



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-12975-PRE/8252

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS NUVENS SOBRE A RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

Anderson José Pereira

Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE), orientado pelo
Dr. Marcelo de Paula Corrêa

INPE
São José dos Campos
2005

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que me ajudaram no desenvolvimento deste trabalho de iniciação científica.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro no período de um ano.

A Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais - Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – DSA-CPTEC/INPE pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

Aos pesquisadores da DSA-CPTEC/INPE pelo conhecimento compartilhado.

Ao orientador Dr. Marcelo de Paula Corrêa pelo conhecimento passado, e pela orientação e apoio na realização deste trabalho de iniciação científica.

A meus pais por sempre acreditarem na importância do estudo.

.

RESUMO

Este estudo busca aprimorar o conhecimento sobre as influências que as nuvens exercem sobre a radiação ultravioleta (R-UV). Para tanto, foram realizadas análises dos valores dos índices ultravioletas (IUV) calculados para cinco diferentes localidades representativas de cada região do país: Fortaleza (NE), Manaus (N), São Paulo (SE), Brasília (C-O) e Porto Alegre (S). Os valores de IUV foram avaliados por modelos computacionais e informações sobre conteúdo de ozônio e classificação de nebulosidade disponibilizados pela DSA/CPTEC-INPE (Divisão de Satélite e Sistemas Ambientais/ Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/ Instituto Nacional e Pesquisas Espaciais). Para o período estudado, verão/outono 2005, os valores de IUV para condições de céu claro (IUVo) mostram-se relativamente altos em todo o país. Sendo que, as cidades mais ao norte apresentam valores médios de IUVo mais altos. Em média, em dias de céu claro, em Fortaleza foram observados valores de IUVo em torno de 12 e 13, enquanto em Porto Alegre valores entre 9 e 10. Enquanto que as outras localidades apresentaram valores intermediários. Contudo, em diversas ocasiões a presença de nebulosidade age como um escudo, atenuando os valores do IUV. Em dias com presença de nuvens Fortaleza apresentou valores médios mínimos e máximos de IUV entre 8 e 10 e Porto Alegre entre 6 e 8 respectivamente. No entanto, valores mais baixos também foram observados em todas as localidades do país. Inclusive, os resultados mostram que a relação entre presença de nuvens e céu claro pode fazer com que em um mesmo momento, níveis mais altos de R-UV sejam observados nas regiões mais ao sul do país. Os resultados deste trabalho apontam para um regime diferenciado dos fluxos de R-UV no verão e início do outono em diferentes localidades do país.

A STUDY OF THE CLOUDS INFLUENCE ON ULTRAVIOLET RADIATION

ABSTRACT

This study aims to improve the knowledge about the influence of the clouds on ultraviolet radiation. Therefore, UV index calculations were performed to five cities in sparsed points of Brazilian territory: Fortaleza (Northeast region), Manaus (North), São Paulo (Southeast), Brasília (Central) e Porto Alegre (South region). UV and cloud classification models available in DSA/CPTEC-INPE (Satellite and Environmental Systems Division/Weather Forecast and Climate Studies Center/National Institute of Space Research) were used in this analysis. The calculations were performed for the 2005 summer/autumn season. The results show clear-sky UV index (UVI_o) relatively high in all regions of the country, but northern cities show the highest values. In Fortaleza, mean UVI_o is close than 12-13 and in Porto Alegre between 9 and 10. Intermediary values were observed to the other cities. Cloudy-sky represents a shield for UV rays and Cloudy-ski UV index (UVI) shows large variations in all regions. Cumulonimbus episodes provoke intense UV attenuation, while cirrus clouds are almost transparent.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	pág. 06
LISTA DE TABELAS.....	pág. 08
ABREVIATURAS.....	pág. 09
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	pág.11
1.1 Esboço Geral	
CAPÍTULO 2 – MATERIAL E MÉTODOS.....	pág. 13
CAPÍTULO 3 – RESULTADOS.....	pág. 14
3.1 O índice ultravioleta sob céu claro (IUV ₀)	
3.1.1 O IUV em condições de nebulosidade	
3.1.1.1 Classificação de nebulosidade	
3.1.1.2 Análise do IUV sob condições de nebulosidade	
CAPÍTULO 4 – CONCLUSÕES.....	pág.24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	pág.26

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – IUVo para o período 20/01/2005 à 20/02/2005.....	pág.15
FIGURA 2 – IUVo para o período de 25/02/2005 à 25/03/2005.....	pág.15
FIGURA 3 – IUVo para o período de 26/03/2005 à 25/04/2005.....	pág.16
FIGURA 4 – Tipos de nuvens presentes o período de 20/01/2005 à 2/02/2005.....	pág.17
FIGURA 5 – Tipos de nuvens presentes o período de 25/02/2005 à 25/03/2005....	pág.18
FIGURA 6 – Tipos de nuvens presentes o período de 26/03/2005 à 25/04/2005....	pág.19
FIGURA 7 – IUV com nuvens no período de 20/01/2005 à 20/02/2005.....	pág.20
FIGURA 8 – IUV com nuvens no período de 25/02/2005 à 25/03/2005.....	pág.21
FIGURA 9 – IUV com nuvens no período de 26/03/2005 à 25/04/2005.....	pág.21
FIGURA 10 – Média e desvio padrão do IUVo.....	pág.22
FIGURA 11 – Média e desvio padrão do IUVo às 14h15 UTC.....	pág.23
FIGURA 12 – Média e desvio padrão do IUVo às 14h45 UTC.....	pág.24

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Fator de atenuação para nuvens.....	pág.19
--	--------

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BR – Brasília

cb – cumulonimbus

ci – cirrus

cu – cumulus

FT – Fortaleza

IUV – Índice Ultravioleta sob condições de nebulosidade

IUVo – Índice Ultravioleta sob condições de céu claro

MN – Manaus

PA – Porto Alegre

R-UV – Radiação Ultravioleta

SP – São Paulo

spf – superfície

st – stratus

UTC – Universal Time Coordinate

UVA – Radiação Ultravioleta A (320 – 400 nm)

UVB – Radiação Ultravioleta A (280 – 320 nm)

UVC – Radiação Ultravioleta A (280 – 320 nm)

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A R-UV corresponde a uma pequena faixa do espectro eletromagnético compreendida entre 100 e 400 nm, a qual é comumente dividida em três sub-regiões (UVA, UVB e UVC). Entre 100 e 280 nm está o UVC que é completamente absorvido pelo O₂ e o O₃ estratosférico e com isso não atinge a superfície terrestre. Na faixa compreendida entre 280 e 320nm está o UVB que sofre forte absorção pelo O₃ estratosférico e, em grandes doses, pode ser prejudicial à saúde humana, causando queimaduras e em longo prazo câncer de pele. A radiação UVA está compreendida entre 320 e 400nm sofre pouca absorção pelo O₃ estratosférico e é necessária para sintetizar a vitamina D no organismo. Contudo o excesso de exposição a esse tipo de radiação também pode causar queimaduras e envelhecimento precoce. Por este motivo o estudo da R-UV é de grande importância à saúde humana (Corrêa, 2003).

O ozônio é o principal absorvedor da R-UV. A distribuição vertical de ozônio é praticamente constante na troposfera e aumenta com a altura na estratosfera, até uma região de concentração máxima que depende da latitude e estação do ano. Em termos gerais, entre 85 a 90% do conteúdo total de ozônio encontra-se acima da tropopausa. Nos trópicos, o máximo de ozônio é geralmente observado durante a primavera, entre 25 a 27 km de altitude, com valores de pressão parcial de 140 nb. Nas regiões polares esse máximo atinge cerca de 220 nb e localiza-se em torno de 18 km de altitude (London, 1985).

Os aerossóis e nuvens também têm um papel importante na atenuação deste tipo de radiação. Os níveis de R-UV são mais elevados em condições de céu sem nuvens (céu claro). Isto porque quando o sol está completamente encoberto, as nuvens reduzem a componente direta (na direção do sol) e intensificam a componente difusa (proveniente de todas as direções, exceto aquela do sol). A radiação global (direta + difusa) geralmente diminui, pois a atenuação de radiação direta é mais eficiente que a produção de radiação difusa. Neste trabalho, as nuvens foram representadas por cinco tipos básicos: cirrus (ci), stratus (st), cumulus (cu), cumulonimbus (cb) e superfície (spf). Nuvens do tipo cirrus são caracterizadas por filamentos brancos delicados espalhados pelos ventos altos e estão localizadas entre 5

km e 13 km. A tipo stratus é uma camada uniforme de nuvens acinzentadas que freqüentemente cobrem todo o céu, produzem precipitações leves e localizam-se entre 2 km e 3 km. Os cumulus são nuvens amontoadas e raramente produzem precipitação, se formam verticalmente e por isso não há uma faixa de altura para sua localização. Os cumulonimbus são grandes nuvens escuras e densas, podem produzir todas as formas de precipitação, incluindo grandes gotículas de chuva, neve e às vezes granizo, que caem em pancadas fortes. Assim como os cumulus, as cumulonimbus se formam verticalmente. Por fim a superfície (spf) indica o caso em que o céu está claro (Lutgens e Tarbuck, 1989).

A divulgação dos níveis de R-UV à população é feita de maneira simplificada para uma melhor compreensão. Para tanto, utiliza-se o índice ultravioleta (IUV), uma escala de intensidades da R-UV incidente, ponderada por um fator que representa os efeitos da radiação sobre a pele humana. O IUV é apresentado como um número inteiro, cuja unidade se refere a 25 mW/m^2 (isto é, $1 \text{ IUV} = 25 \text{ mW/m}^2$). De acordo com recomendações da Organização Mundial da Saúde, esses valores são agrupados em categorias de intensidades (baixo, médio, alto, muito alto e extremo). Alguns fatores contribuem para que este índice varie, tais como: estação do ano, hora do dia, latitude, altitude e cobertura de nuvens. As maiores intensidades de R-UV comumente ocorrem no verão e em horários próximos ao meio-dia, quando a incidência vertical em relação à superfície da Terra implica numa menor quantidade de atmosfera a ser atravessada pela radiação solar. (WHO, 2002).

O presente trabalho tem como objetivo analisar o comportamento da R-UV e a influência exercida pelas nuvens em diferentes localidades do País (São Paulo-SP, Fortaleza-CE, Porto Alegre-RS, Manaus-AM e Brasília-DF), utilizando, dados de satélites e modelos computacionais desenvolvidos na DSA/CPTEC-INPE.

1.1 Esboço Geral

Este trabalho foi dividido em mais três capítulos, descritos a seguir:

- *CAPÍTULO 2 – MATERIAL E MÉTODOS*: Neste capítulo são abordados os códigos computacionais e as técnicas utilizadas nos cálculos de IUV e na classificação da nebulosidade;

- *CAPÍTULO 3 - RESULTADOS*: Neste capítulo se faz uma discussão sobre os resultados obtidos.
- *CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES*: Este último capítulo apresenta um balanço geral e as perspectivas para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foram avaliados os níveis de R-UV sob condições de céu claro e sob cobertura de nuvens obtidos a partir de modelos teóricos desenvolvidos na DSA/CPTEC-INPE. Tais modelos incluem um código computacional para avaliações do IUV sob diferentes condições atmosféricas e outro algoritmo desenvolvido para classificação e quantificação dos tipos nebulosidades. Para fazer a análise do IUV foi utilizado o código computacional 2-SUM (Two-Stream Ultraviolet Model) o qual se baseia no método dois-fluxos para efetuar avaliações de irradiâncias espectrais e integradas (Corrêa, 2004). Este modelo é alimentado com informações sobre conteúdo de ozônio, perfis teóricos da atmosfera e dados geográficos e temporais. Além disso, a resposta da pele humana à R-UV é representada pelo espectro de ação eritêmica (Mc Kinlay e Diffey, 1987). O IUV é determinado a partir do produto de convolução deste espectro de ação e a irradiância UV que atinge a superfície terrestre. No caso da classificação de nuvens foi utilizado um modelo estatístico computacional que se baseia em imagens do satélite geoestacionário (GOES-12). Grosso modo, este modelo utiliza variáveis radiométricas e texturais com o critério de menor distância euclidiana para definir padrões de nebulosidade. Isto é, informações sobre temperatura de brilho e textura dos canais 4 e 5 (Bottino e Ceballos, 2003).

Nos estudos apresentados neste trabalho foram utilizados dados coletados entre janeiro e abril de 2005 em horários próximos ao meio-dia solar, quando a intensidade atinge os valores mais elevados. As localidades foram escolhidas com a intenção de se obter uma cobertura abrangente do território nacional. Para a região Sul: Porto Alegre, Sudeste: São Paulo, Centro-Oeste: Brasília, Nordeste: Fortaleza e Norte: Manaus. Essas cidades foram escolhidas devido às suas posições geográficas e por terem importância sócio-econômica

relevante. A cidade de Porto Alegre é a mais densamente povoada da Região Sul e abriga uma das maiores populações de cor branca do país, mais susceptíveis aos efeitos da R-UV. São Paulo é o maior pólo industrial e populacional do país, possuindo um grande número de trabalhadores que vivem do comércio informal e que trabalham constantemente expostos ao sol. Brasília, a capital do país e sua localidade central. Fortaleza é a cidade litorânea mais próxima da Linha do Equador e muito visitada por turistas. Por fim, Manaus a cidade da Região Norte de maior importância, em virtude de seu parque industrial e sua concentração populacional.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS

A apresentação dos resultados obtidos está dividida em duas etapas: a primeira é voltada para a análise do IUVo sob condições de céu de claro, e a segunda para a análise dos efeitos da nebulosidade. Para melhor compreensão o período de estudo foi dividido em três períodos: [(1º) 21/01/05 - 20/02/05, (2º) 25/02/05 – 25/03/05 e (3º) 26/03/05 – 25/04/05] e foram utilizados dados relativos aos horários de 14h15 e 14h45 (UTC) que correspondem ao meio-dia local. O termo IUVo representa o índice calculado para céu claro, enquanto que IUV representa a intensidade da R-UV sob a presença de nuvens.

3.1. O índice ultravioleta sob céu claro (IUVo)

A FIGURA 1 apresenta os níveis de IUVo para o período compreendido entre 20/01/05 a 20/02/05. Pode-se perceber que os valores não sofrem variação significativa durante o período em questão, pois nesta época há pouca variação do ângulo solar e do conteúdo de ozônio. Deve ser ressaltado que a localidade de Manaus apresenta valores inferiores às demais localidades por apresentar, devido ao horário de verão, uma hora de atraso. A região de Fortaleza apresenta os resultados mais elevados atingindo valores em torno de 12,0 a 13,5. As cidades de São Paulo e Porto Alegre apresentaram valores de IUVo em torno de 10,0 a 11,5 e 10,0 a 11,0 respectivamente correspondendo a valores de mínimo e máximo. A cidade de Brasília teve valores em torno de 10,5 a 12,0 para o IUVo.

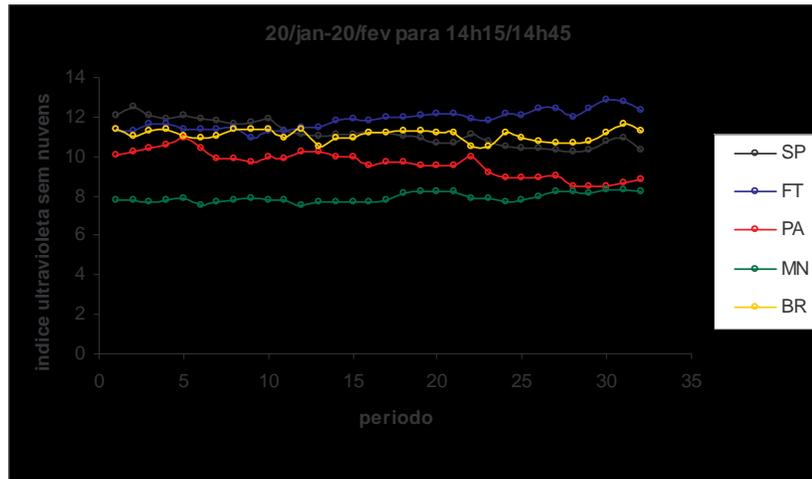


FIGURA 1 – IUVo para o período 20/01/2005 à 20/02/2005

A FIGURA 2 apresenta os níveis de IUUV no período de 25/02/05 à 25/03/05. Neste período, os valores relativos à Manaus se referem ao meio-dia local devido ao fim do horário de verão, apresentando valores entre 12,0 a 12,5. De maneira geral os valores de IUVo de todas localidades apresentam pouca variação.

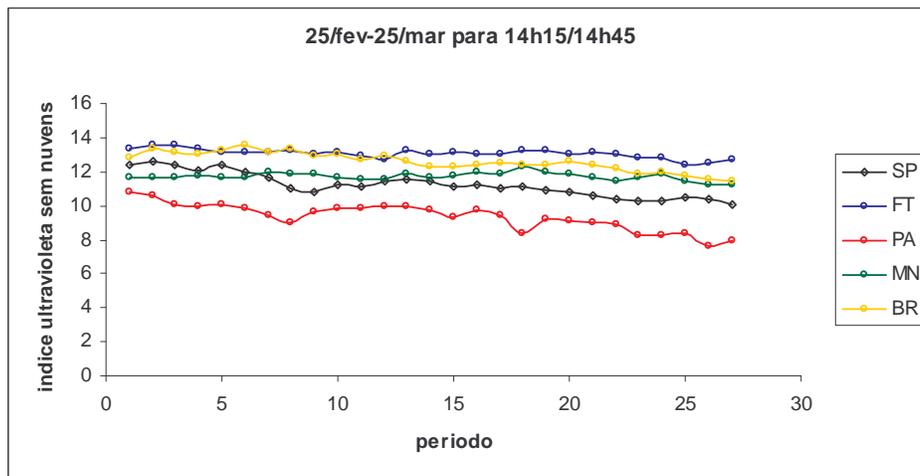


FIGURA 2 – IUVo para o período de 25/02/2005 à 25/03/2005

O último período, 26/03/05 à 25/04/05, é apresentado na FIGURA 3. Nota-se claramente uma diminuição nos valores IUVo para todas as localidades. Esta diminuição está associada a mudança de estação, com o fim do verão e início do outono. A diminuição da intensidade da radiação solar é resultado da posição angular do sol ao meio-dia solar. São Paulo

apresentou valores de IUVo entre 8,0 e 10,0, ao invés dos 10,5 e 12,0 mostrados anteriormente. A cidade de Manaus teve valores de IUVo em torno de 11,5 e 12,0 superior a de Brasília 10,5 e 11,5. Como era de se esperar os maiores níveis de IUVo se apresentam na localidade de Fortaleza e os menores em Porto Alegre. Além disso, deve ser destacada que a variação marcada pela mudança de estação é mais intensa nas localidades mais distantes do Equador.

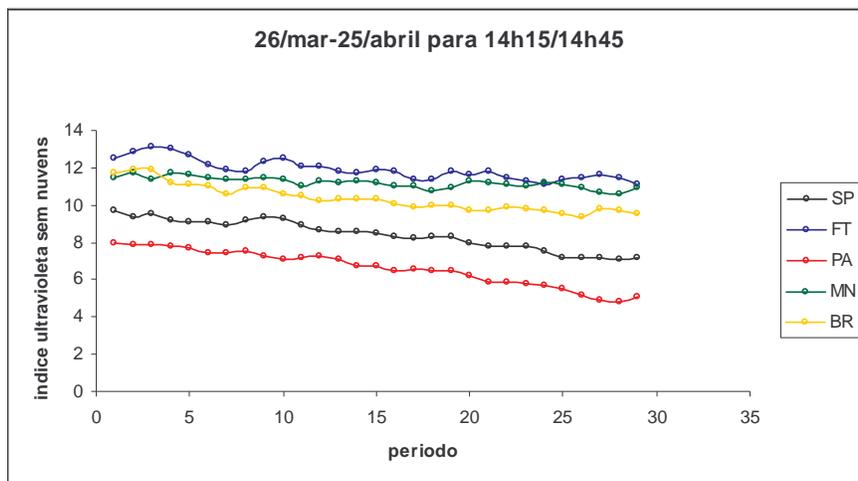


FIGURA 3 – IUVo para o período de 26/03/2005 à 25/04/2005

Os resultados apresentados destacam que durante os meses de verão e início de outono os valores de IUVo são considerados muito altos ou extremos, pela OMS, para todo território brasileiro. Por este motivo, a população de todo país, e não só da região norte ou nordeste, devem tomar precauções, como o uso de protetores solares, óculos de sol e chapéus, e evitar a exposição excessiva ao sol, principalmente nos horários próximos ao meio-dia.

3.1.1 O IUUV em condições de nebulosidade

3.1.1.1 Classificação da nebulosidade

Primeiramente, foi realizado um levantamento das condições e do tipo de nebulosidade nas áreas de estudo. As FIGURAS 4, 5 e 6 representam, respectivamente, os dados deste levantamento em três períodos: (1) 21/01/05 - 20/02/05; (2) 25/02/05 – 25/03/05; e (3) 26/03/05 – 25/04/05.

No primeiro período, FIGURA 4, foi observado em São Paulo 13 dias de céu claro, ou seja, neste intervalo de tempo foi predominante a ausência de nebulosidade. Em um número menor de dias foram observadas nuvens do tipo cumulus e cirrus. Apenas em dois dias foram presentes nuvens do tipo cumulonimbus e em três dias do tipo de stratus. Em Fortaleza os tipos de nebulosidades mais presentes foram a do tipo cumulus e cumulonimbus. Somando-se, ambas foram presentes em mais de 50% dos dias. Em Porto Alegre, durante 14 dias, foi observado céu claro. Nebulosidades do tipo cirrus e cumulus foram expressivas na região, correspondendo juntas a 11 dias. Nuvens do tipo cumulonimbus não foram observadas. Manaus teve poucos dias de céu claro. A presença de nuvens dos tipos cumulus e stratus foi predominante neste período somando juntas 14 dias. Em Brasília a quantidade de dias com nuvens do tipo cumulus foi de sete dias e a do tipo stratus dois, que correspondem a maior e a menor frequência, respectivamente.

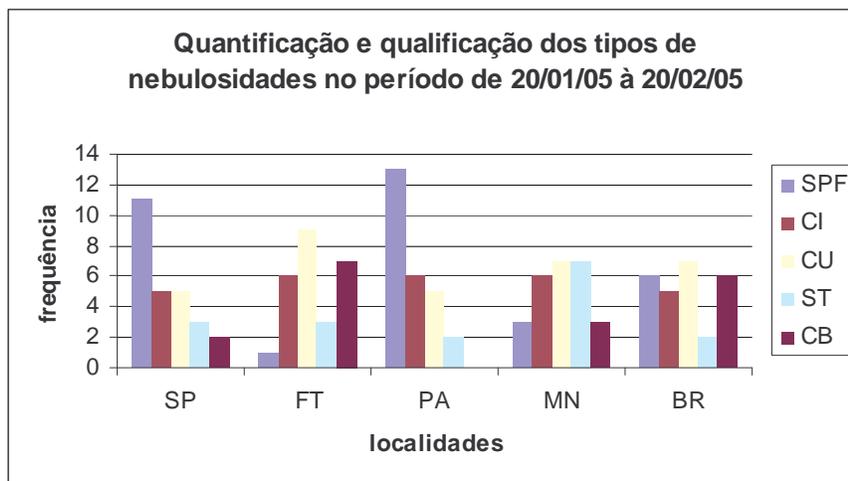


FIGURA 4 – Tipos de nuvens presentes o período de 20/01/2005 à 2/02/2005

A FIGURA 5 mostra a quantificação dos tipos de nebulosidades para o período de 25/02/2005 à 25/03/2005. A cidade de Porto Alegre apresentou para este período o maior número de dias com céu claro correspondendo a um terço dos mesmos, enquanto a presença de nuvens do tipo stratus foi bastante pequena, apenas dois dias, nesta localidade. A cidade de Manaus apresentou sete dias com nuvens do tipo stratus e cumulus. Apenas em três dias foi observado dias de céu claro. Em Fortaleza 60% dos dias foram observadas nuvens dos tipos cumulus e cumulonimbus somadas. Em Brasília nuvens do tipo cumulus, cumulonimbus e superfície apresentaram a mesma frequência (6 dias cada uma). A cidade de

São Paulo apresentou 9 dias de céu claro e 6 dias de cumulus. As nuvens do tipo stratus , assim como as cumulonimbus, foram observadas em apenas três dias assim.

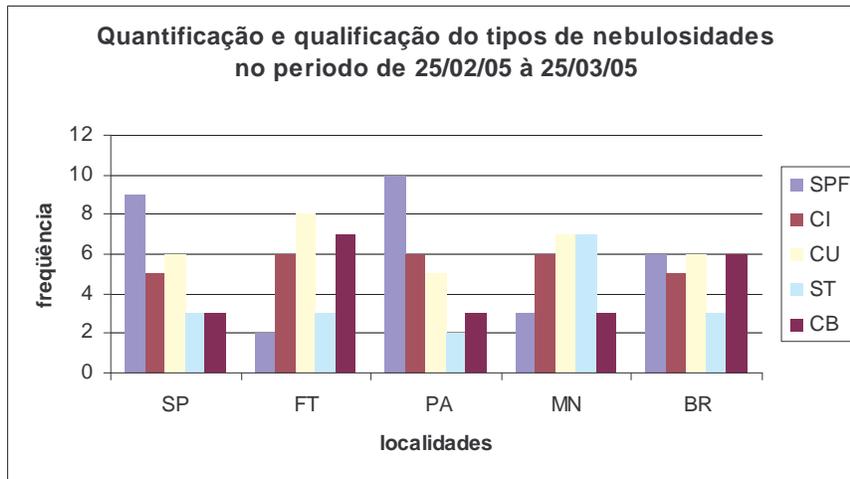


FIGURA 5 – Tipos de nuvens presentes o período de 25/02/2005 à 25/03/2005

A FIGURA 6, representativa do último período, nos mostra para São Paulo uma predominância de dias com céu claro correspondendo a um terço do período, mas nuvens dos tipos cumulus e cirrus foram observadas em 20 a 30% dos dias. A cidade de Fortaleza apresentou apenas um dia com céu claro. As nuvens observadas com maior frequência são as dos tipos cumulus e cumulonimbus, cerca de 9 e 7 dias, respectivamente. Porto Alegre apresentou 10 dias de céu claro, 6 dias de cirrus e 5 dias de cumulus, mas com predominância de dias de céu claro. Em Manaus nuvens dos tipos stratus, cumulus e cirrus foram predominantes correspondendo a 8, 7 e 6 dias respectivamente. Em Brasília foi observado maior número de dias nuvens dos tipos cumulus (7 dias), superfícies (7) e cumulonimbus (6). E com menor ocorrência nuvens do tipo stratus (3).

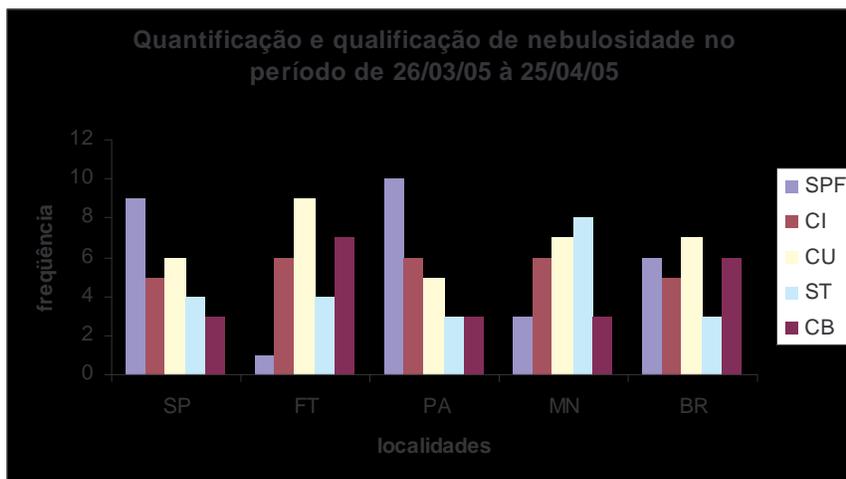


FIGURA 6 – Tipos de nuvens presentes o período de 26/03/2005 à 25/04/2005

As nuvens do tipo cirrus e cumulus foram à de maior freqüência para todas as localidades, enquanto as do tipo stratus e cumulonimbus foram às menos freqüentes. A localidade que apresentou o maior número de dias de céu claro foi Porto Alegre como mostram as FIGURAS 5, 6 e 7 enquanto que Fortaleza a menor. Conforme mostra a TABELA 1, para cada tipo de nebulosidade o IUV sofre uma atenuação representada por um fator numérico baseado em trabalhos empíricos (Kuchinke e Nunez, 1999). Devido à extrema complexidade envolvida neste tipo de fenômeno, estes fatores de atenuação consistem de uma aproximação superficial e aproximada das características da nebulosidade.

Condição de nebulosidade	spf (céu claro)	ci	st	cu	cb
Fator de atenuação	1.000	0.896	0.500	0.726	0.316

TABELA 1 – Fator de atenuação para nuvens

3.1.1.2 Análise do IUV sob condições de nebulosidade

A FIGURA 7 representa os níveis de IUV com a presença de nuvens no primeiro período. Para o dia 15/02/05 Manaus apresentou o valor IUV mais baixo 2,5 enquanto Fortaleza o de maior valor 12,0. Para este mesmo dia Brasília atingiu um valor de 11,0 que na categoria de intensidade corresponde a “extremo”, e Porto Alegre valores em torno de 7,0 e 7,5 que é

classificado como “alto”. Ao contrário dos valores observados para céu claro, quando há nuvens a variabilidade dos valores IUV é bastante grande.

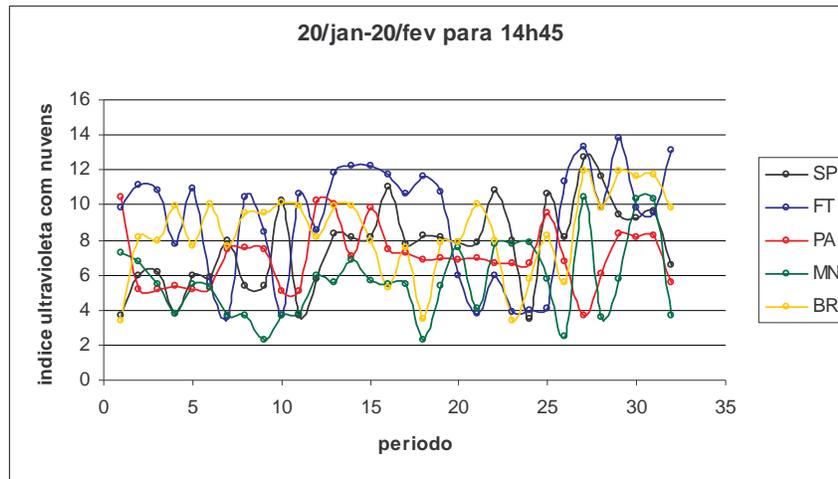


FIGURA 7 – IUV com nuvens no período de 20/01/2005 à 20/02/2005

A FIGURA 8 mostra o IUV no período 25/02 à 25/03 para horários próximos do meio-dia. Como exemplo, no dia 15/03/05 São Paulo apresentou valores de IUV em torno de 4,0 a 5,0, enquanto Porto Alegre valores em torno 8,0 a 9,0. Deste modo, valores de IUV que seriam mais altos em São Paulo tiveram forte atenuação. Em ocasiões como esta localidades mais ao sul do país podem ter IUVs mais altos do que localidades mais ao norte. Para esta mesmo dia, a cidade de Manaus teve valores IUV em torno de 10,0 a 11,0, Fortaleza entre 12,0 a 13,0 e Brasília em torno de 4,0 a 5,0. Um outro exemplo pode ser visualizado no dia 23/03/05, no qual São Paulo apresentou níveis entre 8,0 e 9,0, ao passo que Fortaleza níveis em torno de 4,0 e 5,0. Nota-se assim um comportamento diferenciado dos níveis de IUV de uma localidade para outro relacionada a cada período.

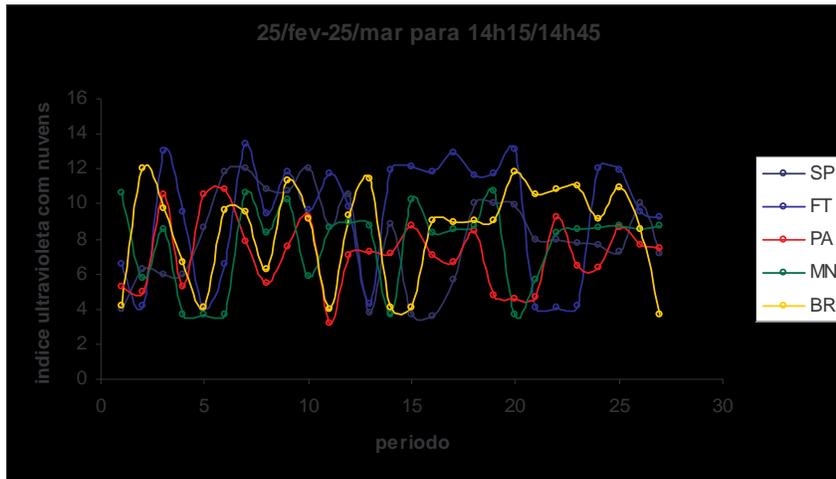


FIGURA 8 – IUV com nuvens no período de 25/02/2005 à 25/03/2005

A FIGURA 9 mostra para o dia 20/04/05 que em Brasília apresentou valores de IUV em torno de 10,0 e 11,0 superando todas as demais localidades. Nesta mesma data Porto Alegre teve valores entre 3,0 e 4,0 os mais baixos. Porém para o dia 23/04/05 Porto Alegre teve valores entre 9,0 e 10,0 e Brasília 5,0 e 6,0. As cidades de São Paulo e Brasília foram a que apresentaram as maiores atenuações do IUV e as cidades de Fortaleza e Manaus os índices mais elevados em consequência da ausência de nuvens.

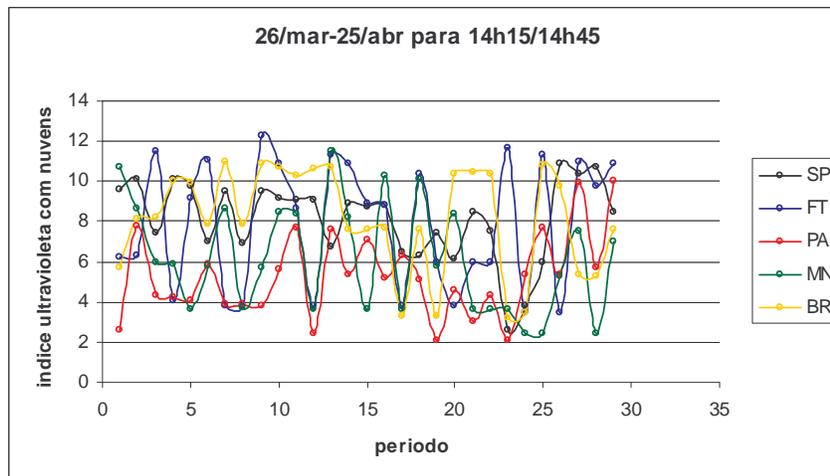


FIGURA 9 – IUV com nuvens no período de 26/03/2005 à 25/04/2005

Uma análise geral do comportamento pode ser realizada através da média e do desvio padrão para IUVo e IUV observados no período todo. Estes valores estão representados nas

FIGURAS 10, 11 e 12. A FIGURA 10 está relacionada com IUVo enquanto as FIGURAS 11 e 12 com IUV.

A FIGURA 10 apresenta média dos valores de IUVo . A cidade de Fortaleza apresentou os maiores valores médios de IUVo , enquanto a Porto Alegre as médias mais baixas. O fato de Manaus no primeiro período apresentar média de IUVo inferior a São Paulo e Porto Alegre é devido estar atrasado em um hora em relação as mesmas. As cidades que se localizam mais ao norte, apresentaram as médias de IUVo mais elevadas enquanto as mais ao sul as mais baixas. No primeiro período Porto Alegre apresentou média de IUVo em torno de 9,0 e 10,0, enquanto São Paulo valores em 10,5 e 11,5. Já no período de 26/03 à 25/04/05 Porto Alegre e São Paulo apresentaram valores em torno de 7,5 a 8,5 e 6,0 a 7,0, respectivamente. Essa diminuição está associada ao fato de que neste período iniciou-se o outono. Isso mostra que a intensidade da R-UV sofre uma redução quando da mudança da estação do verão para o outono. Já as cidades mais ao norte apresentaram pouca variação nas suas intensidades quando da mudança de estação. Exemplificamos isso no caso de Fortaleza que no primeiro período apresentou valores em torno de 12,0 a 13,0 enquanto no terceiro de 11,5 a 12,0

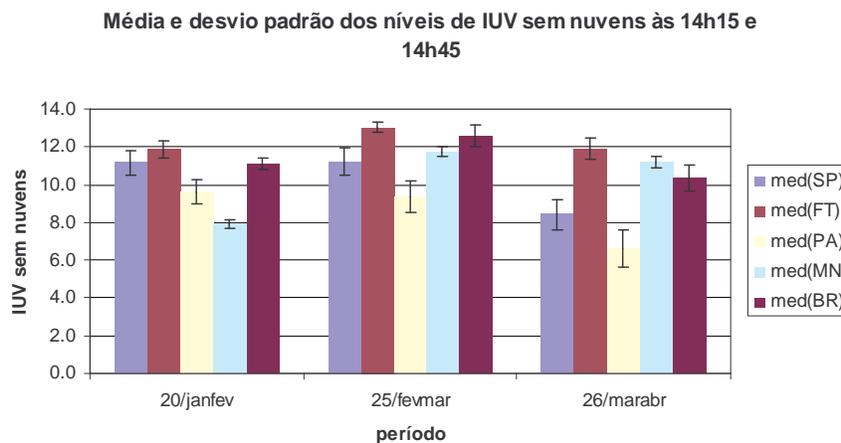


FIGURA 10 – Média e desvio padrão do IUVo

As FIGURAS 11 e 12 apresentam os valores de IUV nos horários próximos ao meio dia local. A cidade de Fortaleza apresentou os maiores desvios (variando 3,5 para mais e para menos) como observados na FIGURA 11. Isso é decorrente de seus valores sofreram uma variação muito grande um em relação ao outro. Pois os valores de IUVo são próximos uns

dos outros enquanto os de IUV são bastantes diferentes . A FIGURA 12 mostra que Porto Alegre apresentou o maior desvio (variando 3,2 para mais e para menos) com relação a todas as outras localidades. Devido as discrepâncias dos valores associados ao IUVs os desvios associados as FIGURAS 11 e 12 atingiram valores elevados. A cidade que apresentou maior média no seu IUV para o segundo período no caso da FIGURA 11 foi São Paulo variando em torno de 10,0 a 11,0 enquanto Fortaleza apresentou valores entre 8,5 a 9,0. Já na FIGURA 12 no mesmo período as médias de Fortaleza variaram em torno de 9,5 a 10,0 e São Paulo valores entre 7,5 a 8,0. A cidade de Manaus foi a localidade que sofreu atenuações no seu IUV em torno de 70% e Fortaleza em torno de 80%. Os níveis de IUV de Manaus e Porto Alegre foram os mais baixos. Os valores mais altos foram observados nas localidades de São Paulo, Brasília e Fortaleza.

Uma amostra da variabilidade temporal da nebulosidade pode ser vista nas FIGURAS 11 e 12. Em São Paulo no horário de 14h15 (UTC) no período 25/02 à 25/03/2005 apresentou a média IUV mais elevada em torno de 11, isso significa que a incidência do fluxo de R-UV foi mais intensa neste intervalo de tempo do que, por exemplo, Fortaleza que apresentou 8,5. Contudo para 14h45 (UTC) neste mesmo período Fortaleza apresentou a média IUV de 13, superior a de São Paulo com 11, como pode ser observado na FIGURA 12. Em geral, o comportamento dos desvios observados nas FIGURAS 11 e 12 são maiores do que os da FIGURA 10.

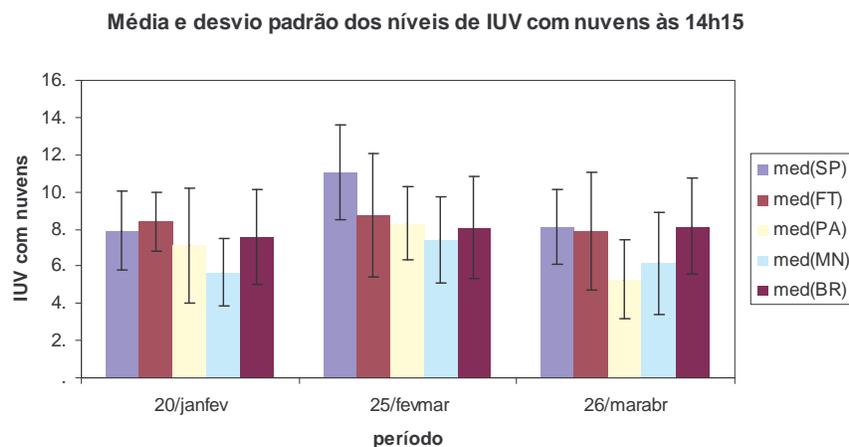


FIGURA 11 – Média e desvio padrão do IUVo às 14h15 UTC

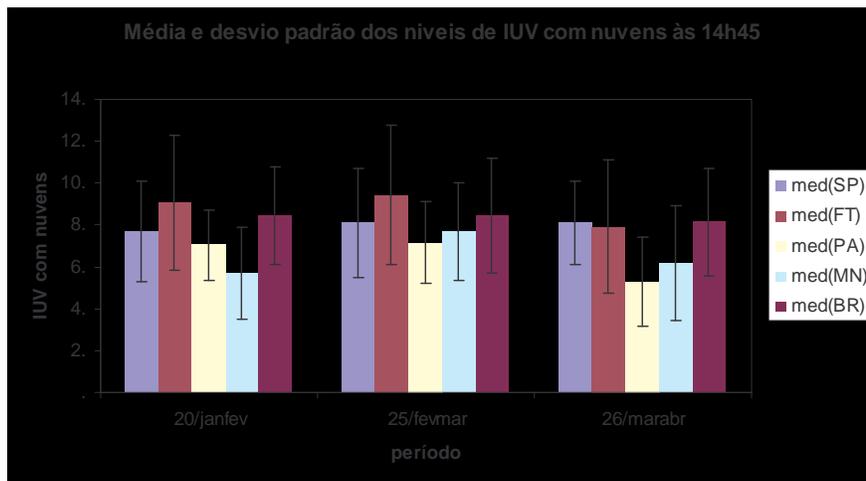


FIGURA 12 – Média e desvio padrão do IUVo às 14h45 UTC

Espera-se com esses resultados mostrar a variabilidade nos valores do IUV para todo o território nacional. Mostrando o comportamento dos níveis R-UV para cada região e levando em consideração o tipo de nebulosidade presente. Tendo esses resultados a sociedade de modo geral ou órgãos governamentais terão possibilidade de tomar precaução com relação a R-UV e as entidades da saúde pública poderá traçar políticas de conscientização sobre os efeitos da excessiva exposição ao sol.

CAPÍTULO 4

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram o comportamento dos níveis de R-UV nas diversas regiões do Brasil. A cidade de Fortaleza que é mais próxima da Linha do Equador apresentou os índices mais altos de R-UV, com IUVo médio igual a 13, enquanto Porto Alegre os mais baixos, com IUVo médio igual a 9. Uma vez que os valores de conteúdo de ozônio apresentam pouca variação sobre o país, é evidente a influência da latitude sobre os níveis de radiação. Deste modo, nestas condições de céu claro foram observados valores do índice UV classificados como “muito alto” ou “extremo” pela OMS em todas as localidades. A análise também mostra a influência marcante exercida pelas nuvens com diminuições de até 80% no IUV. O tipo de nuvem mais comum observado nas cidades estudadas foram as do tipo cirrus

e cumulus. Enquanto os valores médios observados de IUV para todas as localidades foram em torno de 9 (FT), 8 (SP), 7 (PA), 7,5 (MN) e 8,5 (BR). Os níveis de R-UV mostrados neste trabalho servem como advertência para a população em geral e destacam a necessidade do uso de proteção adequada quando da exposição ao sol.

Deve ser destacado que este trabalho se trata de uma análise preliminar. Trabalhos futuros devem abordar medidas realizadas por sensores de superfície recentemente instalados de modo a validar e ajustar os fatores de atenuação utilizados para condições de nebulosidade. No entanto, algumas atividades que podem complementar este trabalho já vêm sendo desenvolvidas, tais como a análise de outros horários do dia e de outras épocas do ano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bottino, M.J.; Ceballos, J.C. Classification of scenes in multispectral GOES-8 IMAGERY. Proceedings of XI Remote Sensing Brazilian Symposium, Belo Horizonte, MG, 2003.

Corrêa, M.P.; Dubuisson P.; Plana-Fattori A. An overview about the ultraviolet index and the skin cancer cases in Brazil. *Photochemistry and Photobiology*, 78(1), 49-54, 2003.

Corrêa, M.P. Índice Ultravioleta: avaliações e aplicações. Tese (Doutorado em Ciências)- Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 247p., 2003.

Kuchinke, C. e M. Nunez. Cloud transmission estimates of UV-B erythemal irradiance. *Theor. Appl. Climatol.*, 63, 149-161, 1999

London, J. The observed distribution of atmospheric ozone and its variation, *Ozone in the free atmosphere*. R.Whitten and S. Prasad editors, 11-80, Van Nostrand Reinhold Co. Inc., New York, 1985.

Mc Kinlay, A.F. e B.L. Diffey. A reference spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. *CIE J.*, 6(1), 17-22, 1987.

WHO – World Health Organization. Global solar UV index: A practical guide. WHO/SDE/OEH/02.2, Genebra, Suíça, 28p., 2002.

Lutgens, F.K. e E.J. Tarbuck, The Atmosphere: an introduction to meteorology, Prentice Hall, 1989.