

ANÁLISE COMPARATIVA DA REFLECTÂNCIA ESTIMADA POR ÁREAS ENTRE BANDAS SIMULADAS A PARTIR DE MEDIDAS HIPERESPECTRAIS E VALORES DE BRILHO DE UMA IMAGEM MULTIESPECTRAL WORLDVIEW-2.

GEORGE DEROCO MARTINS¹
MARIA DE LOURDES BUENO TRINDADE GALO²

Universidade Estadual Paulista – UNESP
Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT
Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas¹
Departamento de Cartografia, Presidente Prudente – SP²
deroco87@hotmail.com¹, mlourdes@fct.unesp.br²

RESUMO - A capacidade de discriminação espectral de um sensor remoto está relacionada com a abrangência dos intervalos de comprimento de onda de suas bandas espectrais e sua posição ao longo do espectro eletromagnético. O Sensoriamento Remoto hiperespectral possibilita a aquisição medidas de reflectância de forma densa e contínua, com potencial para fornecer informações detalhadas sobre as características físico-químicas da superfície imageada. Sensores multiespectrais definem bandas espectrais mais largas, de modo que o valor registrado é integrado para o intervalo de comprimento de onda considerado. Com o objetivo de comparar a reflectância de superfície medida “in situ” por um espectrorradiômetro hiperespectral, com valores de brilho corrigidos para reflectância, extraídos de uma imagem multiespectral WorldView-2, para diferentes tipos de cobertura vegetal, adotou-se um método que permite comparar áreas definidas sob as curvas de reflectância obtidas para os dados espectrorradiométricos (hiperespectrais) e pelos valores extraídos de cada uma das bandas espectrais da imagem. O método por área adotado mostrou-se eficiente para comparar as bandas espectrais da imagem WorldView-2 com dados hiperespectrais medidos “in situ”, para os alvos considerados e nas condições específicas de aquisição.

Palavras chave: Simulação de bandas espectrais, Imagem WorldView-2, Sensoriamento Remoto Hiperespectral, Correlação por área.

ABSTRACT - The spectral capacity to discriminate of a remote sensor is related to the scope of the wavelength intervals of their spectral bands and its position along the electromagnetic spectrum. Hyperspectral remote sensing makes possible the acquisition reflectance measurements in order dense and continuous, with the potential to provide detailed information about the physicochemical characteristics of the imaged surface. Multispectral sensor defines wide spectral bands so that the recorded value is integrated for the wavelength range considered. With the objective to compare the measured surface reflectance "in situ" with a hyperspectral spectroradiometer, with brightness values corrected to reflectance, extracted from a multispectral image WorldView-2, for different types of vegetation, was adopted a method that permits to compare defined areas below the curves reflectance data obtained for the spectroradiometric (hyperspectral) and the values extracted for each of the spectral bands of the image. The method adopted by area proved to be efficient for comparing spectral bands of WorldView-2 imaging with hyperspectral data measured "in situ", for the targets considered and specific conditions of purchase.

Key words: Simulation of spectral bands, image WorldView-2, Hyperspectral Remote Sensing, Correlation by area.

1 INTRODUÇÃO

A caracterização espectral de um alvo representa, de forma detalhada, o resultado da interação da energia

radiante com o objeto em estudo, registrada em faixas de comprimento de onda bem estreitas e adjacentes. As variações de amplitude, na caracterização espectral de

um alvo, podem ser detectadas por meio de sensores remotos, como sensores orbitais, aerotransportados e radiômetros de campo e, via de regra, são expressas por meio da reflectância do alvo.

A capacidade de discriminação espectral de um sensor remoto está relacionada com a abrangência dos intervalos de comprimento de onda de suas bandas espectrais e sua posição ao longo do espectro eletromagnético. O Sensoriamento Remoto hiperespectral possibilita a aquisição de medidas densas e contínuas da reflectância, com potencial para fornecer informações detalhadas sobre as características físico-químicas da superfície imageada. Sensores multiespectrais definem bandas espectrais mais largas, de modo que a reflectância registrada é integrada para o intervalo de comprimento de onda considerado.

Os sensores multiespectrais de alta resolução espacial instalados em plataformas orbitais foram determinantes na disseminação dos mapeamentos temáticos em escalas grandes. Recentemente, sistemas como RapidEye e WorldView-2 (WV-2) ampliaram a configuração espectral clássica das imagens orbitais de alta resolução espacial, pela inclusão de bandas espectrais adicionais, localizadas em faixas estratégicas do espectro eletromagnético, o que aumentou, de forma considerável, o potencial de discriminação e análise da característica espectral de alvos específicos da cobertura terrestre (MARQUISIO, 2010).

Em recentes estudos, como o de Souza (2011), são apresentadas estimativas do alto potencial de sensores, como o WV-2, na discriminação e caracterização espectral de vegetação terrestre, por meio de classificadores não supervisionados.

Assim sendo, o maior grau de diferenciação dos tipos vegetais perceptível nessas imagens, é decorrente da presença de bandas adicionais, como *Yellow*, *Red Edge* e *Infrared Near 2*, as quais se encontram posicionadas estrategicamente em pequenas faixas ao longo do espectro e que indicam, de forma detalhada, a variabilidade e saúde vegetal.

Outros métodos, além da utilização da classificação, podem ser usados para estimar o potencial de uma imagem multiespectral na discriminação e caracterização espectral de um alvo específico. Um deles é a análise comparativa entre a resposta espectral obtida "in situ" e medidas de reflectância derivadas dos valores de brilho registrados nas bandas de uma imagem multiespectral.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo é realizar uma análise comparativa entre a reflectância de superfície (R_{sp}), medida "in situ" por um radiômetro hiperespectral, com valores de brilho corrigidos para reflectância (R), extraídos de uma imagem multiespectral de alta resolução espacial, para mesmos intervalos espectrais e alvos específicos, nesse caso, constituído por diferentes tipos de vegetação.

Para tanto, curvas espectrais geradas a partir de medidas de reflectância realizadas por um espectrorradiômetro de campo, para quatro diferentes tipos de vegetação, foram correlacionadas com valores

extraídos das bandas espectrais de uma imagem WV-2. Utiliza-se, nessa análise, um método alternativo que considera a correlação estimada, para um mesmo intervalo de comprimento de onda, entre as áreas definidas sob as curvas de reflectância obtidas para os dados espectrorradiométricos (hiperespectrais) e pelos valores extraídos de cada uma das bandas espectrais da imagem.

2 EXPERIMENTO

O intuito de verificar a correlação entre a R_{sp} de medidas "in situ" e valores de R extraídos de uma imagem WV-2 de alta resolução espacial, para alvos de vegetação, a partir do método alternativo proposto neste estudo, definiu-se uma área de estudo, na qual foram identificados quatro tipos de cobertura vegetal distintos: pastagem (cultivada, definindo um dossel mais uniforme), cultura agrícola (café), vegetação arbórea (mata nativa) e mata ciliar.

Esta área compreende-se de uma pequena porção da área urbana e suburbana da cidade de Marília-SP, mostrada na Figura 1, na forma de uma composição colorida normal da cena WorldView-2.

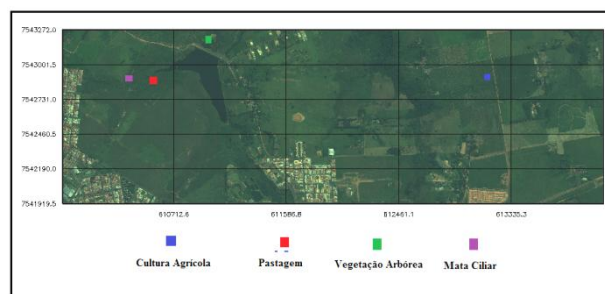


Figura 1 - Área de estudo, com a indicação dos locais de tomada dos dados hiperespectrais.

A obtenção de medidas de R_{sp} foi realizada em uma campanha de campo para a coleta de dados de radiometria "in situ" de alvos de vegetação, no dia 23 de novembro de 2011. Vale ressaltar que as medidas radiométricas realizadas seguiram o protocolo de aquisição sugerido por Novo (1992).

Os dados de R_{sp} foram coletados com um espectrorradiômetro hiperespectral FieldSpec Hand Held, para quatro alvos distintos de vegetação. Para tanto, cada medida realizada com o instrumento foi devidamente posicionada com um GPS de navegação para que, posteriormente, os pontos de coleta de dados espectrais "in situ" fossem identificados na imagem multiespectral.

Assim como em Ferreira (2011) e Sabo Boschi (2011), a imagem WV-2 foi tomada, no dia 20 de março de 2011, com um nível de processamento 2A (*Ortho Ready Standard Imagery*). Trata-se de um nível básico de correção geométrica e radiométrica, incluindo erros instrumentais referentes aos sensores e referenciando-a ao sistema de coordenadas UTM do referencial WGS-84.

Antes da extração de valores de R na imagem WorldView 2, a cena foi submetida a um processo de

correção atmosférica, com o intuito de minimizar os efeitos atmosféricos de absorção e espalhamento.

A correção atmosférica foi executada no *software* ENVI 4.8, usando o módulo de correção atmosférica FLAASH. Já a calibração radiométrica foi realizada conforme Updike e Comp (2010).

Após o processo de correção atmosférica, extraíram-se os valores de R dos mesmos alvos de vegetação que tiveram os valores de R_{sp} medidos “in situ”.

3 DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO

Os conjuntos amostrais representativos para duas variáveis – neste trabalho referentes a medidas de R_{sp} obtidas “in situ” e as correspondentes medidas de R extraídas de uma imagem multiespectral, podem ser correlacionados por diferentes processos.

Em Stech et al. (2011), os dados radiométricos hiperespectrais, coletados “in situ”, foram integrados para simular os valores das bandas do sensor multi-espectral MODIS, de acordo com a técnica de integração de retângulos descrita em Kampel et al. (2009).

Como em Stech et al. (2011), o método proposto visa a integralização de dados radiométricos hiperespectrais adquiridos “in situ”, a fim de compará-los com os valores das bandas multiespectrais do sensor WV-2.

Porém, ao invés de comparar a média dos valores de R dos sensores hiperespectrais e multiespectrais entre si, no método proposto, foram avaliadas as áreas calculadas a partir dos dados radiométricos obtidos pelos dois sensores utilizados, para os mesmos intervalos espectrais, conforme indicado na Figura 2.

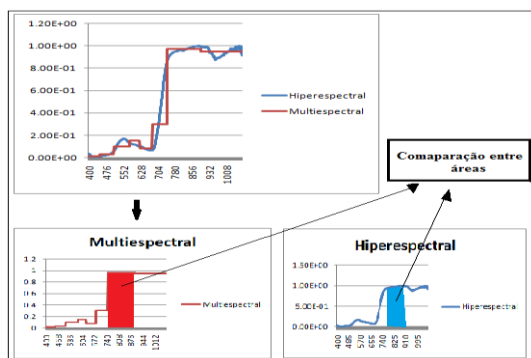


Figura 2 - Destaque das áreas definidas em um intervalo específico do espectro refletivo para dados multiespectrais e hiperespectrais.

A análise comparativa pela área foi precedida pelo desenvolvimento de três etapas: aquisição de valores de R; ajuste da curva hiperespectral a partir dos valores de R_{sp} e cálculo das áreas.

Nas próximas seções são apresentadas essas etapas, realizadas previamente à análise comparativa entre uma curva de R_{sp} , obtida a partir de uma medida “in situ”, e para medidas de R, extraída a partir de uma imagem WV-2, para um mesmo alvo

3.1 Aquisição de medidas de R_{sp} e R a

Neste passo, a aquisição dos valores de R_{sp} , consiste em adquirir dados radiométricos de alvos da superfície terrestre, a partir de medidas georreferenciadas realizadas com um espectrorradiômetro hiperespectral.

Assim, essas medidas passam a ser atribuídas como verdade de campo para que, posteriormente, sejam comparadas com medidas de R extraídas de imagens obtidas por sensores multiespectrais (Stech et al. 2011).

Para finalizar este passo, os valores de R são extraídos da cena. Porém, anteriormente, a imagem deve passar por um processo de correção atmosférica, no qual ocorre a transformação da informação espectral, expressa em formato digital, relacionada a um nível de cinza em valores de R (NOVO, 1995).

3.2 Ajuste da curva hiperespectral – R_{sp}

O ajustamento da curva hiperespectral referente à R_{sp} considera que frações muito estreitas dos intervalos da curva, ao longo do espectro, devam ser submetidas a um rigoroso processo de ajustamento Paramétrico pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). Com isso, ao final, são gerados modelos matemáticos não-lineares com parâmetros ajustados (GEMAEL, 1994), os quais passam caracterizam mais fielmente as características do espectro refletivo original. Assim, a partir da integralização dos modelos ajustados para um dado intervalo de comprimento de onda, é possível calcular a área correspondente aos intervalos que definem cada banda espectral.

A aplicação do ajuste inicia-se com a geração da curva espectral dos valores da R_{sp} . Mesmo considerando que a reflectância é definida entre 0 e 1, as quantidades de R_{sp} são normalizadas (Equação 1) em um intervalo de 0 a 1, de modo a expandir as quantidades originais e facilitar sua comparação com valores de R, também normalizados para o mesmo intervalo.

$$R_n = \frac{R - R_{min}}{R_{max} - R_{min}} \quad (1)$$

onde, R_n é o valor de R_{sp} normalizado, R_{max} e R_{min} são os valores máximos e mínimos de R_{sp} ao longo do espectro.

Assim, os valores de R_n são ajustados a partir do Método Paramétrico, no qual os parâmetros do modelo matemático são estimados a partir das observações (GEMAEL, 1994). A Equação 2 apresenta o modelo matemático utilizado no ajuste dos valores de R_n :

$$L_a = F(X_a) \quad (2)$$

onde, L_a representa os valores observados ajustados e X_a os vetores dos parâmetros ajustados do modelo matemático não linear.

A Figura 3 apresenta o resultado do ajuste de uma função não-linear, a partir dos valores de R_{sp} em um alvo

de

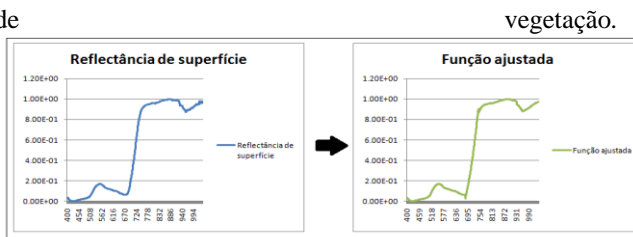


Figura 3 - Representação da função ajustada (nível de confiança de 1%) a partir de valores de R_{sp} .

Cada intervalo ajustado, ao longo do espectro, gera um modelo matemático parabólico (Ax^2+Bx+C). Deve-se ressaltar que os intervalos espectrais ajustados são definidos após a verificação da qualidade do ajustamento.

Neste processo, faz-se a análise da discrepância entre sigma *a posteriori* (σ^2), calculado e o sigma *a priori* (σ^2) pré-definido. Para tanto, caso haja discrepância entre σ^2 e σ^2 , deve-se aplicar um teste de hipótese baseado na distribuição qui-quadrado para constatar se a discrepância é significativa a um certo nível de confiança (GEMAEL, 1994).

Assim, para a função ajustada representar fielmente os valores observados de R_{sp} , segundo Wolf (2000), o ajustamento deve atender um nível de significância de 1%.

3.3 Cálculo das áreas

A etapa anterior, realizada para os dados hiperespectrais, constituiu uma forma de viabilizar o cálculo da área ao longo do espectro. De certa forma, os dados de R da imagem não necessitam ser representados em uma função ajustada, pois expressam o valor médio de R por banda. Sendo assim, o valor da área (A) para os dados multiespectrais foi obtido diretamente dos retângulos definidos pelos valores de R extraídos da imagem, para cada intervalo espectral, como descrito em Kampel et al. (2009).

Em contrapartida, as áreas dos intervalos espectrais (A_{esp}), ao longo do espectro, para os dados de R_{sp} , são estimadas a partir da integração dos modelos matemáticos estimados na etapa anterior, conforme é apresentado na Equação 3.

$$A_{esp} = \int_{mín}^{máx} Ax^2 + Bx + C \quad (3)$$

3.4 Comparação entre os valores de A e A_{esp} .

Com a finalidade de evidenciar a discrepância entre os valores de R e R_{sp} , de forma detalhada para intervalos específicos, realiza-se a comparação entre os valores de A e A_{esp} para cada banda espectral da imagem.

De forma complementar, pode-se estimar a correspondência global entre os valores de R e R_{sp} , a partir da correlação entre A e A_{esp} .

Segundo Johnson et al. (2007), a correlação é um método de escalonar a covariância através do desvio-padrão de cada variável. Então, pode-se medir uma relação linear entre duas variáveis aleatórias X e Y da seguinte forma:

$$\rho_{xy} = \frac{cov(X,Y)}{\sqrt{V(X)V(Y)}} = \frac{\sigma_x}{\sigma_x\sigma_y} \quad (4)$$

4 RESULTADOS

O resultado do ajustamento da curva hiperespectral, para os valores de R_{sp} dos alvos analisados, pode ser observado na Figura 4, na qual os gráficos à esquerda representam a assinatura espectral obtida "in situ" de cada tipo vegetal e os gráficos à direita apresentam a curva espectral resultante dos correspondentes valores de R_{sp} ajustados pelo método paramétrico.

Em uma análise gráfica da curva hiperespectral ajustada, nota-se que as características originais da assinatura espectral de cada tipo vegetal foram mantidas. Ou seja, em um modo geral, a R_{sp} da vegetação variou de forma esperada, com o aumento do comprimento de onda.

Observa-se que as características da curva espectral ajustada, na região do visível, para todos os tipos vegetais, mostraram-se coerentes com a literatura, apresentando absorção de cerca de 90% da radiação incidente pelos pigmentos presentes nos cloroplastos das folhas. Os pigmentos que mais influenciam a reflectância, nesta faixa de comprimento de onda, são as clorofilas *a* e *b*, com dois picos de absorção: o maior, nos comprimentos de onda de 649 e 665 nm, e o menor, nos comprimentos de onda de 420 e 435 nm, respectivamente, e os carotenóides com pico de absorção nos 480 nm (JENSEN, 2009).

Assim como no espectro visível, na região do infravermelho próximo o comportamento da curva manteve seu padrão característico. Nota-se um gradiente acentuado, que marca a transição para uma elevada reflectância no infravermelho próximo, consequência do espalhamento de radiação no mesófilo, decorrente da interação entre a radiação e a estrutura interna das folhas, e, também, da quantidade e organização das folhas presentes no dossel (PONZONI, 2007).

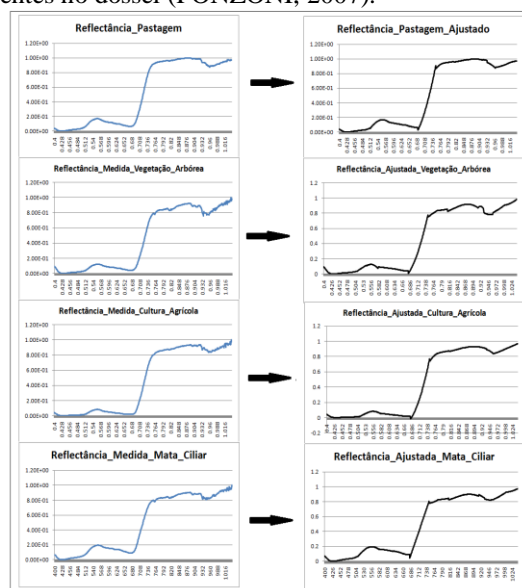


Figura 4 – À esquerda R_{sp} medida, à direita R_{sp} ajustada.

Cada curva espectral foi ajustada em intervalos espectrais específicos, o que possibilitou caracterizar cada tipo vegetal a partir de 20 modelos matemáticos.

Com o objetivo de verificar se as respostas de R, obtidas pelo sensor WV-2 foram compatíveis com as medidas realizadas “in situ”, calculou-se a área para mesmos intervalos espectrais de R e R_{sp}, dos alvos em estudo. Nas Tabelas 1, 2, 3 e 4, apresenta-se os valores das áreas calculadas em μm² de cada tipo vegetal, para os valores R e R_{sp}, em cada banda espectral.

Tabela 1. Valores de A_{esp} e A estimados a partir de R e R_{sp} para o alvo Pastagem

Pastagem		
Bandas	Imagem	Espectrorradiômetro
Blue Costal	0.0005	0.00045
Blue	0.0035	0.0019
Green	0.0125	0.0105
Yellow	0.0071	0.0069
Red	0.0645	0.0457
Red Edge	0.0403	0.0359
Infrared Near 1	0.1148	0.1094
Infrared Near 2	0.1854	0.1713

Tabela 2. Valores de A_{esp} e A estimados a partir de R e R_{sp} para o alvo Vegetação Arbórea

Vegetação Arbórea		
Bandas	Imagem	Espectrorradiômetro
Blue Costal	0.0005	0.0003
Blue	0.0012	0.0014
Green	0.0097	0.0052
Yellow	0.0061	0.0032
Red	0.0034	0.0091
Red Edge	0.0319	0.0215
Infrared Near 1	0.1091	0.0972
Infrared Near 2	0.1783	0.1598

Tabela 3. Valores de A_{esp} e A estimados a partir de R e R_{sp} para o alvo Cultura Agrícola

Cultura Agrícola		
Bandas	Imagem	Espectrorradiômetro
Blue Costal	0.0006	0.0004
Blue	0.0181	0.0034
Green	0.0203	0.0152
Yellow	0.0014	0.0032
Red	0.0042	0.0063
Red Edge	0.0351	0.0294
Infrared Near 1	0.1103	0.0994
Infrared Near 2	0.1833	0.1520

Tabela 4. Valores de A_{esp} e A estimados a partir de R e R_{sp} para o alvo Mata Ciliar

Mata Ciliar		
Bandas	Imagem	Espectrorradiômetro
Blue Costal	0.0004	0.0005
Blue	0.0012	0.0021
Green	0.0082	0.0150
Yellow	0.0057	0.0083
Red	0.0032	0.0055

Red Edge	0.0376	0.0325
Infrared Near 1	0.1110	0.0998
Infrared Near 2	0.1751	0.1513

As áreas indicadas nas tabelas mostram que, para a maioria dos intervalos espectrais, que os valores de R extraídos da imagem multiespectral foram superiores. Desconsiderando outras possíveis causas, Richards et al. (2000) relatam que este tipo de ocorrência pode ser associada à utilização de parâmetros empíricos superestimados para a correção atmosférica da imagem.

Na Figura 5 são apresentadas graficamente, as discrepâncias entre A e A_{esp} para os valores de R e R_{sp} dos tipos vegetais, para cada intervalo, calculadas a partir da equação 4.

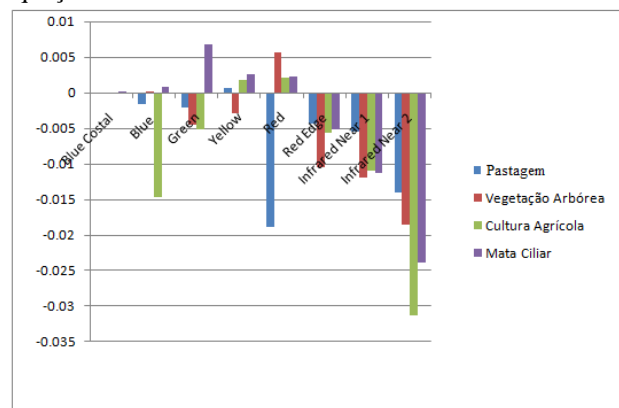


Figura 5 – Discrepâncias entre os valores de A e A_{esp} par os intervalos espectrais correspondentes às bandas da imagem WV-2.

Como as discrepâncias foram calculadas pela subtração A_{esp}, por A, predominam no gráfico da Figura 5 valores negativos, para o infravermelho próximo e para algumas bandas do visível. As exceções mais notáveis são as bandas do amarelo e do vermelho, para as quais o valor de R foi inferior a R_{sp}. Verifica-se, também, que o alvo Mata Ciliar define valores maiores de R_{sp} para todo o espectro visível. Ainda no espectro visível, Pastagem tem maior discrepância negativa na banda do vermelho, sendo o único alvo com esse comportamento nessa banda. As maiores discrepâncias entre valores medidos em campo e extraídos da imagem, ocorreram na nova banda do infravermelho próximo, sendo Cultura Agrícola o alvo mais discrepante.

As discrepâncias entre R e R_{sp} são naturalmente explicadas pelos diferentes tipos e densidade dos tipos vegetais considerados que, a partir de suas orientações espaciais exerceram influência fundamental na dinâmica da reflectância, pela variação nas geometrias de iluminação e visada (SCHOWENGERDT, 2006). Além disso, deve-se levar em conta o fato de que medidas em diferentes níveis de aquisição sofrem diferentes graus de interferência de outros alvos e do ambiente.

Os resultados obtidos com o cálculo da correlação (Equação 4) entre as medidas de A e A_{sp}, também evidenciaram a discrepância geral, apresentada na Figura 5 das áreas calculadas. Na Tabela 5, são apresentada as

correlações entre as medidas de R e R_{sp} , a partir dos valores de A_{esp} e A.

Tabela 5 – Correlação entre R e R_{sp} .

Tipo Vegetal	Correlação (%)
Pastagem	82.5
Mata Ciliar	60.4
Cultura Agrícola	58.7
Vegetação Arbórea	48.0

Ao analisar a Tabela 5 nota-se, uma alta correlação para os tipos vegetais, o que já era esperado devido às altas resoluções espacial e radiométrica da imagem WV-2.

Uma das causas para esta alta correlação para os padrões de vegetação é atribuída à presença de bandas espectrais adicionais, nas imagens WorldView2, *Yellow* e a *Red Edge*, as quais caracterizam e discriminam fortemente os padrões de vegetação (SOUZA, 2011).

Dentre os valores das correlações calculadas, a Pastagem apresentou o maior índice de correlação (82.5%), por se tratar de um dossel homogêneo. Os demais alvos resultaram em índices de correlação inferiores, devido aos aspectos rugosos presentes na cena, o que influenciou nos valores de R extraídos da imagem, fato que, em algumas ocasiões, não são levados em consideração em medidas radiométricas “in situ” (PONZONI, 2007).

5 CONCLUSÕES

O método por área, adotado para avaliar e comparar as diferenças entre as repostas espectrais dos valores de R e R_{sp} , mostrou-se eficiente para comparar as bandas espectrais da imagem WV-2 com dados hiperespectrais medidos “in situ” para os alvos considerados e nas condições específicas de aquisição.

As medidas obtidas diretamente da imagem WV-2, coincidem, de modo geral, com os valores de R_{sp} medidos “in situ”, por meio do FieldSpec e simuladas para as bandas do WV-2, com exceção da classe Vegetação Arbórea que, devido ao espalhamento múltiplo nas camadas inferiores do dossel (PONZONI, 2007), resultando em micro sombreamento, apresentou valor de R_{sp} maior que R.

REFERÊNCIAS

FERREIRA, M. S. **Aplicação de redes neurais artificiais na inferência espacial de clorofila a utilizando imagens multiespectrais**. 2011. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) UNESP, Presidente Prudente.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Editora da UFPR, 1994. 319p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da 2ª ed. por (pesquisadores do INPE): José Carlos N.

Epiphany (coordenador); Antonio R. Formaggio; Athos R. Santos; Bernardo F. T. Rudorff; Cláudia M. Almeida; Lênio S. Galvão. São José dos Campos: Parêntese. 672 p, 2009.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. *Applied Multivariate Statistical Analysis*, 6.ª edição. New Jersey: Prentice Hall. 2007.

KAMPEL, M.; LORENZETTI, J.A.; BENTZ, C.M.; NUNES, R.A.; PARANHOS, R.; RUDORFF, F.M.; POLITANO, A.T. *Simultaneous measurements of chlorophyll concentration by Lidar, fluorometry, above-water radiometry, and ocean color MODIS images in the Southwestern Atlantic*. **Sensors**. v. 9, p. 528-541, 2009.

MARCHISIO, G.; PACIFIO, F.; PADWICK, C. *On the relative predictive value of the new spectral bands in the WorldView-2 sensor*. **IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium**, IGARSS 2010, July 25-30, 2010, Honolulu, Hawaii, USA, Proceedings; 01/201

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 1992. 308p.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos, SP. Editora Parêntese, 2007.

RICHARD, G. K.; YORAN, J. K.; GAO, B. C.; LORRAINE, A. R.; BRACKETT, V. G.; FERRARE A. R.; BROWELL, F. V.; SYED I. *Remote sensing of total precipitable water vapor in the near-IR over ocean glint*. **Geophysical Research Letters** 27:17, 2657. (2000)

SOUZA, M. N.; ALMEIDA, W. S. Avaliação das informações espectrais dos dados WorldView 2/Digital Globe para classificação temática de uso e cobertura do solo. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.104.

SABO BOSCHI, L. **Espacialização do biovolume de plantas aquáticas submersas a partir da integração de dados obtidos por sensores remotos**. 2011. 92 f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) UNESP, Presidente Prudente.

SCHOWENGERDT, R. A. *Remote Sensing: models and methods for image processing*. V. 3. London: Academic Press, 2006.

UPDIKE, T.; COMP, C. *Radiometric use of World View-2 imagery*. **Technical Note**. Digital Globe, 2010.

WOLF, Paul. *Elements of Photogrammetry*. McGraw Hill, 2000. 562 p.