por conveniência, representa-se a função da imagem por meio de um terceiro eixo, representando o brilho. Neste caso a Figura 1 seria representada por regiões de picos em locais com variações de brilho e regiões planas para locais com poucas ou nenhuma variação no brilho.

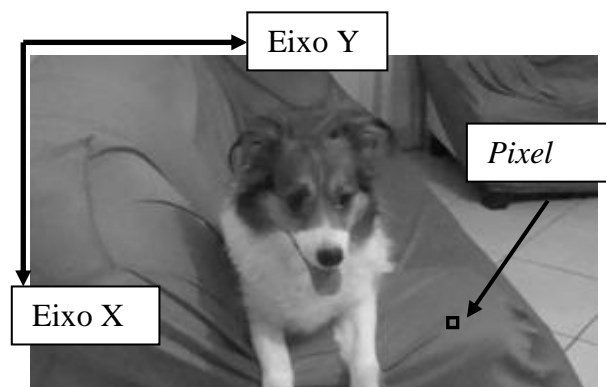


Figura 1. Convenção dos eixos para representação de imagens digitais.

Uma imagem digital é uma imagem $f(x, y)$ discretizada tanto em coordenadas espaciais quanto em brilho e pode ser considerada como sendo uma matriz cujos índices de linha e de coluna identificam um ponto na imagem, e o correspondente valor do elemento da matriz identifica o nível de cinza naquele ponto (Huang, 1965). Os elementos dessa matriz digital são chamados de *elementos da imagem*, *elementos da figura*, “*pixels*” ou “*pels*”, estes dois últimos, abreviações de “*picture elements*” (elementos de figura). A digitalização das coordenadas espaciais (x, y) é denominada *amostragem da imagem* e a digitalização da amplitude é chamada *quantização em níveis de cinza*.

Uma imagem contínua $f(x, y)$ pode ser aproximada por amostras igualmente espaçadas, arranjadas na forma de uma matriz $N \times M$ como mostrado na Equação (1), em que cada elemento é uma quantidade discreta:

$$f(x,y) \approx \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,M-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,M-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \dots & f(N-1,M-1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

O lado direito da Equação (1) representa o que é realmente denominado uma *imagem digital*. Cada elemento da matriz é um *elemento de imagem (pixel)*.

O processamento de imagens digitais abrange uma ampla escala de *hardware*, software e fundamentos teóricos. Segundo Pavlidis (1982), o processamento de imagens digitais envolve procedimentos que são geralmente expressos em forma algorítmica. Assim, a maioria das funções de processamento de imagens pode ser implementada em software. A única razão para *hardware* especializado para

processamento de imagens é a necessidade de velocidade em algumas aplicações ou para vencer algumas limitações fundamentais da computação. Assim, os sistemas de processamento de imagens correntes disponíveis são uma mistura de computadores comercialmente disponíveis e *hardware* especializado para processamento de imagens, com a operação geral sendo orquestrada por um software no computador hospedeiro.

O processo de imagens digitais encontra-se dividido nas etapas de aquisição, pré-processamento, segmentação, descrição, reconhecimento e interpretação. A Figura 2 mostra os passos fundamentais para o processamento de imagens digitais.

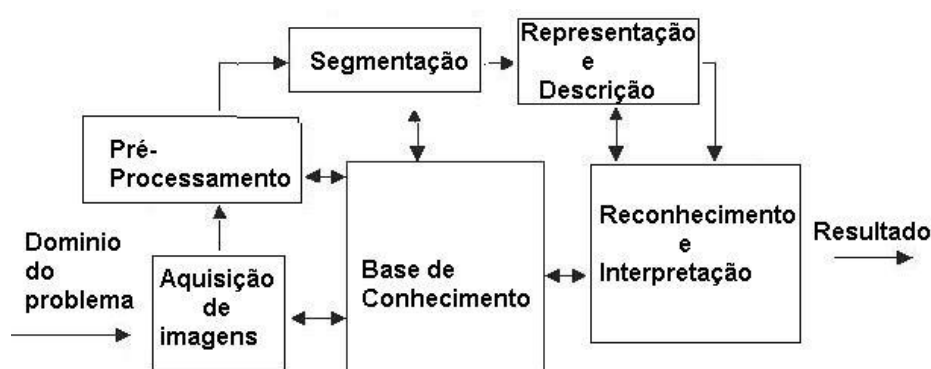


Figura 2. Passos fundamentais em processamento de imagens digitais. Fonte: Gonzalez e Woods (2000).

No processo de aquisição da imagem, é necessário um sensor para imageamento com capacidade de digitalizar o sinal produzido pelo sensor. Caso o sensor de imageamento não se encontre na forma digital, um conversor analógico-digital a

digitaliza. A natureza do sensor e da imagem que ele produz é determinada pela aplicação. A etapa de pré-processamento tem como objetivo melhorar a imagem com técnicas para realce de contraste, remoção de ruído e isolamento de regiões. Na etapa

de segmentação, a imagem é dividida em partes ou objetos constituintes. O resultado é constituído por dados em forma de *pixels*, representados por fronteiras ou regiões. A representação por fronteiras é adequada quando o interesse se concentra nas características de forma externa e a representação por região é adequada quando o interesse se concentra em propriedades internas. Um procedimento de segmentação robusto favorece a solução bem sucedida de um problema de imageamento.

A etapa de descrição (seleção de características) procura extrair características que resultam em alguma informação quantitativa de interesse ou que sejam básicas para discriminação entre classes de objetos. O último estágio envolve reconhecimento e interpretação. Reconhecimento é o processo que atribui rótulo a um objeto, baseado na informação fornecida por seu descritor. A interpretação procura atribuir significado a um conjunto de entidades rotuladas.

O objetivo do projeto foi o desenvolvimento de um sistema informático de gerenciamento, digitalização, filtragem e processamento de dados de horas de brilho solar monitorados por heliógrafos em estações meteorológicas. Foram utilizados heliogramas planos e os dados digitalizados de horas de brilho solar formarão uma base

de dados nas partições de tempo diária e horária, servindo de parâmetro de entrada em diversos estudos de modelagem.

2 METODOLOGIA

2.1 Local e Instrumentação

O Sistema de Gerenciamento e Digitalização de Informações de Horas de Brilho Solar foi desenvolvido na Faculdade de Tecnologia de Botucatu (FATEC). Os dados de brilho solar, juntamente com os cartões queimados referentes às medidas, foram cedidos pela Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP (Botucatu), a qual mantém um banco de dados registrado em formato de papel desde 1971. A estação meteorológica da UNESP está localizada nas coordenadas geográficas 22° 51' S de latitude, 48° 27' O de longitude e 786m de altitude.

Para a digitalização dos heliogramas, foi usada uma impressora multifuncional com scanner da marca Hewlett-Packard, modelo 1316 *all-in-one* (Figura 3). Foi elaborada uma máscara vermelha a qual foi colada na parte interna do scanner de modo que, após a digitalização, a parte queimada do heliograma ficasse evidenciada pela cor vermelha. A Figura 4 mostra um heliógrafo usado na medida das horas de brilho solar. O heliógrafo é uma esfera de vidro que funciona como uma lente convergente. Um

cartão graduado é posicionado no foco dos raios convergidos pela esfera.



Figura 3. Imagem da montagem utilizada na digitalização dos heliogramas.



Figura 4. Heliógrafo para medir horas de brilho solar.

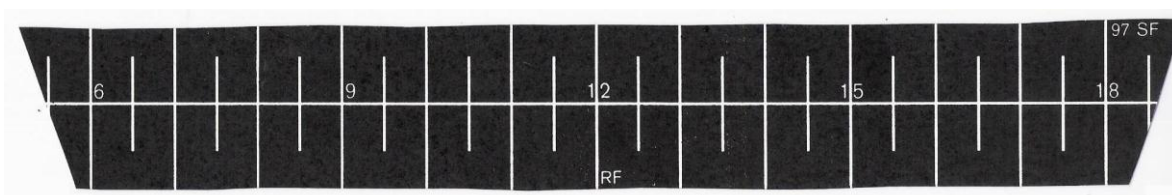


Figura 5. Cartão utilizado no heliógrafo para estações primavera e outono.

O Sistema de Gerenciamento e Digitalização das Horas de Brilho Solar foi implementado na linguagem Delphi.

Com os dados processados e lidos no formato de horas e dias, as informações foram agrupadas num banco de dados

Em dias de céu aberto, os raios queimam o papel e em dias de céu nublado, o papel não é queimado devido à sombra provocada pelas nuvens. A parte queimada do papel descreve uma trajetória retilínea ou curvilínea, dependendo da época do ano, representando o decorrer das horas do dia. Cartões planos ou esféricos justificam-se por valores diferentes de declinação solar e fotoperíodo entre as estações do ano. No trabalho foram utilizados apenas cartões planos. A Figura 5 mostra um heliograma plano referente às estações primavera e outono, época em que a declinação solar apresenta pequena oscilação em torno da linha do Equador.

horário e diário e gravadas no formato.TXT devido a sua facilidade de intercâmbio entre diversos softwares encontrados no mercado (Microcal Origin, Microsoft Excel, dentre outros).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema é composto por módulos escritos separadamente no sentido de oferecer maior flexibilidade à execução das

tarefas. A Figura 6 mostra os módulos que compõem o sistema:

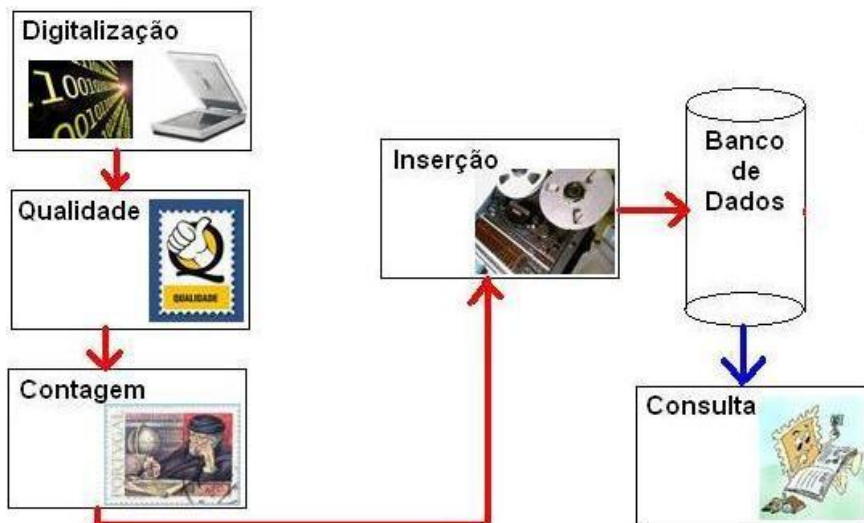


Figura 6. Módulos do Sistema de Gerenciamento e Digitalização das Horas de Brilho Solar.

3.1 Modulo Digitalização

Cada heliograma scaneado representou um dia de medida de brilho solar. As digitalizações foram armazenadas em arquivos nomeados com a respectiva data da medida. Portanto, o formato adotado foi hAAMMDD.bmp, em que a letra h foi inserida para indicar que o arquivo é originário da digitalização de um heliograma, AA indica o ano, MM o mês e

DD o dia. Selecionou-se a extensão de arquivo .bmp por representar uma extensão bem conhecida para armazenamento e compartilhamento de imagens digitais, permitindo o intercâmbio de informações entre diferentes tipos de computadores.

A figura 7 mostra um exemplo de heliograma com seu respectivo nome de arquivo referente ao dia 10 de março de 2008.

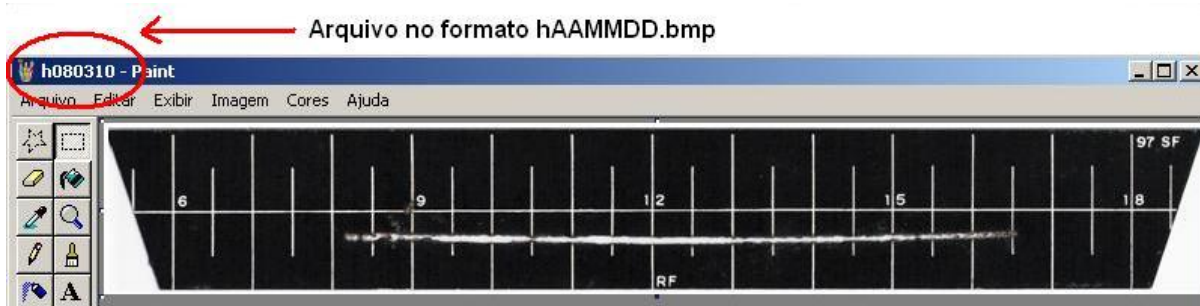


Figura 7. Arquivo com heliograma digitalizado e gravado no formato hAAMMDD.bmp. No exemplo, medida referente ao dia 10 de março de 2008.

O processo de digitalização dos heliogramas é realizado colando-se uma folha vermelha na face interna do scanner. Nesse sentido, a luz do aparelho atravessa o heliograma a partir da parte queimada e encontra com um fundo vermelho. Logo, após a digitalização, a parte queimada é representada por uma faixa vermelha no heliograma. Esse procedimento foi adotado

para que se separasse a parte queimada do restante do papel. Caso não se adotasse esse procedimento, a parte queimada estaria na cor branca e se confundiria com as divisões de hora do heliograma que também são da cor branca. A Figura 8 mostra a imagem de um heliograma digitalizado com a parte queimada evidenciada pela cor vermelha.

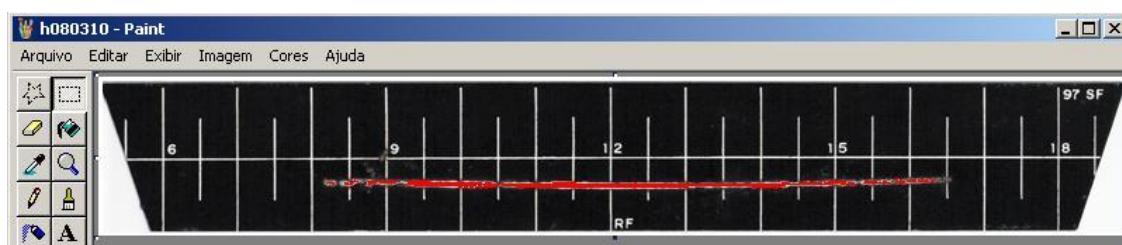


Figura 8. Parte queimada do heliograma destacada em vermelho.

O software foi adaptado para interpretação de imagens scaneadas com dimensões diferentes. Nesse caso, a propriedade *AutoSize* do Delphi foi responsável pela atualização de tamanho das imagens, pois todo o sistema trabalha de forma relativizada.

3.2 Módulo de Controle de Qualidade

Os heliogramas são compostos por um fundo preto e linhas brancas representando as horas (Figura 5). Portanto, sabendo-se a relação entre *pixels* pretos e brancos é possível determinar, com boa aproximação, se a figura em questão é um heliograma ou não. Nesse sentido, no software foi implementada uma rotina para cálculo do histograma dos níveis de cinza, o que permitiu classificar a imagem como

sendo um heliograma se a mesma satisfizesse a relação entre *pixels* pretos e

brancos. A figura 9 mostra o histograma de níveis de cinza para heliogramas planos.

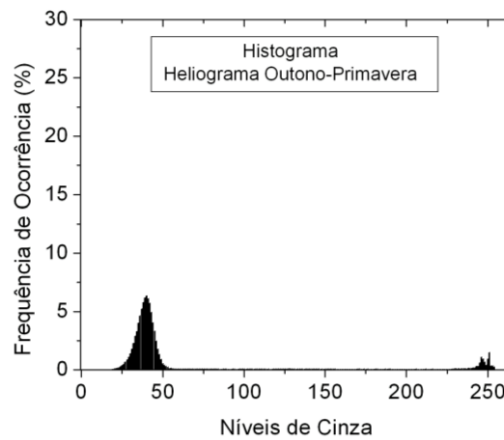


Figura 9. Histograma da quantidade de níveis de cinza para heliogramas planos.

Outro aspecto discutido foi a qualidade dos papéis fornecidos pela gráfica. Alguns exemplares não foram adequados à padronização, apresentando na imagem aspectos relacionados a ruído e/ou

granularidade. A Figura 10 apresenta uma amostra de heliograma antes de sua utilização, aparentando falhas e mudança nas características iniciais.



Figura 10. Amostra de heliograma com presença de ruído e/ou granularidade.

Na Figura 10, é possível observar em destaque uma tênue faixa branca, resultado da falha de impressão dos cartões pela gráfica. Portanto, aplicou-se técnicas de realce de imagens para suavizar as

descontinuidades apresentadas na impressão. Na Figura 11, é apresentado o mesmo heliograma da Figura 10, porém modificado por determinados filtros para suavização dos detalhes da figura.

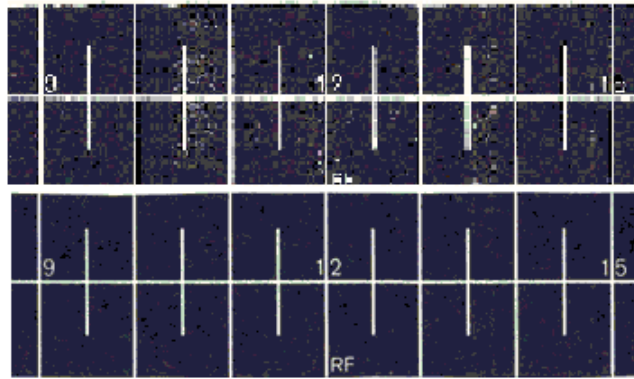


Figura 11. Suavização de imagens por meio da aplicação de filtros especiais.

As imagens da Figura 11 representam a imagem original e a imagem realçada/suavizada pelo filtro passa-baixa, respectivamente. Este filtro é considerado um filtro espacial linear por operar baseado na vizinhança de *pixels* com rótulos positivos e tem como função suavizar regiões de alto contraste, aproximando os valores de nível de cinza dos *pixels* da região de interesse e assim criando o efeito de borramento, tornando a região com níveis de cinza mais uniforme. A Figura 12 mostra o filtro usado na geração das imagens realçadas da Figura 11. Quanto maior a dimensão do filtro, maior o borramento da imagem.

$$\frac{1}{25} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 12. Filtro passa baixa 5x5 utilizado na suavização das imagens dos heliogramas.

3.3 Módulo Contagem

O Módulo Contagem realiza a contagem das horas de brilho solar devido à queima dos heliogramas. No heliograma Outono/Primavera, a queima do papel, quando houver, descreverá uma trajetória retilínea ao longo das horas. Nesse caso, é necessário o conhecimento da posição das horas no papel para a associação correta da queima com a hora de interesse.

A partir da largura da imagem, o software divide a largura por 12 horas, quantidade de horas do heliograma, para se ter uma estimativa da quantidade de *pixels* que formam 1 hora. Então, para a identificação das horas ao longo do papel, o software adota a linha 5 para realização da varredura por valores de *pixels* da cor branca. Como o papel é escuro, as linhas verticais brancas representam a divisão da hora. Portanto, ao iniciar a varredura, a cada ocorrência de *pixels* da cor branca, o software identifica uma linha vertical que

representa a hora e armazena a posição em uma variável. A Figura 13 mostra o

reconhecimento da hora nos heliogramas planos.

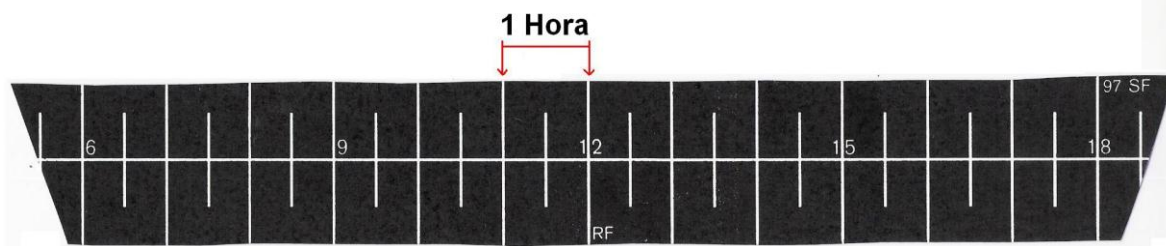


Figura 13. Heliograma dividido por barras brancas verticais curtas e longas. Duas barras longas consecutivas representam uma hora.

Com o tamanho do intervalo de hora definido, o software cria um vetor do tamanho do intervalo de hora com valores zero, indicando que nesse intervalo não há ocorrências de brilho solar (pixels em vermelho). Em seguida, efetua a comparação entre valores de *pixels* dentro do intervalo horário na busca por ocorrências de *pixels* diferentes da cor preta. No caso, descontando os *pixels* da cor branca que representam as divisões da hora, os *pixels* diferentes da cor preta são os *pixels* da cor vermelha, representando a queima do papel. Ao encontrar uma ocorrência de *pixel* diferente da cor branca e preta, o valor 1 é atribuído àquela posição no vetor criado, identificando que naquela posição provavelmente é uma ocorrência de queima de papel. Esse processo recebe o nome de rotulação. Terminada a rotulação, o software pesquisa no vetor a ocorrência

de valores 1's e, em caso positivo, um valor é adicionado a uma variável contadora. No final do intervalo horário, a variável contadora tem a informação sobre a quantidade de valores 1's do vetor. Sabendo da relação entre minutos e *pixels*, a quantidade de *pixels* encontrados é transformada em minutos. No final de todas as horas, os minutos de cada hora são somados e tem-se então o valor diário de horas de brilho solar. Os dados então são gravados em arquivos de extensão .TXT. A figura 14 mostra os resultados da aplicação do Módulo Contagem para um determinado heliograma.

Ao lado direito da Figura 14, observam-se valores calculados da hora de brilho solar horário e diário. Os valores ainda se encontram em décimos de horas. A somatória dos valores horários determina o valor diário.



Figura 14. Módulo Contagem. Identificação de intervalos horários e contabilização de *pixels* (minutos).

3.4 Exemplo de Aplicação

O software foi submetido a uma bateria de testes para verificação de comportamento de variáveis e possíveis falhas e necessidades de melhoramentos e refinamentos. Foram escolhidos alguns dias de 2008 para inspeção dos resultados produzidos. Os heliogramas escolhidos são do período Outono/Primavera e refletem situações de cobertura de céu diferentes,

desde completamente nublado até céu aberto. A Figura 15 mostra os heliogramas preparados para processamento pelo software.

As Tabelas 1 e 2 mostram os valores de brilho solar para as partições horária e diária, respectivamente, após o processamento pelo Sistema de Gerenciamento e Digitalização de Horas de Brilho Solar.

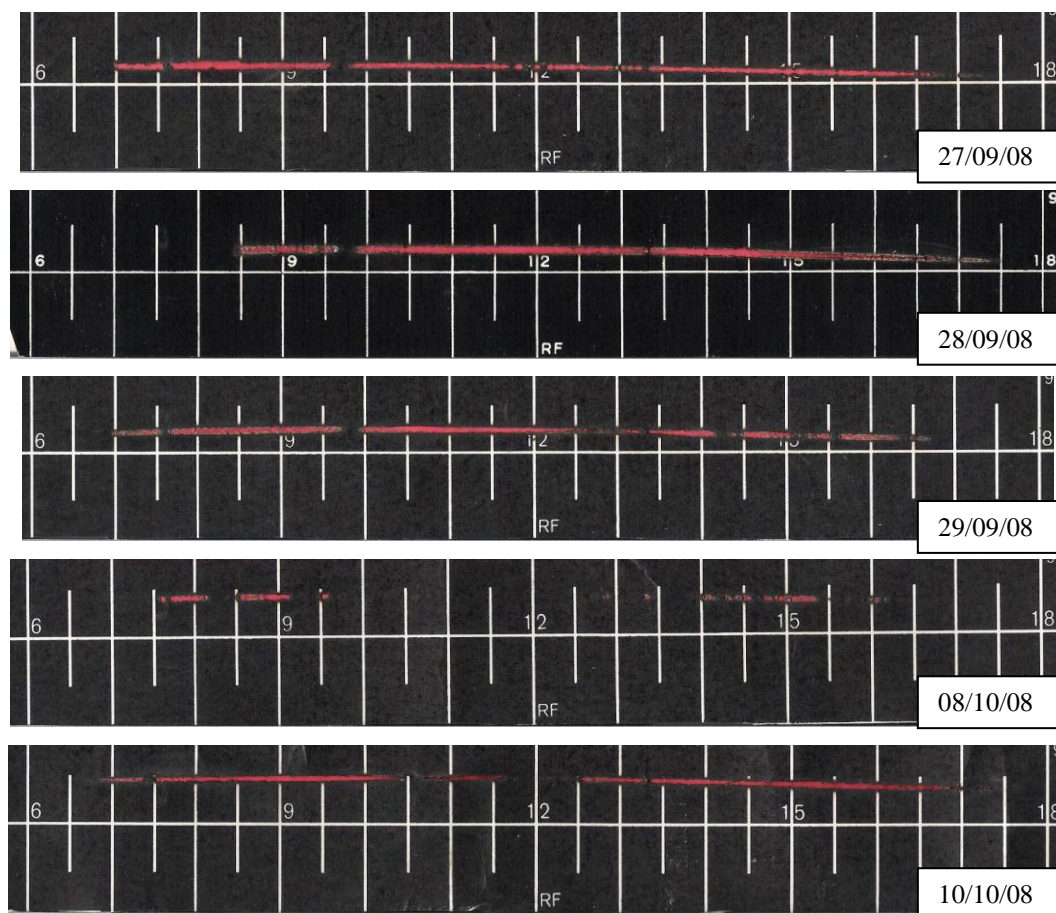


Figura 15. Heliogramas Outono/Primavera selecionados para uma aplicação.

Os valores de brilho solar da partição diária da Tabela 2 são o somatório dos respectivos valores de brilho solar da partição horária da Tabela 1. Os valores das Tabelas 1 e 2 estão representados na forma de fração de hora.

As áreas em vermelho nos heliogramas da Figura 15 representam as partes completamente queimadas e foram contabilizadas com sucesso. No entanto, as partes parcialmente queimadas são visíveis apenas na Figura 15 e não foram contabilizadas pelo sistema. Visualmente é possível perceber que o papel foi queimado, porém o sol não teve força suficiente para

furá-lo. Nessa situação, a parte parcialmente queimada aparece com um tom diferenciado de cinza escuro e, portanto, não sendo da cor vermelha, não é contabilizado, o que gera assim subestimativas na medida. Essa situação pode ser observada para o dia 28/09/08 das 17 às 18 horas, dia 29/09/08 das 12 às 13 horas e dia 10/10/08 das 10 às 13 horas.

Tabela 1. Valores de brilho solar para a partição horária

HORA	DIA				
	27/set	28/set	29/set	8/out	10/out
6a7	0	0	0	0	0
7a8	0,891	0	0,667	0,333	0,818
8a9	1	0,489	1	0,578	1
9a10	0,739	0,630	0,717	0,200	1
10a11	1	1	1	0	0,311
11a12	0,783	1	1	0	0,239
12a13	0,848	1	0,478	0	0,378
13a14	0,870	0,978	0,739	0,065	0,913
14a15	1	1	0,660	0,348	0,978
15a16	1	1	0,543	0,356	1
16a17	0,609	0,222	0,283	0,022	0,733
17a18	0	0	0	0	0

Tabela 2. Valores de brilho solar para a partição diária.

n	DIA				
	27/set	28/set	29/set	8/out	10/out
n	8,729	7,324	7,083	1,894	7,349

4 CONCLUSÃO

O processo de contagem de horas de brilho solar baseado em técnicas de processamento de imagens digitais apresentou bons resultados, permitindo a contabilização das horas de brilho solar nas partições de tempo horária e diária. Na partição horária, a contagem possibilitou a composição de uma base de dados inédita, visto que as estações meteorológicas não medem de rotina nesta partição de tempo. Estudos futuros deverão ser realizados para contagem de horas de brilho solar em heliogramas curvilíneos (Inverno e Verão) e

para comparação da eficiência entre os métodos automatizado e manual.

5 REFERÊNCIAS

- ALMOROX, J.; HONTORIA, C. Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. *Energy Conversion and Management*, v.45, 1529-1535, 2004.
- CHEN, R.; KANG, E.; JI, X.; YANG, J.; ZHANG, Z. Trends of the global radiation and sunshine hours in 1961 – 1998 and their relationships in China. *Energy Conversion and Management*, v.47, 2859-2866, 2006.
- EL-METWALLY, M. Sunshine and global solar radiation estimation at different sites in Egypt. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, v.67, 1331-1342, 2005.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. *Processamento de Imagens Digitais*. Tradução Roberto Marcondes César Junior, Luciano da Fontoura Costa. São Paulo: Edgard Blücher, 2000. 509p.
- HUANG, T. S. PCM picture transmission. *IEEE Spectrum*, vol 2, n.12, p57-63, 1965.
- JAIN, P. K.; LUNGU, E. M. Stochastic models for sunshine duration and solar irradiation. *Renewable Energy*, v.27, 197-209, 2002.
- JAIN, P. K.; LUNGU, E. M.; PRAKASH, J. Bivariate models: relationships between solar irradiation and either sunshine duration or extremum temperatures. *Renewable Energy*, v.28, 1211-1223, 2003.
- JERVASE, J. A.; AL-LAWATI, A.; DORVLO, A. S. S. Contour maps for sunshine ratio for Oman using radial basis function generated data. *Renewable Energy*, v.28, 487-497, 2003.

- MELFI, A.; BOUROUBI, M. Y.; ADANE, A. Generation of hourly solar radiation for inclined surfaces using monthly mean sunshine duration in Algeria. *Energy Conversion and Management*, v.44, 3125-3141, 2003.
- PALLÉ, E.; BUTLER, C. J. Comparison of sunshine records and synoptic cloud observations: a case study for Ireland. *Physics and Chemistry of the Earth*, v.27, 405-414, 2002.
- PAVLIDIS, T. Algorithms for graphics and image processing. Computer Science Press, Rochville, Md., 1982.
- POWER, H. C. Estimating clear-sky beam irradiation from sunshine duration. *Solar Energy*, n.4, v.71, p.217-224, 2001.
- RAHIM, R.; BAHARUDDIN; MULYADI, B. R. Classification of daylight and radiation data into three sky conditions by cloud ratio and sunshine duration. *Energy and Buildings*, v.36, 660-666, 2004.
- TADROS, M. T. Y. Uses of sunshine duration to estimate the global solar radiation over eight meteorological stations in Egypt. *Renewable Energy*, v.21, 231-246, 2000.
- TIBA, C.; AGUIAR, R.; FRAIDENRAICH, N. Analysis of new relationship between monthly global irradiation and sunshine hours from a database of Brazil. *Renewable Energy*, v.30, 957-966, 2005.
- TIBA, C.; FRAIDENRAICH, N. Analysis of monthly time series of radiation and sunshine hours in tropical climates. *Renewable Energy*, v.29, 1147-1160, 2004.
- TYMVIOS, F. S.; JACOVIDES, C. P.; MICHAELIDES, S. C.; SCOUTELI, C. Comparative study of Angstrom's and artificial neural networks' methodologies in estimating global solar radiation. *Solar Energy*, v.78, p.752-762, 2005.
- UDO, S. O. Sky conditions at Ilorin as characterized by clearness index and relative sunshine. *Solar Energy*, n.1, v.69, p.45-53, 2000.
- WU, G.; LIU, Y; WANG T. Methods and strategy for modeling daily global solar radiation with measured meteorological data – A case study in Nanchang station, China. *Energy Conversion and Management*, v.48, 2447-2452, 2007.
- YORUKOGLU, M.; CELIK, A. N. A critical review on the estimation of daily global solar radiation from sunshine duration. *Energy Conversion and Management*, v.47, 2441-2450, 2006.