

Correção atmosférica em imagens de sensoriamento remoto utilizando vapor d'água integrado obtido através de modelos de previsão numérica de tempo

Anderson Reis Soares ¹
Ana Lúcia Bezerra Candeias ²
Haroldo Antonio Marques ²
João Rodrigues Tavares Junior ²
Luiz Fernando Sapucci ³

¹ Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Programa de Pós-graduação em Ciências geodésicas e Tecnologia da Geoinformação
Departamento de Engenharia Cartográfica - DeCART
Caixa Postal 50670-901 - Recife - PE, Brasil
andersonreis.geo@gmail.com

² Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Departamento de Engenharia Cartográfica - DeCART
Caixa Postal 50670-901 - Recife - PE, Brasil
analucia@ufpe.br, {haroldoh2o, joaoufpe}@gmail.com

³ Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 12630-000 – Cachoeira Paulista - SP, Brasil
luiz.sapucci@cptec.inpe.br

Abstract. Several atmospheric correction algorithms use some bands or atmospheric models, to mitigate the effects of water vapor over satellite images. The recommended values for water vapor are based on geographical position and the epoch of year. Since not all sensors have bands on the infrared region, the use of this model values are needed, however, this value assigned to the variable may generate an important difference when compared with value of water vapor at moment of the imaging. The aim of this study is analyze the atmospheric correction over images using integrated water vapor obtained by Numerical Weather Prediction model. For this, the FLAASH atmospheric correction algorithm, and is implemented on the software ENVI, was used for the atmospheric correction. Hyperspectral images were obtained through the USGS website. The data of water vapor were extracted from the binary files generated by the Numerical Weather Prediction. For this, was realized an adaptation of the software Interpol developed in CPTEC/INPE, by changing its source code. After it, the values obtained were used for the atmospheric correction of images using the software ENVI. Results of processing the images using the proposed method were compared with the results of the traditional method, which uses the ratio bands for estimate the integrated water vapor. The results showed high similarities between the signatures corrected using both techniques. However the leak of spectral signatures collected in field, it's not possible to analyze which has the highest accuracy.

Palavras-chave: remote sensing, atmospheric correction, water vapor, sensoriamento remoto, correção atmosférica, vapor d'água.

1. Introdução

O Sensoriamento Remoto tem contribuído para estudos e mapeamentos da superfície terrestre. Para isto, as resoluções espaciais, espectrais, radiométricas e temporais do(s) sensor(es) imageador(es) envolvidos nestes estudos são de fundamental importância. A geometria e a radiometria das imagens são pontos fundamentais para obter mapas temáticos representativos da verdade terrestre. A radiometria das imagens é afetada fortemente pela atmosfera, gerando assim, redução na qualidade das imagens o que torna necessário em muitas análises a realização do processo de correção atmosférica.

A atenuação e o espalhamento da radiação eletromagnética, ocorrem durante a passagem da radiação pela atmosfera, antes de atingir a superfície e após sua reflexão até chegar ao sensor imageador. A consequência da atenuação do sinal é a geração de imagens alteradas quanto a radiometria, segundo Kaufman (1989), as interações da radiação eletromagnética podem resultar na mudança da polarização e direção da onda, podendo assim alterar o valor de radiância registrado no sensor, que dependendo da análise a ser realizada pode provocar um erro significativo, em estudos ambientais e também na geração das cartas temáticas destes estudos.

Os principais constituintes da atmosfera responsáveis por esse fenômeno de atenuação são os aerossóis e o vapor d'água (NOVO, 2010; LILESAND, 2007). O vapor d'água é gerado a partir da evapotranspiração, principalmente das plantas e da evaporação da água dos rios, lagos e oceanos. Seus efeitos na atmosfera e suas influências na vida humana estão intimamente relacionados com as variações da sua distribuição sob a superfície terrestre (SAPUCCI, 2001). Por isso é de grande importância o comportamento dessa variável no espaço, já que ele pode variar por exemplo, com a época do ano e com a posição geográfica da área imageada (latitude, longitude, altitude, relevo, etc.).

Segundo Junior (1996), a estimativa do vapor d'água integrado existente na atmosfera é de interesse ao Sensoriamento Remoto devido aos efeitos gerados nas imagens de satélite, sendo ainda mais importante em condições tropicais, como as observadas no Brasil.

Devido ao seu efeito de atenuação da radiância que chega ao sensor, diversos algoritmos foram desenvolvidos para atenuar/eliminar os efeitos provocados pelo vapor d'água e outros constituintes da atmosfera. O FLAASH (FELDE et al, 2003) é um algoritmo baseado no modelo *Moderate Resolution Atmospheric Transmission* (MODTRAN-4) (ADLER-GOLDEN, et. al., 1999) que vem sendo amplamente utilizado para correção de imagens, seja ela multiespectral e hiperespectral. Ele utiliza dados para correção do efeito do vapor d'água nas imagens a partir de duas fontes principais: a própria imagem (se ela possuir bandas específicas que atuem nas regiões do infravermelho) e modelos empíricos, que estão presentes nos modelos de correção, que recomendam valores para essa variável, que para isso, levam em conta a posição geográfica da área imageada e a época do ano. Esse valor atribuído a variável pode apresentar uma grande diferença quando comparada com dados reais no momento do imageamento.

Visando melhorar o resultado da definição espectral dos alvos em imagens que não dispõem de várias bandas na região do infravermelho, e que assim precisam utilizar valores pré-definidos por modelos empíricos, esta pesquisa pretende utilizar dados de vapor d'água obtidos através de modelos de Previsão Numérica de Tempo (PNT) para correção de imagens de Sensoriamento Remoto. Desse modo, tem-se o valor calculado para cada imageamento, caso a caso, obtido através das diversas fontes de dados, desde de dados oriundos de estações *Global Navigation Satellite System* (GNSS), como por dados de satélite, que são utilizadas para a geração da PNT, e não um valor atribuído a variável do vapor d'água para o MODTRAN e por consequência para o algoritmo FLAASH.

De acordo com Zandoná (2005) a modelagem atmosférica realizada por métodos numéricos, como o PNT, tem como objetivo prever o estado futuro da atmosfera a partir da situação inicial, para isso, são utilizadas as equações da dinâmica de fluidos e da termodinâmica. O uso do vapor d'água obtido por PNT na correção atmosférica de imagens de Sensoriamento Remoto deve oferecer resultados próximos aos obtidos a técnica de razão entre bandas, além de permitir a possibilidade da criação de modelos de correção atmosférica que utilizam o produto gerado pelos modelos de PNT.

2. Metodologia

2.1 Materiais

A área de estudo utilizada foi a cidade do Recife, que está localizada na região Nordeste do Brasil. As imagens obtidas recobrem parte da cidade e da região metropolitana. A cidade do Recife apresenta uma altitude média de 4m, contudo na região norte, algumas áreas apresentam ondulações com maior amplitude, mas como essas áreas não foram utilizadas na pesquisa, não se fez necessário a realização da ortorretificação da imagem utilizada.

Para a realização dessa pesquisa foi utilizada uma imagem do sensor *Hyperion*. Além da imagem, foram obtidos junto ao CPTEC/INPE, arquivos binários gerados pelo modelo de previsão de tempo ETA15. Para extração dessa informação foi realizada uma adaptação do código fonte do *software* Interpol, em linguagem Fortran 90, disponibilizado pelo CPTEC através do seguinte endereço: http://pyata.cptec.inpe.br/zenital/documentos/interpol_win.rar. Para a correção atmosférica foi utilizado o *software* ENVI 5 e o algoritmo FLAASH.

A imagem do sensor *Hyperion* foi obtida junto a USGS para o dia 28/02/2014, de acordo com os boletins pluviométricos da APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima), não foram registradas precipitações entre o dia 26/02/2014 e o dia analisado.

O sensor *Hyperion* está a bordo do satélite EO-1 (*Earth Observing-1*) que foi lançado pela NASA em 21 de novembro de 2000. Ele possui 242 bandas, com 10nm de largura, que estão distribuídas entre o visível e infravermelho, com resolução espacial nominal de 30m e temporal de 16 dias e resolução radiométrica de 16bits. De acordo com Pearlman et. al. (2003), a calibração radiométrica absoluta e *pixel a pixel*, e diretamente realizada usando o sistema de calibração interna e a irradiância solar, sendo o processo controlado pela USGS. A imagem foi obtida com nível de processamento L1GST, com resolução espacial de 29,94m. Os dados de obtenção das imagens estão descritos na tabela 4.

Tabela 1. Dados das imagens

Dados	Imagem 1
Órbita/Ponto	213/66
Horário de Passagem	11:38:06 (UTC)
Azimute Solar	93.0°
Elevação Solar	46.83°
Inclinação do Satélite	98.06°
Ângulo de Visada	-5.90°

Foram disponibilizados dois arquivos binários para o dia, sendo um para às 9h (UTC) e 12h (UTC). Cada arquivo contém dados de pressão, temperatura, umidade além do vapor d'água. A Figura 8, apresenta a distribuição do vapor d'água, para a região da América do Sul, área de abrangência do modelo, em kg/m², produzido a partir do *software* OpenGrADS e da previsão para às 9h do dia analisado.

A partir dos dados utilizados descritos na seção anterior, foram aplicadas, além da técnica de correção atmosférica, a técnica de simulação de imagem multiespectral para avaliar o impacto da correção com a metodologia proposta.

As bandas foram importadas para o ENVI 5 através do *plugin Hyperion Tools* disponibilizado no site da Exelivis desenvolvedora do ENVI. Após a importação, as 242 bandas passaram pelo processo de reamostragem espacial, foram escolhidos os 10 *pixels* de diferentes materiais, em cada imagem, dos quais foram obtidas as assinaturas espectrais, que foram a base principal para avaliação do método proposto.

Após essa etapa, as imagens passaram pelos processos de calibração radiométrica, onde os níveis digitais foram convertidos para refletância, e de correção atmosférica, utilizando a

técnica de razão entre bandas, utilizando a faixa de 0,82 μm , e a metodologia proposta utilizando o valor obtido pelo PNT.

Antes do processamento das imagens, o algoritmo do *software* Interpol foi adaptado para leitura do arquivo binário, já que o arquivo fornecido tem uma estrutura diferente da utilizada por este *software*. Além da modificação na leitura, foi necessário converter a constante fornecida pelo modelo (kg/m^2) para a que é utilizada pelo FLAASH (g/cm^2). Para interpolação dos dados para o momento da passagem do satélite, foi implementado uma interpolação linear, que utiliza o momento em que a informação do *pixel* foi obtida. Para determinar esse momento foi realizada uma simples regra que se baseia na quantidade de linhas obtidas por segundo pelo sensor, a hora em que o imageamento foi iniciado e finalizado.

2.2 Métodos

Nos processamentos utilizando a técnica de razão entre bandas, foi utilizada a região de 0,82 μm , como recomendado por Felde (2004), já que a região do Recife apresenta grande concentração de vapor d'água na atmosfera. As demais configurações, modelo de aerossol, algoritmo de espalhamento e os ângulos de visada, Tabela 5, também foram utilizadas para o processamento das imagens utilizando a técnica proposta. De acordo com o relatório gerado após a correção o algoritmo utilizou como bandas de absorção as bandas: 38 (0,732 μm) e 39 (0,742 μm), e como bandas de referências as bandas: 34 (0,691 μm), 35 (0,701 μm), 42 (0,772 μm) e 43 (0,782 μm).

Tabela 2. Descrição dos dados inseridos para o processamento

Parâmetro	Imagem 1
Altitude do Sensor	705km
Altitude Média	4m
<i>Water Retrieval</i>	0,82 μm
Algoritmo de Espalhamento	DISORT
Modelo de Aerossol	<i>Urban</i>

A partir dos arquivos binários gerados pelo modelo de previsão de tempo, e da adaptação do *software* Interpol, foram extraídos os valores de vapor d'água para os *pixels* selecionados. As imagens geradas pelo *Hyperion Tools* passaram pelo algoritmo FLAASH, mas desta vez, utilizando os dados para o vapor d'água obtidos através do modelo de PNT. A partir da grade de pontos foram extraídos os valores do vapor d'água para *pixels* os escolhidos. Em seguida, esse valor foi utilizado na correção atmosférica, e apenas o *pixel* cujo o valor foi extraído foi analisado.

Para avaliação dos resultados foram utilizados métodos estatísticos e visuais. Foi realizada inicialmente uma avaliação visual dos níveis de refletância através dos gráficos. Foram calculadas as diferenças médias entre as assinaturas hiperespectrais e multiespectrais, além disso, através da *toolbox* HyperSpectral desenvolvido por Paclik et.al. (2005), foi utilizado o algoritmo SAM para determinar o grau de similaridade entre curvas espectrais. De acordo com Novo (2010) esse algoritmo que determina a similaridade espectral entre dois espectros, a partir do ângulo entre eles em todas as bandas espectrais, tratando os espectros como vetores em um espaço de dimensionalidade igual ao número de bandas espectrais, assim ela não é sensível a diferenças de amplitude entre as assinaturas.

3. Resultados e Discussão

Para a cena, o valor médio da variável foi de 3,11 g/cm^2 , com um desvio padrão de 0,54 g/cm^2 , os valores máximos e mínimos foram respectivamente, 4,55 g/cm^2 e 1,88 g/cm^2 . Os

valores obtidos pela técnica de razão entre bandas e pelo modelo PNT, para os *pixels* analisados, estão descritos na tabela a seguir.

Após a extração dos valores de vapor d'água dos arquivos binários, foi realizada apenas uma correção. A partir desse processamento, as 10 assinaturas foram obtidas, isso foi necessário, já que não é possível ajustar o valor aplicado a imagem com um número com precisão maior que duas casas decimais, e esse foi o caso, já que com os valores obtidos pelo PNT não seria possível aplicar valores diferentes de 0,87, o qual foi utilizado para correção. Como pode ser observado as assinaturas espectrais da imagem apenas calibrada radiométricamente, não se aproxima, especialmente na região do visível, do padrão de assinatura apresentada após a correção.

Tabela 3. Valores de vapor d'água obtido pela técnica de razão entre bandas e modelo de PNT

<i>Pixel</i>	Razão entre Bandas	Modelo de PNT
1 - Solo Exposto Arenoso	3,76	3,57
2 - Telha Metálica	3,60	3,58
3 - Asfalto	3,91	3,58
4 - Solo Exposto Argiloso	3,93	3,58
5 - Telha Metálica	3,70	3,58
6 - Asfalto	3,88	3,58
7 - Telha Metálica	4,19	3,58
8 - Telha Metálica	4,23	3,59
9 - Solo Exposto Argiloso	4,16	3,59
10 - Solo Exposto Argiloso	4,20	3,58

Na grande maioria das assinaturas houveram pequenas diferenças na região do infravermelho médio, acima de 2,00 μm , como pode ser observado nas assinaturas espectrais dos *pixels* 2 a 10, Figuras 1 a a j. Na região do infravermelho próximo, ocorreu em todas as assinaturas utilizando o método proposto, duas grandes discrepâncias na resposta espectral na banda da região de 1,124 μm , nessa o valor da assinatura foi de reduzido para 0 em todas as bandas, e na banda adjacente de 1,134 μm foram registrados grandes picos de resposta, essas diferenças podem ter sido causadas por algum problema na correção gerada em função do uso do fator multiplicativo. Mesmo com os picos de baixa e alta respostas, ocorreram pequenas alterações nessa região.

Na região do visível ocorreram diferenças mais significantes nos *pixels* 2 e 4, Figuras b e d, telha metálica e solo exposto argiloso, respectivamente. Esses desvios comprovam que a variação do vapor d'água influi, também na resposta espectral dos alvos na região do visível, potencializando o efeito provocado pelos aerossóis e outras partícula de maior dimensão.

Através da rotina desenvolvido no *software* Matlab, foram calculadas as diferenças entre as assinaturas obtidas entre os dois métodos (PNT – Razão entre Bandas), Tabela 4, em função da refletância. Como pode ser observado, os valores médios das diferenças não foram superior a 0,017, ou 1%. Os desvios padrões também não apresentaram diferenças superiores a 0,077 ou 7%.

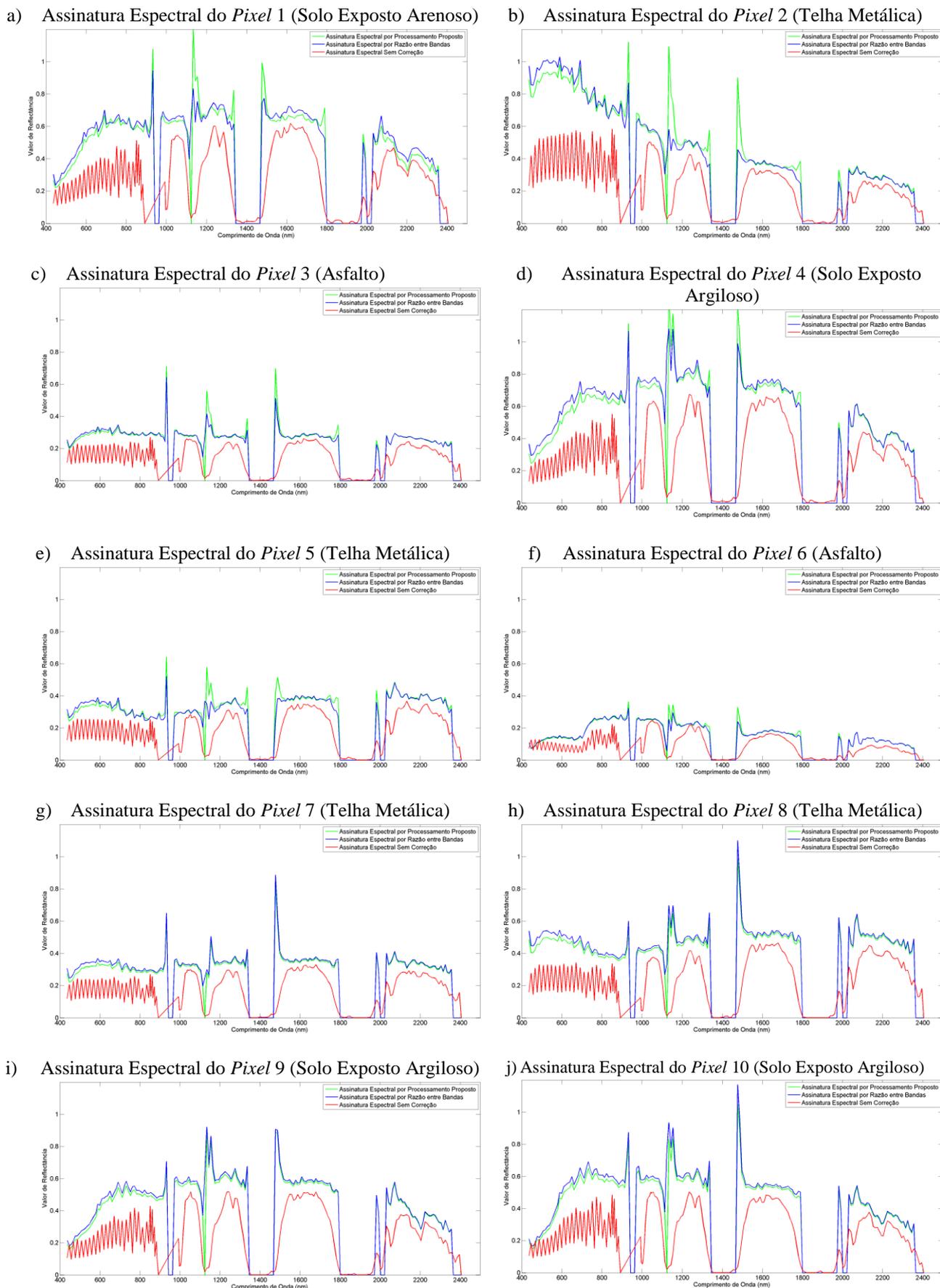


Figura 1. Assinaturas espectrais dos pixels analisados.

Tabela 4. Diferenças entre refletâncias das assinaturas hiperespectrais obtidas pelos dois métodos em porcentagem da refletância.

<i>Pixel</i>	Médias (%)	Desvio Padrão(%)
1 - Solo Exposto Arenoso	-1,02	7,22
2 - Telha Metálica	0,05	7,22
3 - Asfalto	0,01	7,70
4 - Solo Exposto Argiloso	-1,68	7,70
5 - Telha Metálica	0,04	3,01
6 - Asfalto	0,01	3,01
7 - Telha Metálica	-1,09	7,97
8 - Telha Metálica	-1,75	7,97
9 - Solo Exposto Argiloso	-1,58	4,31
10 - Solo Exposto Argiloso	-2,09	4,31

Como é possível observar na tabela abaixo, o pixel 8 apresentou a menor diferença entre as curvas pelos dois métodos com um ângulo de 0,0606. De forma geral todas as assinaturas dos *pixels* analisados apresentaram pequenas diferenças, como pôde ser comprovado pelo algoritmo SAM.

Tabela 5. Valores de ângulo entre as assinaturas obtidas entre os dois métodos.

Pixel	Ângulo
1 - Solo Exposto Arenoso	0,1395
2 - Telha Metálica	0,1481
3 - Asfalto	0,1181
4 - Solo Exposto Argiloso	0,1406
5 - Telha Metálica	0,1364
6 - Asfalto	0,0799
7 - Telha Metálica	0,0632
8 - Telha Metálica	0,0606
9 - Solo Exposto Argiloso	0,1004
10 - Solo Exposto Argiloso	0,1210

4. Conclusões

As assinaturas espectrais oriundas do sensor hiperespectral apresentaram resultados semelhantes quando comparadas as obtidas pelo método de razão entre bandas. Contudo a falta das assinaturas espectrais obtidas *in locu* para comparação, não permitem avaliar se o método proposto é mais acurado que o método que vem sendo utilizado, contudo já é possível obter uma indicação da sua precisão. Os valores preditos pelo modelo de previsão de tempo foram bastante próximos ao obtido pela técnica de razão entre bandas, contudo, o processo de correção foi mais rápido. Os valores de vapor d'água obtidos pelo PNT obtiveram resultados semelhantes aos obtidos pela técnica de razão entre bandas, contudo, a acurácia desses valores nos dois casos não pôde ser determinada.

As assinaturas espectrais obtidas pelo método proposto foram semelhantes as obtidas pela técnica de razão entre bandas, sendo assim, a partir da imagem analisada, o método tende oferecer uma precisão próxima a obtida pelo modelo FLAASH utilizando a técnica de razão entre bandas.

5. Referências Bibliográficas

ADLER-GOLDEN, S.M.; MATTHEW, M.W.; BERNSTEIN, L. S.; LEVINE, R. Y.; BERK, A.; RICHTSMEIER, S. C.; P.K. ACHARYAA, G.P.; ANDERSON, G.; FELDE, J.; GARDNER, M.; HOKE, L. S.; JEONG, B.; PUKALL, J.; MELLO, A.; RATKOWSKI H.; BURKE, H. 1999. *Atmospheric correction for short-wave spectral imagery based on MODTRAN4*. In: R. O. Green (Ed.), Summaries of the Eighth JPL Airborne Earth Science Workshop JPL Publication, Vol. 99-17. (pp.21-29) Pasadena, California: Jet Propul. Lab.1.

FELDE, G. W.; ANDERSON, G. P.; ADLER-GOLDEN, S. M.; MATTHEW M. W.; BERK, A. *Analysis of Hyperion Data with the FLAASH Atmospheric Correction Algorithm. Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery IX*. SPIE Aerosense Conference, Orlando. 21-25 April 2003.

FELDE, G. W.; ANDERSON, G.P.; GARDNER, J.A.; ADLER-GOLDEN, S.M.; MATTHEW M. W.; BERK, A. *Water vapor retrieval using FLAASH atmospheric correction algorithm*. In: **Proceedings of the spie defense and security symposium**, Orlando, Florida, 12-16 abril, 2004.

JUNIOR, J. Z.; GU, X.; GUYOT, G.; PINTO, H. S.; HAMADA, E.; ALMEIDA, C. A. S. de; PELLEGRINO, G. Q. **Estimativa do Conteúdo de Vapor d'Água a Partir da Radiação Solar Direta**. Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil, 14-19 abril, INPE, p. 979-980, 1996.

KAUFMAN, Y. J. *The atmospheric effect on remote sensing and its correction*. In: **Theory and Applications of Optical Remote Sensing**. ASRAR, G. 1989, New York. John Wiley & Sons.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W.; CHIPMAN, J. W. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 2007. 4ª Edition. New York. John Wiley & Sons.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 2010, 4ª edição, Blucher.

PACLIK, P.; VERZAKOV, S.; DUIN, R.P.W. **Hypertools 2.0: the toolbox for spectral image analysis**, technical report, ICT Group, TU Delft, The Netherlands, November 2005.

PEARLMAN, J.; CARMAN, S.; SEGAL, C.; JARECKE, P.; BARRY, P. **Overview of the Hyperion Imaging Spectrometer for the NASA EO-1 Mission**. 2003.

SAPUCCI, L. F. **Estimativa do vapor d'água atmosférico e avaliação da modelagem do atraso zenital troposférico utilizando GPS**. 167 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2001.

ZANDONÁ, C. A. W. **Ambiente de Visualização Integrado para Modelos Numéricos de Previsão de Tempo e Informações Ambientais**. Dissertação de mestrado do Programa de Pós Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, 2005, Curitiba-PR.