

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA E
GEOCIÊNCIAS**

**ESTUDO DA RESPOSTA ESPECTRAL DE ALVOS
URBANOS COM ESPECTROSCOPIA DE
REFLECTÂNCIA E IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO
ESPACIAL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Gloria Yamileth Bolívar Durán

**Santa Maria, RS, Brasil
2014**

ESTUDO DA RESPOSTA ESPECTRAL DE ALVOS URBANOS COM ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA E IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL

Gloria Yamileth Bolívar Durán

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, Área de Concentração em Análise Ambiental e Dinâmica Espacial, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Geografia**.

Orientador: Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho

Santa Maria, RS, Brasil 2014

BOLÍVAR DURÁN, GLORIA YAMILETH
ESTUDO DA RESPOSTA ESPECTRAL DE ALVOS URBANOS
COM ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA E IMAGENS DE ALTA
RESOLUÇÃO ESPACIAL / GLORIA YAMILETH BOLÍVAR DURÁN .-2014.
209 p. ; 30 cm

Orientador: WATERLOO PEREIRA FILHO
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro
de Ciências Naturais e Exatas, Programa de Pós – Graduação em Geografia
e Geociências, RS, 2014

1. COMPORTAMENTO ESPECTRAL 2. RADIOMETRIA 3.
MATERIAIS URBANOS 4. SPECTRAL ANGLE MAPPER I. PEREIRA
FILHO, WATERLOO II. Título.

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática
da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Gloria Yamileth Bolívar Durán. A reprodução
de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Av. Universidad. La Candelaria. Caracas - Venezuela

E-mail: gloriab.ucv@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Naturais e Exatas
Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ESTUDO DA RESPOSTA ESPECTRAL DE ALVOS URBANOS COM
ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA E IMAGENS DE ALTA
RESOLUÇÃO ESPACIAL**

elaborada por
Gloria Yamileth Bolívar Durán

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geografia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Waterloo Pereira Filho, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Liane de Souza Weber, Dr^a. (UFSM)
(Comissão Examinadora)

Lênio Soares Galvão, Dr. (INPE)
(Comissão Examinadora)

Santa Maria, 10 de Dezembro de 2014

Dedico a Deus
meu amigo que nunca falha
e minha mãe
Guillermina
Meu anjo na terra

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser meu amigo que nunca falha, muito obrigada pela constante companhia, proteção, bençãos e estender Tua mão em cada momento de procura.

À Fundacion Gran Mariscal de Ayacucho (FUNDAYACUCHO), pelo apoio financeiro e a Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de realizar este mestrado.

Agradeço a meu orientador, Prof. Waterloo Pereira Filho, pela confiança depositada, compreensão, incentivo, paciência e disposição para realização desta dissertação de mestrado

A minha co-orientadora Prof. Tatiana Mora Kuplich, pela amizade, carinho, apoio, paciência, compreensão, incentivo e disposição para fazer o trabalho de campo, assim como a vontade de disponibilizar o espectrorradiômetro e as imagens utilizadas na pesquisa, muito obrigada por fazê-lo possível.

Aos professores Fabio Breunig e Manoel de Araújo Sousa Junior pela disponibilidade em analisar este trabalho e suas valiosas sugestões e contribuições

À Prefeitura Municipal de Santa Maria pelo material disponibilizado para a realização deste trabalho. Ao Sr. João Rosa da loja Cia das Telhas e Tijolos por disponibilizar as amostras de telhas que foram utilizadas nas medições espectrorradiométricas, assim como ao pessoal da loja Walter Beltrame e Cia Ltda, por fornecer dados sobre os tipos de telhado mais utilizados na cidade.

A minha mãe, Guillermina Duran, por todo amor e carinho, que confiou em mim e nas minhas escolhas, sempre me apoiando e torcendo pelo meu sucesso.

A Fani Araque, Silvia Pavão, Silvia Pardi, Alecsandra Cunha, Jesus Lemus, Javier Guevara, Angel Vargas, Sonia Rojas, Graça e German, Leila e Marco Behr pela amizade, força, carinho, paciência, confidências, desabafos, risadas e apoio que me deram nas horas mais difíceis, vocês fazem parte desta conquista.

Aos meus colegas Makele Rosa, Edison Alberti, Felipe Correia, Diego de Almeida Prado, Luis Costa, pelo companheirismo e ajudas frequentes.

Agradeço principalmente aqueles não foram citados por falta de espaço, mas manifesto minha consideração, meu reconhecimento e gratidão com a certeza do quanto todos foram importantes para concretizar direta ou indiretamente este trabalho. A todos o meu muito obrigada.

Às vezes para se chegar à glória não é necessária uma vitória,
basta ter coragem, determinação e força de vontade,
e tudo isso é extraordinário diante de tal triunfo

Ocelo Moreira

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências
Universidade Federal de Santa Maria

ESTUDO DA RESPOSTA ESPECTRAL DE ALVOS URBANOS COM ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA E IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL

AUTORA: GLORIA YAMILETH BOLIVAR DURAN

ORIENTADOR: WATERLOO PEREIRA FILHO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 10 de dezembro de 2014.

As áreas urbanas estão constituídas por um conjunto diversificado de materiais dispostos de forma complexa pelo homem para sua sobrevivência. O sensoriamento remoto é uma ferramenta com potencial para obtenção de dados espectrais de materiais urbanos e suas condições. Neste trabalho foi realizada a caracterização do comportamento espectral de alvos urbanos em um setor da cidade de Santa Maria – RS, mostrando a capacidade espectral de discriminação de alvos urbanos nos sensores GeoEye-1 e HRG-1/SPOT 5. A análise foi realizada a partir da organização de uma biblioteca espectral de materiais urbanos construída com as medições de campo e seleção de espectros de referência nas imagens. As análises qualitativas e quantitativas aplicadas permitiram a identificação e descrição das características dos alvos urbanos considerados. Foi avaliada a potencialidade de identificação espectral dos materiais urbanos, utilizando a técnica de mapeamento espectral *SAM* (*Spectral Angle Mapper*) e a reamostragem das curvas espectrais utilizando as funções de resposta espectral (FRE's) dos sensores GeoEye-1 e HRG-1/SPOT 5. Os resultados obtidos mostraram que: (1) Em alguns casos a diferenciação entre alvos foi por apenas pequenas diferenças de magnitude nos valores de reflectância; (2) As medições de campo foram realizadas com o espectrorradiômetro FieldSpec® HandHeld 2 cuja faixa espectral atinge o VIS e parcialmente o NIR, sendo isto um fator limitante na análise de alvos com feições características no SWIR; (3) Materiais com cobertura colorida mostram uma resposta espectral associada a tinta e não do material base; (4) Materiais como telhas de cerâmica vermelha, estradas de terra e quadras de saibro preservam as propriedades de reflectância do material base; (5) Os alvos fabricados com concreto, telhas de amianto, telha shingle, asfalto, brita, calçamentos de rochas tipo paralelepípedo e irregulares preto, telha de aço e zinco, sempre que não possuam alguma camada de tinta na superfície, apresentam feições espectrais sem variações definidas que causam confusão no momento da classificação; (6) As ações do intemperismo sobre os alvos urbanos afetam a resposta espectral dos materiais; (7) A reamostragem das curvas espectrais mostrou que a forma dos espectros de campo e imagens é preservada na maioria dos casos embora a amplitude de reflectância absoluta apresentasse variações; (8) A técnica *SAM* com algumas limitações possibilitou a identificação de alvos urbanos com exatidão maior a 50%. A imagem GeoEye-1 possibilita uma aproximação a discriminar alguns padrões intraurbanos, aspecto que é limitado na imagem HRG-1/SPOT 5.

Palavras-chave: Comportamento Espectral. Radiometria. Materiais Urbanos. Spectral Angle Mapper.

ABSTRACT

Master Course Dissertation
Professional Graduation Program in Geography and Geosciences
Federal University of Santa Maria - Brazil

SPECTRAL RESPONSE STUDY OF URBAN TARGETS WITH REFLECTANCE SPECTROSCOPY AND HIGH RESOLUTION IMAGES

AUTHOR: GLORIA YAMILETH BOLIVAR DURAN

ADVISER: WATERLOO PEREIRA FILHO

Defense Place and Date: Santa Maria, December 10th, 2014.

Urban areas are composed with diverse set of materials arranged in a complex way by man for its survival. Remote sensing is the tool with potential for obtain spectral data of urban materials and their conditions. This study presents the spectral characterization behavior of urban targets in part of Santa Maria city e showed the spectral discrimination capability of urban targets with GeoEye-1 and *HRG-1/SPOT 5* sensors. A spectral library of urban materials was created to analysis with field spectral measurements and specification of reference spectrum in the images. Qualitative and quantitative analysis was applied to identify and describe urban targets characteristics. Finally the capability of spectral identification of urban materials was evaluated, using Spectral Angle Mapper (SAM) technique and spectral resampling technique with the spectral response function of GeoEye-1 and *HRG-1/SPOT 5* sensors for comparing reference spectrum chosen. The results showed that: (1) In some cases the distinction between targets was for only small differences in magnitude. (2) The field measurements were performed with a FieldSpec® HandHeld 2 spectroradiometer, which use VIS and partially NIR spectral range, a limiting factor in the analysis of targets with distinctive features in the SWIR. (3) Materials with some colorful cover showed spectral responses correspond to the ink, but not on the type of material. (4) Materials as red ceramic tiles, dirt roads and clay courts preserve the reflectance properties of the base material, (5) The manufactured targets with concrete, asbestos tiles, shingle tile, asphalt, gravel, cobblestone pavements, steel and zinc tile, always lacking some paint cover on the surface, exhibit no spectral features defined variations that cause confusion at the classification, (6) The weathering actions on urban targets affect the spectral response of the materials. (7) The resampling of spectral curves showed the spectral shape of images and field measurements was preserved in most cases even though the absolute amplitude reflectance has variations. (8) The SAM technique with some limitations allowed the identification of urban targets with greater than 50% accuracy. The GeoEye-1 image enables an approach to discriminate some intra-urban patterns, an aspect that the *HRG-1/SPOT 5* image does not.

Keywords: Spectral Signature. Radiometry. Urban Materials. Spectral Angle Mapper.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Esquema representativo dos quatro elementos fundamentais das técnicas de sensoriamento remoto.....	37
Figura 2.2. Curvas espectrais referenciais. 2.2-A: Reflectância de materiais urbanos comuns. 2.2-B: Reflectância para alguns recursos naturais. 2.2-C: Comportamento espectral de telhados, concreto e asfalto. 2.2-D: Reflectância para alguns materiais terrestres.....	48
Figura 2.3 - Curvas espectrais referenciais. 2.3-A: Reflectância do asfalto. 2.3-B: Reflectância segundo as condições da superfície do asfalto.....	53
Figura 2.4. Curvas espectrais referenciais. 2.4-A: Feições de absorção de tintas para revestimento de materiais. 2.4-B: Curvas espectrais de águas brancas, escuras e claras.....	55
Figura 2.5 - Curvas espectrais referenciais. 2.5-A: Teor de óxido de ferro e minerais opacos. 2.5-B: Curvas típicas de reflectância do solo. 2.5-C: Espectros de reflectância de óxidos de ferro, hidróxidos de ferro e sulfatos de ferro. 2.5-D: Espectros de reflectância de goethita e hematita.....	58
Figura 2.6 - Espectros de reflectância: 2.6-A Granito, 2.6-B Concreto, 2.6-C Basalto, 2.6-D Brita.....	60
Figura 2.7 - Distância angular entre um espectro de referência e espectros de teste em um espaço de atributos bidimensional. O ângulo α entre o espectro de referência e o espectro de teste (a) define a semelhança espectral no conceito SAM. O ângulo máximo $\alpha_{\text{máx}}$ que separa os espectros de teste de um ou mais espectros de referência é estabelecido como critério para inclusão ou exclusão de classe (b)..	67
Figura 3.1 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos.....	75
Figura 4.1 - Respostas espectrais de vegetação, água e solo exposto nas imagens de reflectância GeoEye-1 (RGB 3-2-1) e SPOT 5 (RGB 4-1-2).....	89
Figura 4.2 - Comparação de correspondência espacial entre as imagens [A] GeoEye-1 (RGB 3-2-1) e [B] SPOT 5 (RGB 4-1-2) e sendo esta última a que possui melhor definição dos objetos, já ortoretificadas e ajustadas.....	90
Figura 4.3 - Correspondência espacial entre a imagem GeoEye-1 (esquerda) e imagem SPOT 5 (direita) com a base digital de ruas municipais.....	91
Figura 4.4 - Descrição dos materiais urbanos encontrados na área de estudo, que puderam ser identificados nas imagens e foram realizadas medições espectrorradiométricas.....	95
Figura 4.5 - Espectros de materiais associados a telhados.....	98
Figura 4.6 - Espectros de materiais associados a telhados de cerâmica vitrificadas.....	99
Figura 4.7 - Espectros de materiais associados a telhados de concreto de cores.....	101
Figura 4.8 - Espectros de materiais associados a pavimentos.....	102
Figura 4.9 - Espectros de materiais associados a outros alvos urbanos.....	103
Figura 4.10 - Curvas de reflectância dos alvos estradas de terra, telhas de cerâmica, quadra de tênis com saibro e granito.....	106
Figura 4.11 - 1ª derivada dos alvos: (A) estradas de terra, quadra de Tênis com saibro e granito. (B) telhas de cerâmica.....	107
Figura 4.12 - Resultado da remoção do contínuo para as telhas de cerâmica, estrada de terra, quadra de tênis de saibro e granito.....	108
Figura 4.13 - Curvas de reflectância (A) Telhas de cerâmica vitrificadas (B) Telhas de	

concreto. Ambos os tipos com coloração.	110
Figura 4.14 - 1ª derivada das telhas vitrificadas: (A) azul claro e escuro (B) Marrom claro e escuro, verde (C) cinza e cinza claro (D) Remoção do contínuo aplicado às telhas de cerâmica vitrificada. 1ª derivada das telhas de concreto: (E) amarelo e caqui (F) laranja, vermelho e roxo.	112
Figura 4.15 - Remoção do contínuo aplicado às telhas de concreto.	113
Figura 4.16 - Curvas de reflectância dos alvos telhas de concreto de tons cinza, telha de concreto plana, tetos de concreto em edificações, calçada de concreto, blocos de concreto pré-moldados, telhas de amianto e brita calcária.	115
Figura 4.17 - 1ª derivada: (A) Telhas de concreto de tons cinza e telha de concreto plana (B) blocos de concreto pré-moldados e calçada de concreto de superfície contínua, (C) Telhas de amianto e brita calcária, (D) Tetos de concreto.	117
Figura 4.18 - Remoção do contínuo aplicado: (A) Telhas de concreto, (B) Blocos de concreto pré-moldados e calçada de concreto de superfície contínua, (C) Cobertura de concreto em tetos, (D) Telhas de amianto, brita calcária e teto de concreto sujo.	119
Figura 4.19 - Curvas de reflectância de telhas de zinco.	121
Figura 4.20 - 1ª derivada: (A) Telhado de zinco normal, (B) Telhas de zinco pintadas.	122
Figura 4.21 - Remoção do contínuo: (A) Telhado de zinco normal, (B) Telhas de zinco pintadas.	122
Figura 4.22 - Curvas de reflectância (A) Telhas de plástico e fibra de vidro (B) Grama sintética e grama natural.	124
Figura 4.23 - 1ª derivada: (A) Telha de plástico e fibra de vidro, (B) Grama natural e sintética.	125
Figura 4.24 - Remoção do contínuo aplicado: (A) Telha de plástico e fibra de vidro, (B) Grama natural e grama sintética.	125
Figura 4.25 - Curvas de reflectância de calçamento de paralelepípedo e rocha irregular preto, asfalto, brita e telha <i>shingle</i>	127
Figura 4.26 - (A) 1ª derivada de asfalto 1, 2, e telha <i>shingle</i> . (B) Remoção do contínuo de asfalto 1, 2, e telha <i>shingle</i>	128
Figura 4.27 - (A) 1ª derivada das amostras do calçamento de paralelepípedo preto. (B) Remoção do contínuo das amostras do calçamento de paralelepípedo preto.	129
Figura 4.28 - (A) 1ª derivada das amostras de brita. (B) Remoção do contínuo das amostras de brita.	130
Figura 4.29 - Classes de alvos considerados na classificação da imagem GeoEye-1 e na SPOT 5 (somente aquelas sinalizadas com (*)).	134
Figura 4.30 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para o telhado de amianto.	135
Figura 4.31 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para as telhas de ardósia.	136
Figura 4.32 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para o calçamento de rocha preta irregular.	137
Figura 4.33 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para o calçamento de paralelepípedo preto.	138
Figura 4.34 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem	

SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para o asfalto.	139
Figura 4.35 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para a telha <i>shingle</i>	140
Figura 4.36 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para brita.	141
Figura 4.37 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para o calçamento de paralelepípedo rosa.	142
Figura 4.38 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para as estradas de terra.	143
Figura 4.39 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para as áreas de solo exposto. A imagem mostra a clara discriminação das áreas de solo exposto e confusão com estrada de terra.	144
Figura 4.40 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para as quadras de saibro.	144
Figura 4.41 - Duas amostras de áreas diferentes com composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, imagem SAM das telhas de cerâmica nova (ângulo) ao centro e imagem SAM das telhas de cerâmica velha (ângulo).	145
Figura 4.42 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para uma pista com brita calcária.	146
Figura 4.43 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para blocos de concreto pré-moldados antigos e novos.	147
Figura 4.44 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para concreto novo e velho.	149
Figura 4.45 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para tetos de concreto e telha de concreto.	150
Figura 4.46 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) ao centro, com os valores angulares correspondentes para telhas de aço e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes a telha de zinco.	151
Figura 4.47 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para os corpos de água identificados. As imagens A e C mostram a identificação e diferenciação dos corpos de água de tonalidade marrom e verde.	152
Figura 4.48 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para as piscinas identificadas. As imagens A e B mostram a identificação das piscinas residenciais e localizadas em clubes respectivamente.	153
Figura 4.49 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para lonas de PVC identificadas.	154

Figura 4.50 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para grama natural (Figura 4.50-1A e 4.50-1B) e vegetação (Figura 4.50-2A e 4.50-2B). A imagem 4.50-1B mostra a discriminação com uma quadra de grama sintética (quadro amarelo).	155
Figura 4.51 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para grama sintética.	156
Figura 4.52 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G1-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para telha de amianto.	163
Figura 4.53 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G1-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para asfalto.....	163
Figura 4.54 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G1-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para concreto.	164
Figura 4.55 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G3-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para telha de metal.	164
Figura 4.56 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G1-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para corpos de água.	165
Figura 4.57 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G1-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para grama e separação da vegetação arbustiva.	165
Figura 4.58 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G1-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para estradas de terra.....	166
Figura 4.59 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G1-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para solo exposto.....	166
Figura 4.60 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G1-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para quadra de saibro.	167
Figura 4.61 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G1-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para telha de cerâmica.....	167
Figura 4.62 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G1-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para calçamento de paralelepípedo preto.	168
Figura 4.63 - Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G1-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para calçamento de paralelepípedo rosa.....	168
Figura 4.64 - Identificação de corpos de água, piscinas, calçamentos de concreto e pedra irregular preto, solo exposto, quadra de tênis e futebol, telhas de cerâmica, grama e vegetação arbórea, aspectos que sugerem que se trata de uma área recreativa.	172
Figura 4.65 - Na Figura 4.65- A, a identificação de diversos alvos na imagem	

GeoEye-1, sugere que se trata de um condomínio fechado ou horizontal. A Figura 4.65 B mostra a mesma área de urbanismo classificada na imagem SPOT 5, apenas foi possível discriminar adequadamente a cobertura natural (vegetação e grama).173

Figura 4.66 - Reamostragem dos espectros obtidos em campo para simulação espectral do sensor GeoEye-1. A Figura 4.66-A corresponde às curvas espectrais dos alvos na imagem e a Figura 4.66-B correspondem às curvas espectrais obtidas com o espectroradiômetro. Os alvos considerados são: Brita, Calçamento de paralelepípedo e rocha irregular preta, Asfalto, Telha *shingle* e de amianto velho. .177

Figura 4.67 - Reamostragem dos espectros obtidos em campo para simulação espectral do sensor GeoEye-1. A Figura 4.67-A corresponde às curvas espectrais dos alvos na imagem e a Figura 4.67-B corresponde às curvas espectrais obtidas com o espectroradiômetro. Os alvos considerados são concreto, calçamento de paralelepípedo rosa e brita calcária.177

Figura 4.68 - Reamostragem dos espectros obtidos em campo para simulação espectral do sensor GeoEye-1. A Figura 4.68-A corresponde às curvas espectrais dos alvos na imagem e a Figura 4.68-B corresponde às curvas espectrais obtidas com o espectroradiômetro. Os alvos considerados são estradas de terra, quadra de saibro (seca e úmida), grama natural e sintética.178

Figura 4.69 - Reamostragem dos espectros obtidos em campo para simulação espectral do sensor *HRG-1/SPOT 5*. A Figura 4.69-A corresponde às curvas espectrais dos alvos na imagem e a Figura 4.69-B corresponde às curvas espectrais obtidas com o espectroradiômetro. Os alvos considerados são: Calçamento de paralelepípedo e rocha irregular preto, asfalto e telhas de amianto velho.....180

Figura 4.70 - Reamostragem dos espectros obtidos em campo para simulação espectral do sensor *HRG-1/SPOT 5*. A Figura 4.70-A corresponde às curvas espectrais dos alvos na imagem e a Figura 4.70-B corresponde às curvas espectrais obtidas com o espectroradiômetro. Os alvos considerados são: Concreto, Calçamento de paralelepípedo rosa, asfalto e brita calcária.....181

Figura 4.71 - Reamostragem dos espectros obtidos em campo para simulação espectral do sensor *HRG-1/SPOT 5*. A Figura 4.71-A corresponde às curvas espectrais dos alvos na imagem e a Figura 4.71-B corresponde às curvas espectrais obtidas com o espectroradiômetro. Os alvos considerados são: Quadra de saibro, Estrada de terra, Grama natural e sintética.182

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Grandezas radiométricas de acordo com o Sistema Internacional de Medidas (SI).....	41
Tabela 3.1 - Tipos de materiais urbanos considerados para medições com espectrorradiômetro.....	80
Tabela 4.1 - Características da superfície dos materiais estudados.....	96
Tabela 4.2 - Tabela 4.2. Amostras de materiais urbanos (classes) utilizadas na aplicação da técnica de classificação SAM nas imagens GeoEye-1 e HRG-1/SPOT 5.....	132
Tabela 4.3 - Matriz de confusão a partir da classificação da imagem GeoEye-1 (em porcentagem).....	158
Tabela 4.4 - Matriz de confusão a partir da classificação da imagem HRG-1/SPOT 5 (em porcentagem).....	169
Tabela 4.5. Coeficientes de correlação (r) associados às amostras medidas com o espectrorradiômetro e as imagens. Em negrito os alvos com correlação significativa.....	184

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADS	- Airborne Digital Sensor
ASTER	- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
AVIRIS	- Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer
BASM	- Base Aérea de Santa Maria
CNES	- Centre national d'études spatiales
DOS	- Dark Object Subtraction
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENVI	- Environment for Visualizing Images
ERDAS	- Earth Resources Digital Analysis System
FOV	- Campo de Visada Total
FRBE	- Fator de reflectância bidirecional espectral
FRE	- Função de Resposta Espectral
FWHM	- Full Width at Half Maximum
GLGF	- Global Land Cover Facility
GPS	- Global Positioning System
HRG	- High Resolution Geometric
HRV	- High Resolution Visible
HRVIR	- High Resolution Visible Infrared
HSS	- <i>Hyperspectral Scanner System</i>
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPLAN	- Instituto de Planejamento do Município de Santa Maria
JPL	- Jet Propulsion Laboratory
Landsat	- Land Remote Sensing Satellite
MDE	- Modelo Digital de Elevação
MINEROPAR	- Serviço Geológico do Paraná
MNET	- Modelo Numérico de Elevação do Terreno
ND	- Número Digital
NIR	- Near Infrared
Nm	- Nanómetros
PVA	- Polyvinyl Acetate (acetato de polivinila)
PVC	- Polyvinyl chloride (policloreto de vinil)
Q	- Energía Radiante
r	- coeficiente de correlação
rad	- radianos
RBE	- Reflectância Bidirecional espectral
REM	- Radiação Eletromagnética
RGB	- Red, Green, Blue
RMSE	- Root-mean-square error
RPC	- Rational Polynomial Coefficients

SAM	- Spectral Angle Mapper
SEMA -RS	- Secretaria do Meio Ambiente de Rio Grande do Sul
SFF	- Spectral Angle Mapper
SI	- Sistema Internacional de Medidas
SPOT	- (Système Probatoire d'Observation de la terre)
Sr	- Esterradiano
SR	- Sensoriamento Remoto
SSTC	- Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles
SWIR	- Short-wave infrared
t	- t de student
TM	- Thematic Mapper
UFMS	- Universidade Federal de Santa Maria
USGS	- United State Geological Survey
UTM	- Universal Transversa de Mercator
VIS	- Visible
VNIR	- Visible and near-infrared
WGS	- World Geodetic System

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
1.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO	28
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	35
2.1 ESPAÇO URBANO	35
2.2 SENSORIAMENTO REMOTO	36
2.2.1 INTRODUÇÃO	36
2.2.2 SENSORES MULTIESPECTRAIS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL	38
2.2.2.1 SPOT	39
2.2.2.2 GEOEYE	39
2.2.3 GRANDEZAS RADIOMÉTRICAS	40
2.3 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ALVOS URBANOS	44
2.3.1 INTRODUÇÃO	44
2.3.2 SUPERFÍCIES DE ÁREAS URBANAS	46
2.3.2.1 Telhas de Cerâmica	47
2.3.2.2 Concreto	48
2.3.2.3 Telhas metálicas	50
2.3.2.4 Telhas de amianto	51
2.3.2.5 Telha shingle	51
2.3.2.6 Lona de PVC	52
2.3.2.7 Telhas translúcidas	52
2.3.2.8 Asfalto	52
2.3.2.8 Sobre a pigmentação dos materiais	54
2.3.2.9 Alvos naturais	55
2.3.3 INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA COM SOLOS, ROCHAS E MINERAIS	56
2.4 ANÁLISE ESPECTRAL	61
2.4.1 AQUISIÇÃO DE DADOS ESPECTRAIS EM CAMPO	61
2.4.2 TÉCNICAS DE ANÁLISE ESPECTRAL	63
2.4.2.1 Filtro de Média Móvel	64
2.4.2.2 Análise Derivativa	64
2.4.2.3 Remoção do Contínuo	65
2.4.2.4 Mapeador de Ângulo Espectral (SAM)	66
2.5 REAMOSTRAGEM DE BANDAS ESPECTRAIS	68
2.6 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	69
2.6.1 MATRIZ DE CONFUSÃO	70
2.6.2 ÍNDICE KAPPA	70
2.6.3 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO	71
2.6.4 TESTE DE HIPÓTESE	71
2.7 DISCRIMINAÇÃO DE PADRÕES URBANOS	72
3 MATERIAIS E MÉTODOS	75
3.1 PREPARAÇÃO DOS DADOS	76
3.1.2 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS	76
3.1.2.1 Correção radiométrica	76
3.1.2.2 Correção geométrica	78
3.2 SELEÇÃO DE ÁREAS AMOSTRA	80
3.2.1 MEDIÇÕES ESPECTRORRADIOMÉTRICAS DE CAMPO	81
3.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS	82

3.3.1 CRIAÇÃO DA BIBLIOTECA ESPECTRAL DE CAMPO.....	82
3.3.2 FILTRO DE MÉDIA MÓVEL	83
3.3.3 ANÁLISE DERIVATIVA.....	83
3.3.4 REMOÇÃO DO CONTÍNUO.....	84
3.4 COMPARAÇÃO ESPECTRAL.....	85
3.4.1 MAPEADOR DE ÂNGULO ESPECTRAL (SAM).....	86
3.4.2 REAMOSTRAGEM DE BANDAS ESPECTRAIS.....	87
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	89
4.1 PRÉ-PROCESSAMENTO E CORREÇÃO RADIOMÉTRICA DAS IMAGENS GEOEYE-1 E HRG-1/SPOT 5.....	89
4.1.1 CORREÇÃO GEOMÉTRICA	90
4.2 DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS URBANOS ENCONTRADOS.....	91
4.3 BIBLIOTECA ESPECTRAL DE CAMPO.....	96
4.4 DESCRIÇÃO DOS ESPECTROS URBANOS.....	104
4.4.1 PRIMEIRO GRUPO: ESTRADAS DE TERRA, TELHAS DE CERÂMICA, QUADRAS DE SAIBRO E GRANITO.	105
4.4.2 SEGUNDO GRUPO: TELHAS DE CERÂMICA VITRIFICADAS E TELHAS DE CIMENTO COLORIDAS.	109
4.4.3 TERCEIRO GRUPO: MATERIAIS DE CONCRETO, TELHAS DE AMIANTO E A BRITA CALCÁRIA.	114
4.4.4 QUARTO GRUPO: TELHAS DE ZINCO.....	120
4.4.5 QUINTO GRUPO: TELHA DE PLÁSTICO, TELHA DE FIBRA DE VIDRO, GRAMA NATURAL E GRAMA SINTÉTICA.	123
4.4.6 SEXTO GRUPO: CALÇAMENTO DE PARALELEPÍPEDO E ROCHA IRREGULAR PRETO, ASFALTO, BRITA E TELHA <i>SHINGLE</i>	126
4.5 RESULTADOS OBTIDOS COM A TÉCNICA DE MAPEAMENTO DE ÂNGULO ESPECTRAL (SAM).....	131
4.5.1 RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO SAM NA IMAGEM GEOEYE-1.	135
4.5.2 RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO SAM NA IMAGEM SPOT 5.	162
4.6 REAMOSTRAGEM DAS BANDAS ESPECTRAIS.....	174
4.6.1 REAMOSTRAGEM ESPECTRAL PARA SIMULAÇÃO DO SENSOR GEOEYE-1.....	175
4.6.2 REAMOSTRAGEM ESPECTRAL PARA SIMULAÇÃO DO SENSOR HRG-1/SPOT 5.	179
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	187
REFERÊNCIAS	195

1 INTRODUÇÃO

A área urbana é um dos sistemas mais dinâmicos e variados do planeta, é resultado da ação humana em um ambiente natural. Com o crescimento da população, a distribuição do espaço urbano vai mudando e os limites entre áreas urbanas e não urbanas podem ser atualizados com ajuda de imagens de satélite, considerando não só a localização, mas também os materiais nela utilizados, já que estes materiais oferecem informação quanto aos tipos de ocupação na área urbanizada.

As áreas urbanas são compostas de objetos com diferentes formas e materiais e podem ser encontrados alvos variados, tais como: concreto, asfalto, brita, calçamentos de paralelepípedos (ruas e avenidas), telhados de diversos materiais, solo exposto, grama, árvores, corpos d'água. Essa diversidade de alvos é uma das maiores dificuldades encontradas na utilização de dados de sensoriamento remoto em estudos de áreas urbanas, isso por causa da heterogeneidade e complexidade das feições espectrais encontradas de alvos com características físico-químicas variáveis (FORSTER, 1985; MYINT et al. 2006; LOMBARDO; MACHADO, 2011).

Apesar dos recentes avanços e melhoras, a caracterização de padrões morfológicos intraurbanos a partir de imagens de satélite de alta resolução espacial e radiométrica continua sendo um grande desafio. Nesse sentido, as aplicações do sensoriamento remoto hiperespectral, tanto imageador como não imageador, começaram ser aplicadas à investigação de áreas urbanas na busca do conhecimento de características e problemas resultantes da ação antrópica que não podem ser identificados em detalhe com outros sensores multiespectrais existentes (MOREIRA, 2008).

Geralmente, nas áreas urbanas, quanto mais elevada seja a resolução espacial dos dados de sensores remotos, mais detalhada é a informação que se pode extrair. Os sensores multiespectrais GeoEye-1 e *HRG-1/SPOT 5* possuem quatro bandas multiespectrais na faixa do espectro visível até o Infravermelho próximo, mas com diferente resolução espacial nominal, sendo 1,6 x 1,6 m na GeoEye-1 e 10 x 10m na SPOT 5. Estes sensores fornecem certos tipos de

informação urbana a diferentes níveis de detalhe. O sensor GeoEye-1 oferece dados submétricos e permite discriminar e/ou identificar tipos de cobertura do solo urbano, enquanto o sensor *HRG-1/SPOT 5*, com resolução espacial métrica pode ser útil para discriminar a cobertura da terra de forma grosseira (JENSEN, 2009).

Algumas aplicações podem ser elaboradas a partir de dados de sensores remotos hiperespectrais, coletando medidas espectrais de alvos urbanos em campo para mostrar como os diferentes componentes urbanos podem contribuir na reflectância espectral urbana (JENSEN, 2009).

Tendo em vista o grande potencial de uso de técnicas de sensoriamento remoto para estudos urbanos o tema central da presente dissertação de mestrado refere-se a identificar e caracterizar o comportamento espectral de alvos urbanos na área urbana de Santa Maria, localizada no Rio Grande do Sul, que é uma cidade média com posição geográfica estratégica, por situar-se no centro do estado.

Existem vários trabalhos referentes à temática apresentada nesta pesquisa, Zanini et al. (2010) identificou o comportamento espectral de alvos urbanos (asfalto, concreto, basalto, granito e estrada sem pavimentação), utilizando um espectrorradiômetro para estabelecer sua relação com as bandas espectrais do sensor ASTER, em uma área do campus da Universidade Federal de Santa Maria e na Base Aérea de Santa Maria – RS, mostrando que não foi possível diferenciar os alvos, o que mostra que os sensores de média resolução espacial, como o ASTER não permitem a diferenciação adequada de alvos urbanos.

Estudos sobre comportamento espectral de alvos urbanos para discriminá-los utilizando medições com espectrorradiômetro de diferentes tipos de materiais urbanos foram realizados por Ben-Dor e Saaroni (2001), Herold et al. (2003b), Herold e Roberts (2005), Sousa e Kux (2005), Heiden et al., (2007), Moreira et al. (2007), Pascucci et al. (2008), Pinho et al. (2009), Pinho et al. (2011), Nasarudin e Shafri (2011), Kruse (2012) e Bolivar et al.(2013).

Um dos trabalhos encontrados com uma abordagem mais completa da temática foi realizado por Moreira (2008), que estudou a caracterização espectral e discriminação de alvos urbanos na cidade de São José dos Campos/SP, utilizando imagens hiperespectrais do sensor aerotransportado *HSS* e uma biblioteca espectral de materiais urbanos com medições de laboratório e campo. Este autor testou o potencial do uso das técnicas *Spectral Angle Mapper (SAM)* e *Spectral Feature Fitting (SFF)* para a identificação de materiais urbanos e demonstrou que os

espectros de reflectância de alvos urbanos da imagem *HSS* corresponderam aos das medições de campo e que a técnica *SAM* possibilitou boa identificação de classes genéricas de alvos urbanos.

O uso sinérgico de múltiplos dados e técnicas de sensores remotos em uma mesma investigação contribuem para constituir fontes de referência sobre tipos de cobertura do solo urbano, visando à discriminação de padrões urbanos. A aplicação da técnica de espectroscopia de reflectância tem a função de medir em diferentes comprimentos de onda a energia eletromagnética refletida da superfície dos materiais constituintes das áreas urbanas.

As regiões espectrais que abrangem as bandas dos sensores multiespectrais *GeoEye-1* e *HRG-1/SPOT 5* permitem extrair informação sobre materiais biofísicos encontrados na superfície das áreas urbana e intraurbana. Dessa forma, a aplicação da técnica *SAM* que utiliza a curva espectral dos diferentes materiais urbanos como referência na classificação das imagens é uma ferramenta valiosa para identificação de alvos urbanos.

Este trabalho busca, a partir da utilização de dados obtidos pela espectroscopia de reflectância e curvas espectrais obtidas a partir das imagens *GeoEye-1* e *HRG-1/SPOT 5*, constituir uma fonte de referência e de suporte para a interpretação de imagens de diferentes resoluções espaciais.

Para identificar se as variações relacionadas com a resolução espectral resultam em uma maior ou menor similaridade entre os sensores, pode-se visualizar as diferenças existentes entre as curvas espectrais medidas em campo e extraídas nas imagens, assim como observar se as medidas de campo são compatíveis, coerentes e consistentes com os dados orbitais.

Existem vários trabalhos que analisam o espaço urbano de Santa Maria sob os mais diversos enfoques, mas a elaboração dessa pesquisa mostra uma ferramenta com grande aplicabilidade para discriminação, monitoramento e mapeamentos de uso e cobertura de áreas urbanas densamente urbanizadas, além de gerar um produto que ajude na delimitação de áreas intraurbanas e contribuir com uma metodologia para extração de informação de forma mais rápida, com aproveitamento de imagens de satélite que permita avançar na compreensão da própria dinâmica urbana.

Se a determinação da natureza dos alvos pelos métodos de sensoriamento remoto é baseada no fato de que diferentes materiais são caracterizados por

reflectâncias próprias, em cada banda do espectro, então: A análise radiométrica e a classificação de imagens de satélite de alta resolução espacial pode auxiliar na discriminação e interpretação de alvos associados a padrões intraurbanos?

Neste sentido, o objetivo geral desta pesquisa é caracterizar o comportamento espectral de alvos urbanos obtido a partir de dados espectrorradiométricos de campo e imagens dos sensores GeoEye-1 e *HRG-1/SPOT 5* na área urbana de Santa Maria. Os objetivos específicos são:

- Identificar e comparar os diferentes comportamentos espectrais dos alvos urbanos utilizando uma biblioteca espectral de medidas espectrorradiométricas de campo e a resposta espectral nas imagens dos sensores multiespectrais GeoEye-1 e *HRG-1/SPOT 5*.
- Verificar o potencial de identificação de materiais urbanos nas imagens GeoEye-1 e *HRG-1/SPOT 5* utilizando espectros de referência das imagens e a técnica Mapeador de Ângulo Espectral (SAM).
- Comparar as curvas espectrais dos alvos urbanos obtidas por medições espectrorradiométricas e por imagens GeoEye-1 e *HRG-1/SPOT 5*, por meio de reamostragem espectral para verificar a precisão da classificação e a influência da resolução espectral sobre a discriminação de alvos urbanos.

1.1 Características Gerais da Área de Estudo

A cidade de Santa Maria está no centro do estado Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 53°30'30" e 54°07'39" de longitude oeste e 29°32'52" e 30°00'11" de latitude sul (Mapa 1).

O local onde hoje encontra-se a cidade Santa Maria, a partir do ano de 1883, se converteu no principal eixo ferroviário do Rio Grande do Sul por causa da estrada de ferro Porto Alegre a Cachoeira do Sul, o que levou a cidade impulsionar o desenvolvimento do comércio e economia. Conseqüentemente, as atividades agrícolas e pastoris cresceram com o transporte ferroviário de carga e aumentou a população (BELEM, 1989).

Desde o surgimento do núcleo urbano até o início do século XX a economia do município foi baseada na pecuária bovina, fazendo a cidade adquirir outras

funções e se converter em um polo regional de economia terciária (PINHEIRO, 2002).

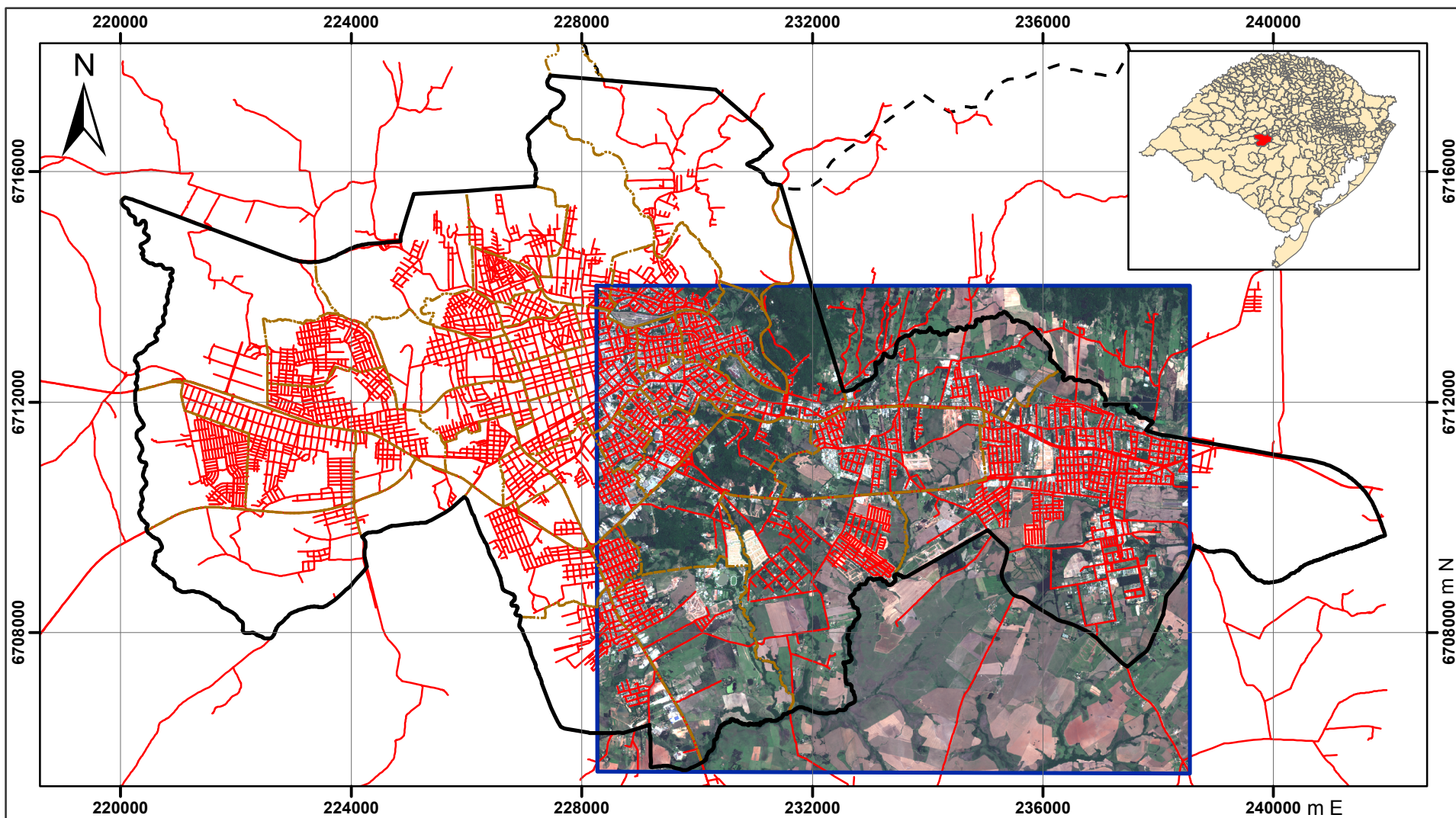
A presença, em 1960, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e, na década de 70, da construção da Base Aérea de Santa Maria (BASM) e do Aeroporto Civil de Santa Maria deu uma nova dinâmica à cidade, caracterizando-a como centro de prestação de serviço. Possui uma base econômica de alta importância no setor terciário, já que possui funcionalidades relacionadas à prestação de serviços: comercial, educacional, médico hospitalar, rodoviário e militar policial, fatores que contribuíram para o crescimento da cidade e aumento da sua população urbana ao longo dos anos (ROSSINI, 2005).

A cidade de Santa Maria começou o processo de ocupação no local que, atualmente, é conhecido como Bairro Centro. Mas o processo de aglomeração urbana deu-se conforme as condições geomorfológicas impostas pelos morros ao Norte e seu padrão de crescimento segue uma tendência característica de “cidade linear”, por causa das rodovias estaduais e federais que passam através da cidade, que por sua vez impulsionaram a expansão do perímetro urbano para o setor leste da cidade, onde se localizam a UFSM e a Base Aérea (BOLFE, 1997; MARTINS, 2004).

Embora o município de Santa Maria apresenta-se, em termos populacionais, na 5ª posição, com um total de 261.031 habitantes (IBGE, 2010), a dinâmica de crescimento da cidade é considerada importante na região central do estado (SAURIM, 2005). Considerando as características já descritas, a cidade de Santa Maria possui os elementos de um ambiente urbano, susceptíveis a ser estudados e/ou monitorados com ferramentas como o sensoriamento remoto.






Na presente pesquisa delimitou-se a fração da área urbana que se encontra na cobertura da imagem GeoEye-1, que cobre uma superfície de 93 km² e inclui os bairros: Pé de Plátano, Diácono João Luiz Pozzobon, São José, Tomazetti, Cerrito, Nossa Senhora de Lourdes, Nossa Senhora das Dores, Menino Jesus e Presidente João Goulart, localizados na parte leste da cidade de Santa Maria, além de setores correspondentes aos bairros Centro, Km 3, Nossa Senhora Medianeira, Itararé, Lorenzi e Camobi.

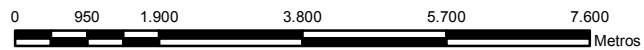
Os Mapas 1 e 2 mostram a área de abrangência das imagens GeoEye-1 e SPOT 5 que foram utilizadas na pesquisa.



Mapa - Imagem 1. Imagem GeoEye-1 de parte da cidade de Santa Maria - RS

Legenda

-  area de estudo
-  Estradas
-  Limite de Bairros
-  Limite Urbano
-  Limite Municipal

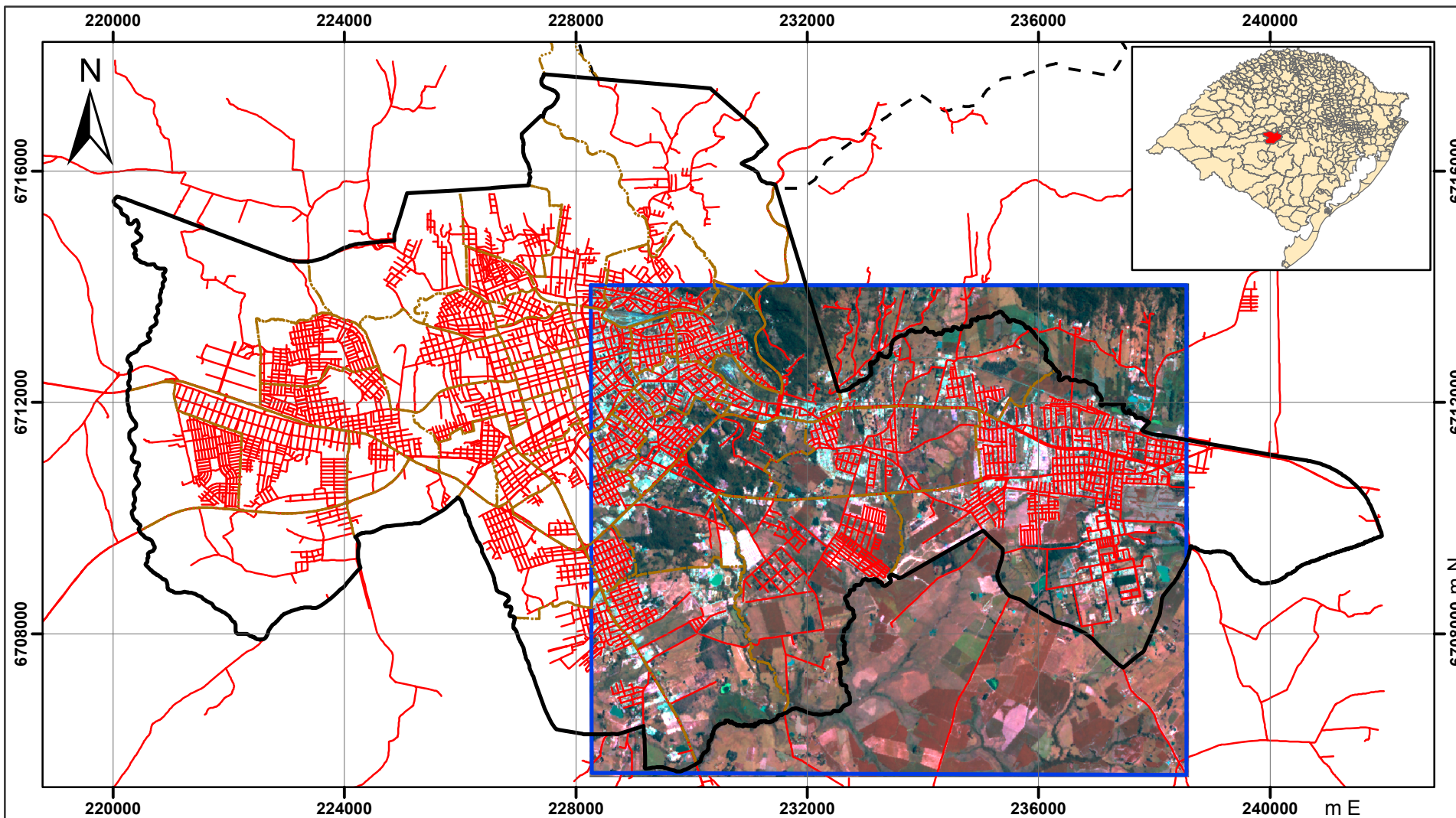



Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Sirgas 2000. Fuso 22 S



Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Naturais e Exatas
Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências

Elaborado por: Glória Durán
Fonte: Imagem GeoEye-1 (R3-G2-B1). Data 07/11/2013. Digital Globe
Instituto de Planejamento do Município de Santa Maria




 Universidade Federal de Santa Maria
 Centro de Ciências Naturais e Exatas
 Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências
 Elaborado por: Glória Durán
 Fonte: Imagem SPOT 5 (R4-G1-B2). Data 03/05/2012. Spot Image
 Instituto de Planejamento do Município de Santa Maria

**Mapa - Imagem 2. Imagem SPOT 5
 de parte da cidade de Santa Maria - RS**

0 1.000 2.000 4.000 6.000 8.000 Metros

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum Sirgas 2000. Fuso 22 S

Legenda

-  Área de estudo
-  Estradas
-  Limite de Bairros
-  Limite Urbano
-  Limite Municipal

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Espaço Urbano

O espaço urbano contemporâneo está representado pelas cidades, locais de assentamento e permanência, espaço símbolo da mobilidade em infraestruturas e interconexões de massa, que concentra não apenas massas de populações, também desigualdades sociais e territoriais. As áreas urbanas se mostram fragmentadas e em constante mudança dificultando sua representação. Por isso é necessário reunir informações sobre a cidade de maneira localizada e constante. Uma forma de reunir dados é o sensoriamento remoto, sendo as imagens digitais uma das ferramentas de apoio para definição, identificação e comparação de entidades espaciais relevantes por meio de análises urbanas (ARAÚJO, 2006) Ramos (2002) e Pinho (2006) abordam o tema de análise urbana diferenciando os conceitos de espaços urbanos e intraurbanos, já que é importante delimitar o espaço interno da cidade do componente urbano do espaço regional. No espaço intraurbano é onde se observa a diferenciação interna das cidades, conjuntos de zonas, comunidades, bairros, composição da população suas características, suas atividades e seus deslocamentos cotidianos sobre um território urbano contínuo. Nessa escala de detalhe é possível discriminar os padrões de assentamentos e deslocamentos populacionais. Quanto maior for a cidade, maior será a complexidade de sua estrutura intraurbana.

Nesse sentido, Villaça (1998) se refere à análise da estrutura intraurbana como a investigação sobre o conjunto da cidade e sobre a articulação entre suas várias áreas funcionais, tais como centro principal da metrópole, subcentros de comércio e serviços, o conjunto de bairros residenciais segundo as classes sociais e as áreas industriais.

As áreas funcionais estão vinculadas às categorias de uso e cobertura do solo, sendo o sensoriamento remoto uma importante ferramenta na produção dessa informação, principalmente pela resolução espacial alta e muito alta das imagens, que permitem o reconhecimento de feições urbanas. O conhecimento das

características espectrais dos alvos urbanos é uma informação importante na classificação do uso do solo através de imagens de satélites. Isto porque os alvos intraurbanos são integrados em um mesmo "*pixel*" quando se usa sensores de baixa resolução. Por esta razão, o conhecimento do comportamento espectral dos componentes do "*pixel*" pode ser útil para a aplicação de modelos de mistura que permitem a decomposição da radiância em proporções de radiâncias de "*endmembers*" ou elementos puros (SOUSA e KUX, 2005).

Forster (1985) esclarece que uma área urbana é formada por diversos tipos de alvos (concreto, asfalto, telhados de vários materiais, solo exposto, grama, água). Muitos destes alvos são menores que a resolução de um pixel. Por isso é necessário considerar a resolução espectral, que permite que os objetos possam ser identificados ou discriminados por suas diferenças de reflectância. Para isso é necessário conhecer os padrões de reflectância dos diferentes tipos de materiais, para conseguir identificar ou discriminar os objetos de interesse, dentro do espaço intraurbano e delimitar padrões urbanos.

2.2 Sensoriamento Remoto

2.2.1 Introdução

A possibilidade de fotografar a Terra desde o espaço permitiu mais do que apenas obter vistas soberbas. O desenvolvimento inicial do sensoriamento remoto está ligado ao desenvolvimento da fotografia e à pesquisa espacial até se chegar a varias definições propostas por Chuvieco (1996), Meneses (2001), Schowengerdt (2007) e Novo (2008). Elas podem ser resumidas como o conjunto de técnicas que permitem à obtenção de informação sobre objetos na superfície da Terra, sem que haja contato físico entre o sensor e o objeto. Esse processo só pode ser realizado utilizando sensores e equipamentos a bordo de aeronaves e satélites, assim como os espectrômetros de campo, que servem para registro, processamento e transmissão de dados relacionados com a interação da radiação eletromagnética com os objetos da superfície terrestre. Merece destaque a radiação eletromagnética,

que é uma das formas de energia que não precisa de um meio material para se propagar, pois é capaz de se propagar pelo vazio ou vácuo.

Para melhor compreender esta definição, faz-se necessário identificar os quatro elementos fundamentais das técnicas de sensoriamento remoto, os quais podem ser representados através do esquema apresentado na Figura 2.1.

No centro do triângulo deste esquema, encontra-se a Radiação Eletromagnética (REM), que é o elemento de ligação entre todos os demais elementos que se encontram nos vértices. A fonte de REM, que para o caso da aplicação das técnicas de sensoriamento remoto é o Sol (pode ser também a Terra para os sensores passivos de micro-ondas e termais; podem ser antenas de micro-ondas para os sistemas radares); o sensor que é o instrumento capaz de coletar e registrar a REM refletida ou emitida pelo alvo, que representa o elemento do qual se pretende extrair informação. As características dos objetos são registradas pelo sensor, em números digitais, que logo podem ser convertidos em valores de intensidade de reflectância dos mesmos.

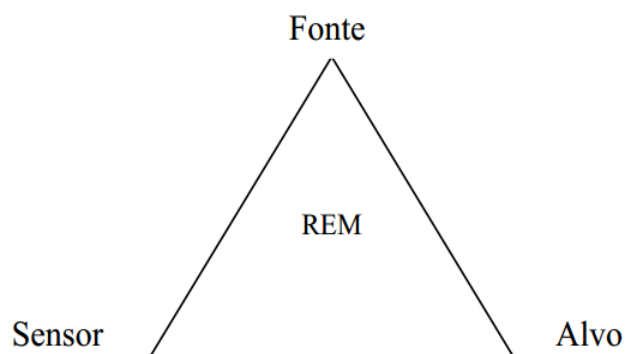


Figura 2.1 - Esquema representativo dos quatro elementos fundamentais das técnicas de sensoriamento remoto. Fonte: INPE, 2001.

O Número Digital (ND) pode ser definido como a intensidade do "pixel". Sua amplitude muda de acordo com a resolução radiométrica do sensor. Os níveis digitais são relacionados com a intensidade da energia radiante refletida através de

um modelo linear (calibração)¹. Permitem a análise quantitativa de uma imagem e não são diretamente comparáveis entre satélites devido às diferenças na calibração dos sensores (MATHER, 2004; SCHOWENGERDT, 2007).

Além dos elementos fundamentais das técnicas de sensoriamento remoto, é necessário definir alguns termos que caracterizam os diferentes sensores ópticos, já que eles operam com os mesmos princípios de transferência de radiação óptica, formação de imagem, e detecção de fótons.

Termos como: resolução espacial, espectral, temporal e radiométrica são características dos instrumentos de sensoriamento remoto, que indicam o que o usuário pode esperar dos dados coletados por um sistema sensor. A resolução define o nível de detalhe que oferece a imagem (espacial), a caracterização espectral que poderá ser obtida (espectral), a frequência de aquisição dos dados (temporal) e a capacidade de discriminação em função das variações de energia que refletem ou emitem (radiométrica) (CHUVIECO, 1996; MATHER, 2004; SCHOWENGERDT, 2007; NOVO, 2008).

2.2.2 Sensores Multiespectrais de Alta Resolução Espacial

Em 1994 o governo americano deu permissão às companhias civis para comercializar e disponibilizar imagens de alta resolução espacial. As companhias comerciais começaram ter impacto no mercado de Sistemas de Informação Geográfica e mapeamento cartográfico, que era associado com a indústria de aerofotogrametria (JENSEN, 2009).

Com a colocação em órbita dos satélites Ikonos e Quickbird no início da década de 2000, e posteriormente com outros satélites, houve importante aumento na resolução espacial das imagens. Desde então, elas têm sido aplicadas com maior intensidade em mapeamentos e em estudos da dinâmica de uso da terra, que exigem escalas maiores.

¹ É referido ao termo calibração do sensor, também chamados coeficientes de calibração que permitem a conversão de níveis digitais (ND) a valores físicos de radiância, mantendo a relação entre o valor do "pixel" (ND) gravado em uma localização particular e a reflectância do material na superfície. Para cada sensor existem coeficientes de calibração desenvolvidos especificamente para cada um (MATHER, 2004).

2.2.2.1 SPOT

Os satélites SPOT fazem parte do programa espacial francês. O programa SPOT (*Système Probatoire d'Observation de la Terre*) teve seu início em 1978, na França pelo CNES (*Centre national d'études spatiales* - a agência espacial francesa) e desenvolvido em associação com o SSTC (Serviços técnicos, culturais e científicos da Bélgica). Foi concebido como um sistema comercial, no qual as imagens são adquiridas sob encomenda. Os satélites operam em uma órbita síncrona com o Sol, quase-polar (inclinação de 98,7°) em uma altitude de 822 km, com período de revisita cada 26 dias.

O primeiro satélite SPOT foi lançado em 1986 e incorporou uma série de inovações tecnológicas, tanto nos sensores *HRV* quanto nos modos de aquisição de dados. O imageador opera por varredura eletrônica do tipo "*push-broom*". A banda pancromática oferecia uma resolução espacial de 10 m e a possibilidade de orientar os sensores lateralmente 27° permitindo a criação de pares estereoscópicos. A qualidade espectral é reduzida em relação às bandas de Landsat TM e as cenas são menores (60km x 60km). Os satélites SPOT 1, 2 e 3 lançados em 1986, 1990 e 1993 respectivamente, mantêm as mesmas características. Os satélites SPOT 4 e 5 lançados em 1998 e 2002, melhoraram com o sensor *HRVIR* e incorporaram o sensor *Vegetation*, que é um radiômetro de varredura eletrônica multiespectral com uma resolução espacial de 1,15 km x 1,15 km. O SPOT 5 melhorou a resolução das bandas multiespectrais para 10 m, da banda pancromática para 5m e o produto de 2,5 m, incorporando o sensor *HRG* para a produção de pares estereoscópicos (SPOT IMAGE, 2009).

2.2.2.2 GEOEYE

Desde o ano 2013, disponibilizadas pela empresa *Digital Globe*, é um dos sensores com a maior resolução espacial no setor comercial de imageamento espacial da Terra junto com os sensores IKONOS, OrbView-1, OrbView-2, QuickBird, WorldView I e WorldView II.

O satélite GeoEye-1 foi lançado com sucesso em 06 de setembro de 2008. É um satélite com órbita heliosincrônica, opera a uma altitude de 681 km, gerando uma faixa de imageamento de 16,5 km. Tem capacidade de apontamento, manobrando rapidamente na sua órbita para girar sua câmera imageadora para uma área de interesse na Terra, tanto lateralmente como para frente e para trás.

Isto lhe faculta coletar mais imagens de uma extensa área de interesse, possibilitando a revisita de qualquer área de interesse na Terra a cada três dias ou menos, dependendo do ângulo de coleta, que pode ser até 60 graus. Alcança 0,41 m de resolução espacial no pancromático e 1,6 metros no multiespectral, com visadas laterais e obtenção de imagens com estereoscopia (GEOEYE, 2008)

2.2.3 Grandezas Radiométricas

Para discutir a radiação óptica em termos quantitativos, torna-se necessário definir um sistema de grandezas radiométricas (Tabela 2.1). A grandeza fundamental da radiação óptica é a energia radiante. É caracterizada pelo símbolo Q e é dada em joules (J). É a partir dessa grandeza fundamental que derivam todas as outras grandezas radiométricas usadas para descrever a radiação óptica (JENSEN, 2009).

Nas interações energia – matéria na atmosfera encontram-se a refração, espalhamento, absorção e reflectância. Todas elas, por interagir com a atmosfera, influenciam no conteúdo de informação dos dados de sensoriamento remoto, já que ajudam ou tornam difícil diferenciar os objetos sobre a superfície terrestre. A absorção e reflectância exibem características importantes no sensoriamento remoto. Por exemplo, a absorção permite identificar feições específicas e únicas no espectro eletromagnético de minerais e da vegetação que ajuda a diferenciá-los (JENSEN, 2009).

Um conceito que deve ser considerado é a Radiância, como a variável medida diretamente através de instrumentos de sensoriamento remoto. Radiância é a quantidade de luz que o instrumento detecta do objeto a ser observado e caracteriza a emissão ou reflexão total, enquanto radiância espectral caracteriza a luz em um único comprimento de onda ou frequência. A radiação é igual à soma (ou integral) de todas as radiâncias espectrais de uma superfície. A unidade SI de

radiância é watts por metro quadrado por esterradiano ($W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$) (BORENGASSER et al.,2008)

GRANDEZA RADIOMÉTRICA	SÍMBOLO	EQUAÇÃO	UNIDADE DE MEDIDA	CONCEITO
Energia Radiante	Q		joule (J); erg (erg); e kilowatt-hora (kWh)	Energia transmitida em forma de ondas eletromagnéticas.
Fluxo Radiante	Φ	$\frac{\delta Q}{\delta t}$	W erg/s	Taxa de variação de energia radiante no tempo
Densidade Radiante	ω	$\frac{\delta Q}{\delta V}$	J/m ³ erg/cm ³	Taxa de variação de energia radiante por unidade volumétrica.
Intensidade Radiante	I	$\frac{\delta \Phi}{\delta \Omega}$	watt por esferorradiano (W/sr)	Fluxo deixando uma fonte por unidade de ângulo sólido numa dada direção.
Exitância	M	$\frac{\delta \Phi}{\delta A}$	W/m ² W/cm ²	Fluxo deixando uma superfície por unidade de área.
Irradiância	E	$\frac{\delta \Phi}{\delta A}$	W/m ² W/cm ²	Fluxo incidente sobre uma superfície por unidade de área.
Radiância	L	$\frac{\delta^2 \Phi}{\delta \Omega (\delta A \cos \theta)} = \frac{\delta I}{(\delta A \cos \theta)}$	W/sr m ² W/srcm ²	Intensidade radiante por unidade de área normal à fonte numa dada direção.
Emissividade	ϵ	$\frac{M_{CR}}{M_{CN}}$	adimensional	Razão entre a exitância de um material e a exitância de um corpo negro à mesma temperatura.
Absortância	α	$\frac{\Phi_a}{\Phi_i}$	adimensional	Razão entre o fluxo absorvido e o Fluxo incidente numa superfície.
Reflectância	ρ	$\frac{\Phi_r}{\Phi_i}$	adimensional	Razão entre o fluxo refletido e o fluxo incidente numa superfície.
Transmitância	τ	$\frac{\Phi_t}{\Phi_i}$	adimensional	Razão entre o fluxo transmitido e o fluxo incidente numa superfície.

Tabela 2.1 - Grandezas radiométricas de acordo com o Sistema Internacional de Medidas (SI). Fonte: UFSM, 2004.

A radiância é o primeiro parâmetro que é obtido a partir dos níveis digitais da imagem, que permite calcular a reflectância. No sensoriamento remoto é possível quantificar e reduzir as incertezas. É mediante o calculo da reflectância de superfície, produto comum no caso da calibração radiométrica e correção atmosférica (BORENGASSER et al.,2008).

Existem vários termos de reflectância na literatura que podem levar a erros sistemáticos, como mencionam Schaepman-Strub et al. (2006), já que não mostram a diferença entre os termos conceituais dos que podem ser medidos. O autor destaca o uso ambíguo dos termos reflexão, reflectância de superfície e albedo, assim como a reflexão referida a medições de campo com um espectrorradiômetro que envolve o termo de reflectância bidirecional.

A reflectância é definida, segundo Slater (1980), Schowengerdt (2007) e Borengasser et al. (2008), como a razão entre o fluxo de energia radiante (Q) refletida e a incidente, sobre um alvo ou área de interesse. É adimensional e geralmente se expressa em porcentagem.

A reflectância é uma das propriedades intrínsecas do alvo, definida pelas características físicas, químicas e biológicas deste, e varia espectralmente. A reflectância é uma propriedade espectral, ou seja, varia de acordo com o comprimento de onda da radiação eletromagnética incidente no alvo (PEREIRA et al., 2006; ARAI et al., 2007).

A reflectância é expressa através dos chamados fatores de reflectância e exprime as características físicas do alvo, pois é a fração de energia transmitida. A reflectância bidirecional espectral (RBE) é a grandeza utilizada com maior frequência na caracterização das assinaturas espectrais dos objetos terrestres; mas, esta grandeza radiométrica é de difícil medição e, por isso, costuma ser substituída por uma quantidade equivalente denominada fator de reflectância bidirecional espectral (FRBE), cujo processo de medição é bem mais simples. O fator de reflectância bidirecional espectral é a razão entre as radiâncias espectrais da amostra e de uma superfície lambertiana ideal nas mesmas condições de iluminação e observação (MILTON, 1987; PONZONI et al., 2012).

Segundo a definição de Milton (1987), o fator de reflectância bidirecional, é a razão entre o fluxo refletido por uma superfície ou alvo terrestre e o fluxo refletido, por uma superfície - padrão perfeitamente difusora (superfície lambertiana ideal) na mesma geometria (mesmas condições de iluminação e observação) (Equação 1). A superfície - padrão perfeitamente difusora (superfície lambertiana ideal) é denominada placa de referência e o material de referência mais comumente utilizado é o *Spectralon*, que segundo Jensen (2009) é uma resina termoplástica branca (ou cinza) que possui um perfil de reflectância extremamente lambertiano.

$$R(\theta, \phi, \lambda) = \frac{L_{a,\lambda}}{L_{r,\lambda}}$$

Eq. (1)

Onde: $L_{a,\lambda}$ e $L_{r,\lambda}$ representam as medidas das radiâncias relativas da amostra e da referência respectivamente.

A reflectância é uma propriedade espectral. Trata-se do parâmetro fundamental no estudo do comportamento espectral de alvos. As imagens de satélite registram informação sobre as características espectrais dos alvos sobre a superfície terrestre, mas as imagens ópticas usualmente são fornecidas com valores dos pixels em números digitais, os quais são adimensionais e não comparáveis com os de outras imagens. É conveniente transformar esses números para alguma grandeza física, geralmente reflectância, já que a radiância não seria o parâmetro mais adequado para avaliar espectralmente os alvos (MATHER, 2004).

Existem dois fatores de reflectância bidirecional que se podem extrair dos dados de satélites e que são calculados mediante valores de radiância bidirecional aparente: reflectância planetária (reflectância aparente) e reflectância de superfície.

O Fator de Reflectância Bidirecional calculado com base nos valores de ND é denominada Aparente, por tratar-se da reflectância calculada a partir do Topo da Atmosfera (SLATER, 1980; SILVA; ANDRADE, 2013). Os valores de FRB aparente encontram-se com os efeitos da atmosfera, porém é necessário eliminar ou minimizar os efeitos da atmosfera com uma correção atmosférica (PONZONI et al., 2012).

A correção atmosférica de imagens de satélite é feita com a intenção de minimizar os efeitos atmosféricos na radiância de um alvo, visto que a atmosfera, devido aos fenômenos de espalhamento, absorção e refração da energia eletromagnética, afeta a radiância refletida ou emitida que é captada pelo sensor (MATHER, 2004).

Esta correção é feita para levar os valores de reflectância aparente a reflectância da superfície, que é a fração da radiação solar recebida, refletida da superfície da Terra. A imagem de reflectância de superfície aproxima o que seria realizada por um sensor medida logo acima da superfície da Terra, sem interferência da atmosfera ou iluminação e geometria de visada (GLCF, 2011).

De acordo com Ponzoni et al. (2012), existem vários métodos de correção. Um deles é o método proposto por Chavez (1988), denominado Correção atmosférica pelo "pixel" escuro (*Dark Object Subtraction-DOS*), que identifica em cada banda espectral quais quantidades de ND ou FRB aparentes com valores maiores a "0" deveriam ser subtraídas de cada imagem, considerando que a interferência atmosférica é uniforme em toda a cena.

Outros métodos que existem são chamados modelos de transferência radiativa, como o *Moderate Spectral Resolution Atmospheric Transmittance Algorithm* (MODTRAN) e o *Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum* (S5). Esses modelos oferecem opções de entrada de dados como concentrações de vapor de água, ozônio, profundidade óptica, tipo e concentração de aerossóis. Também considera o fenômeno de absorção da radiação eletromagnética, que melhora os valores de FRB presentes nas imagens, aspecto que não considera o método proposto por Chavez (1988).

Desta forma, aplicando qualquer dos métodos de correção atmosférica, o resultado final é a denominado fator de reflectância bidirecional de superfície (FRB superfície), sendo este o valor físico que permite a caracterização espectral dos objetos presentes na superfície terrestre que aparecem na imagem.

2.3 Comportamento Espectral de Alvos Urbanos

2.3.1 Introdução

As áreas urbanas são tipicamente heterogêneas, contendo vários tipos de materiais como telhados, asfalto, concreto, tinta, os quais, individualmente, possuem assinaturas espectrais distintas. A mistura de resposta desses alvos é pela função de espalhamento do sensor, que integra a resposta de um pixel observado e de seus circunvizinhos (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Hamburger e Vieira (1990) destacam que as resoluções espacial e espectral aparecem a todo o momento como as maiores e principais limitações na detecção e identificação dos objetos urbanos. Nas cenas urbanas a variância da assinatura espectral das classes é muito grande, pela composição do espaço intraurbano, onde os alvos apresentam grande diversidade, como edifícios, loteamentos, praças, estacionamentos, gramados, asfalto, cada um com uma assinatura espectral diferenciada.

No caso de extrair informação urbana/periurbana a partir de sensores remotos Jensen (2009) menciona que muitas aplicações urbanas podem ser realizadas a

partir de dados de sensores hiperespectrais e utilizando fusão de dados multisensores, já que os elementos geométricos utilizados na interpretação de imagens tais como forma, tamanho, textura, orientação, padrão, sombra, não são sempre suficientes para extrair a informação desejada e a informação espectral ajuda na extração de alguns tipos de informação urbana/periurbana.

Com relação a medições espectrais de alvos urbanos em campo com espectrorradiômetro, Herold et al. (2003a) mostraram o potencial da alta resolução espectral para detalhar materiais urbanos e suas condições. Eles observaram uma considerável confusão espectral entre alguns materiais (tipos de telhados, pavimento de vias). Small (2003) menciona que materiais como concreto, asfalto, vegetação, telhados, contribuem nessas diferenças de reflectância espectral urbana, e podendo ser separados ou discriminados por meio da análise de mistura espectral.

Assinaturas de reflectância espectral típicas de alvos urbanos encontram-se nas Figuras 2.2 e 2.3. A área urbana está constituída por materiais tais como: concreto, asfalto, áreas de estacionamento, telhas, solo exposto, que refletem fortemente no verde, vermelho e infravermelho próximo. É notável a diferença de contraste entre as áreas urbanas e áreas com vegetação, que aparecem em vermelho brilhante em composições coloridas e falsa cor, porque é um elemento que reflete muita energia no infravermelho e absorve no verde e vermelho. A água também absorve a maior parte da energia no espectro visível, porém em imagens de falsa cor é facilmente diferenciável da paisagem urbana por sua aparência escura (JENSEN, 2009).

A partir das ideias apresentadas nos parágrafos prévios pode-se dizer que o estudo do comportamento espectral de alvos urbanos pode ser considerado de duas maneiras: a primeira, considerando como alvos urbanos, os elementos constituintes, tais como: asfalto, concreto, telhas, tinta. A segunda é considerando como alvos determinados tipos de ocupação, tais como: residencial, (uni ou multifamiliar), industrial, militar, educacional (HAMBURGER; VIEIRA, 1990).

2.3.2 Superfícies de áreas urbanas

As áreas urbanas vão crescendo e com elas a capacidade de monitoramento de mudanças e o constante aprimoramento dos sensores. Em muitos aspectos, a melhoria da resolução espacial é suficiente para a análise dessas áreas com imagens. Mas para aqueles que buscam identificar a natureza e a composição do material, exige-se um maior refinamento das características espectrais dos instrumentos, já que as áreas urbanas estão formadas por alvos de dimensões reduzidas, com grande heterogeneidade espacial e espectral (MOREIRA, 2008).

Devido à forma como os materiais urbanos são alterados pelos processos de fabricação e da forma como eles são combinados, nem sempre é fácil de identificar uma característica específica de absorção. Um mesmo material pode apresentar variabilidade espectral associada às modificações das suas condições ao longo do uso; um mesmo material pode apresentar diferenças nos espectros das amostras, se uma superfície é mais nova do que outra, as condições físicas diversas do alvo e de suas vizinhanças (MOREIRA, 2008).

Quanto menor for a resolução espectral, no caso dos materiais mais claros, pode resultar em respostas espectrais muito próximas. As diferenças de textura, sombreamento de outros objetos, impregnação ou revestimento de algas, poeira, sujeira, óleo, borracha, tintas, podem influenciar consideravelmente o formato dos espectros afetando em geral a magnitude da curva espectral (NASARUDIN; SHAFRI, 2011; ROBERTS; HEROLD, 2004).

No caso dos telhados, além das condições da superfície, estes alvos são altamente variáveis em função de situações tais como as irregularidades da superfície, efeitos de sombra, variações dos ângulos de elevação e azimutal de incidência da radiação eletromagnética, que ocasionam alterações nos valores de radiância e contribuem com as diferenças da informação espectral captada pelos sensores imageadores ou não. (SEGL et al., 2003; ESPINOZA, 2006).

Os aspectos que serão apresentados a seguir referem-se às feições espectrais de alguns alvos urbanos e naturais que são encontrados nos ambientes urbanos. As curvas de reflectância somente ilustram as formas típicas dos alvos e servem então somente de base para formar uma ideia da reflexão destes alvos,

além de observar padrões distinguíveis, mas não necessariamente únicos ao longo da faixa espectral *VNIR*.

2.3.2.1 Telhas de Cerâmica

A cor das rochas argilosas pode ser bastante variada, mas aquelas das cores vermelho, laranja e amarelo são consideradas argilas ferruginosa, pela presença de óxidos e hidróxidos de ferro. Entre as argilas cerâmicas ou vermelhas, aquelas constituídas por minerais tais como caulinita, montmorillonita e illita são as mais utilizadas na fabricação de telhas e tijolos (BRANCO, 2014).

As telhas cerâmicas preservam quase fielmente os espectros dos seus constituintes de origem. As curvas espectrais nas telhas de cerâmica parecem semelhantes entre elas, com o aumento do comprimento de onda e uma variação de reflectância na região como *SWIR*. A telha de cerâmica nova tem maior reflectância comparado à telha mais velha e existe uma forte absorção na região visível para os dois materiais próximo de 550 nm, descrita por Espinosa (2006), Stein et al. (2009), Nasarudin e Shafri (2011) e Pinho (2011). Uma faixa de absorção próxima aos 900 nm é atribuída à presença de óxidos de ferro por Hunt et al. (1971) (Figuras 2.2-A e 2.2-B).

A presença dos óxidos e íons de ferro em materiais como tijolos ou telhas vermelhas, com feição de absorção ampla em 500 nm, 560 nm e 880 nm, são descritas por Ben-Dor et al. (2001) Roberts e Herold (2004), e Meneses (2008).

Sobre os espectros de telhas vermelhas obtidos em campo, Herold et al. (2003b, 2004) descrevem bandas de absorção de ferro na posição dos comprimentos de onda que variam entre 445 nm a 622 nm, 622 nm e 743 nm e 758 nm a cerca de 1100 nm.

Sobre possíveis confusões de telhas novas com telhas velhas, Herold et al. (2004) e Moreira (2008) descrevem que as telhas velhas mostram feições de absorção mais fracas e um albedo menor que as telhas novas. As telhas de cerâmica mostram características de absorção de ferro no *VNIR* principalmente em 670 e 870 nm, as quais são atenuadas nas telhas velhas.

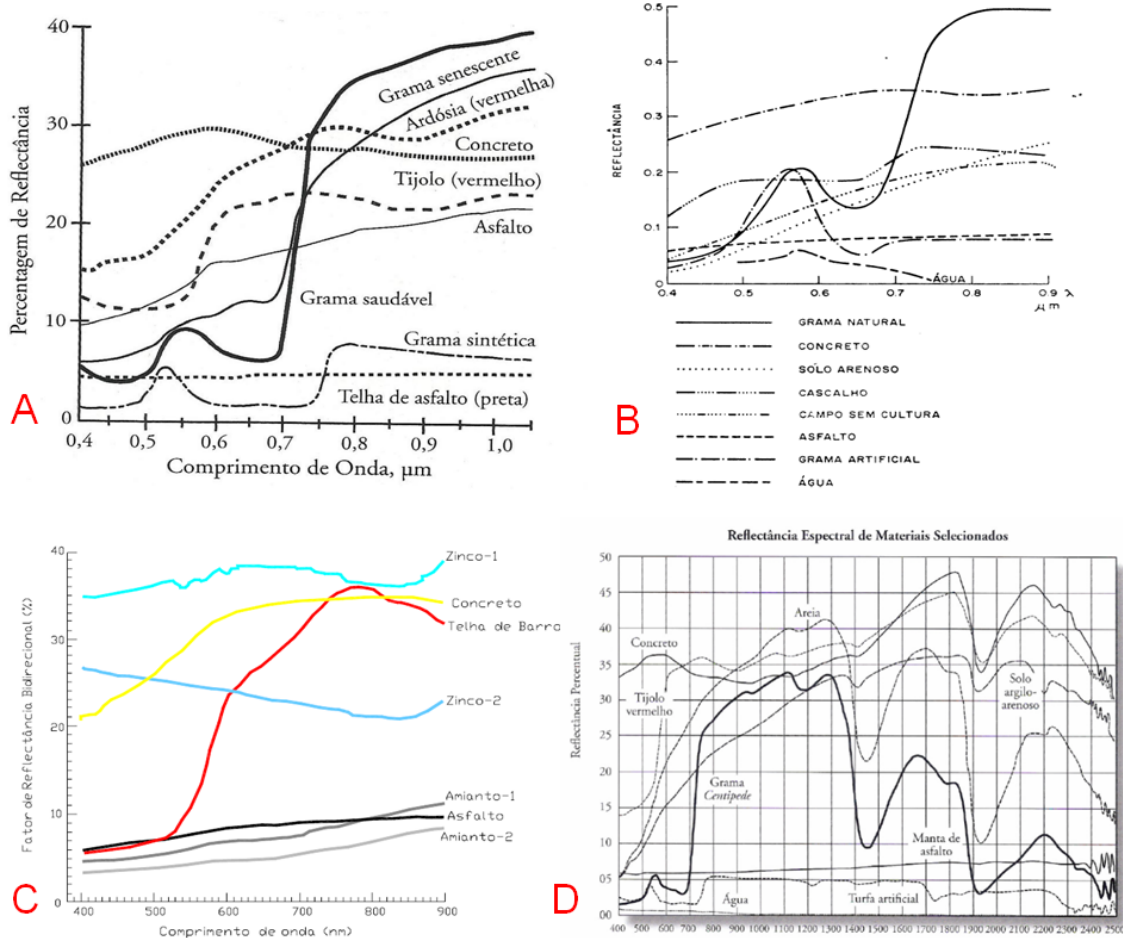


Figura 2.2. Curvas espectrais referenciais. 2.2-A: Reflectância de materiais urbanos comuns. Fonte: Jensen (2009). 2.2-B: Reflectância para alguns recursos naturais. Fonte: INPE (2001). 2.2-C: Comportamento espectral de telhados, concreto e asfalto. Fonte: Sousa e Kux (2004). 2.2-D: Reflectância para alguns materiais terrestres. Fonte: Jensen (2009).

2.3.2.2 Concreto

Os materiais à base de cimento são difíceis de discriminar por apresentar espectros relativamente uniformes, que aumentam suas reflectâncias conforme aumenta o comprimento de onda, sendo segundo Bowker et al. (1985) um comportamento típico deste material em ambientes urbanos (Figura 2.2, 2.6-B).

A composição mineralógica do concreto, de acordo com Rossetto e Turrillas (2007), é bastante variável, pode se literalmente dizer que há centenas de

formulações de cimentos. Sem embargo, a matéria prima principal é carbonato de cálcio (CaCO_3) presente na calcita, mineral que segundo a amostra da livraria espectral do *USGS* tem feições de absorção nas bandas 430, 500 e mais de 600 nm.

Quando novos é difícil encontrar feições de absorção características que permita estabelecer diferenças entre eles, mas é relatada uma inflexão aos 680 nm (MOREIRA, 2008). De acordo com Ben-Dor et al. (2001), os telhados e calçadas de concreto mostram feições que indicam a presença de óxidos de ferro próxima a 560 nm. Alguns telhados pintados de branco podem ser confundidos espectralmente com asfaltos velhos, tetos e telhas de concreto pela alta reflectância. Estes alvos podem apresentar uma faixa de absorção entre 620 e 690 nm, que pode ser atribuída a uma feição de saturação nessa faixa espectral similar a apresentada pelo mineral de cal.

As assinaturas espectrais de calçadas, blocos de concreto pré-moldados, telha de concreto em estado novo e mais antigo são notavelmente diferentes entre si. A reflectância da telha de concreto nova é maior conforme aumenta o comprimento de onda. A curva espectral das telhas de concreto velhas mostra um albedo mais baixo, devido ao revestimento da superfície de sujeiras e líquens que podem deixar a superfície em uma cor cinzenta escura.

Os blocos de concreto novo e velho apresentam variações de reflectância, mas são semelhantes em uma variação de reflectância próximo aos 850 nm (NASARUDI; SHAFRI, 2011).

Alvos urbanos tais como telhado de concreto vermelho mostram presença de óxidos de ferro entre 550 – 560 e 875 nm, mostrando um comportamento semelhante com as telhas de cerâmica e solos argilosos segundo Ben-Dor et al. (2001) e Stein et al. (2009). Neste sentido Moreira (2008) descreve duas bandas de absorção fortes no *VIS* (445 nm-622 nm) e região *NIR* (743 nm-1130 nm) que são causada por óxidos de ferro, contidos nos pigmentos utilizados para colorir as telhas, assim como ressalta uma variação de reflectância entre 862 nm e 880 nm. Com espectros de laboratório foi possível identificar feições de absorção sutis comuns às telhas de concreto pigmentadas em 2280 e 2350 nm,

O trabalho de Brook e Ben-Dor (2011) descreve as regiões espectralmente mais ativas dentro do material concreto, obtendo informação espectral significativa existe dentro do espectro do concreto, destacando as seguintes feições de

absorção: óxidos de ferro (460 nm), *VIS* pigmento (556 nm), *SWIR* 1 água higroscópica (1400 nm), endurecedor adicional (1,780 nm), *SWIR* 2 água líquida (1960 nm), argila (2225 nm), cálcio (2.309 nm), e endurecedor (2395 nm).

2.3.2.3 Telhas metálicas

As telhas metálicas podem ser de zinco, aço ou alumínio e de forma geral estas apresentam muita alta reflectância quando novos. Conforme vão envelhecendo, mostram um padrão de baixa reflectância na região do *SWIR*. O zinco mostra uma forte absorção de luz visível a 550 nm (Figura 2.2-C). A curva espectral também mostra o padrão de aumento de reflectância ao longo da faixa *SWIR* (NASARUDIN; SHAFRI, 2011).

No entanto, os espectros de zinco assim como os associados a alumínio e aço, são caracterizados por uma grande variabilidade no albedo. Apresentam valores de pixels saturados em imagens e mostram uma reflectância comparativamente elevada em toda a faixa *VIR* – *NIR*. Isto é causado por reflectância especular que é típico para os metais e materiais de vidro. Este processo pode, em grande parte, modificar as características de reflectância (HEROLD; ROBERTS, 2004; MORI, 2008; PINHO ET AL., 2011).

Apesar das considerações anteriores, Segl et al. (2003) estabeleceram alguns intervalos na faixa espectral *VNIR* onde podem ser localizadas faixas de absorção nos materiais como alumínio e zinco: 840-960 nm, 844-860 nm, 984-1063 nm, 692-872 nm. Stein et al. (2009) identificaram algumas feições de 875 nm nas telhas de alumínio e 1020 nm nas telhas de zinco. Sousa e Kux (2005) mostraram uma variação de reflectância aos 900 nm e uma suave concavidade de absorção em torno de 850 nm nas telhas de zinco, com algumas diferenças com relação à ondulação da telha, cor e presença de óxido.

Telhados de aço galvanizado e alumínio, segundo Moreira (2008), apresentam espectros diferenciáveis. O aço galvanizado possui uma banda de absorção deslocada no *NIR*, com centro em 830 nm e o alumínio em 1030 nm, além da

inclinação da curva espectral que no caso do alumínio é ascendente e descendente para o aço galvanizado².

2.3.2.4 Telhas de amianto

De acordo com Nasarudin e Shafri (2011), o comportamento espectral das telhas de amianto novo e antigo aumenta no visível ao Infravermelho próximo (*SWIR*), sendo similares com exceção na região visível, já que o amianto velho apresenta uma baixa absorção na região visível. Isto é devido à mistura de material original e presença de algas. Clark et al. (2001), Moreira (2008) e Pascucci et al., (2010) destacam que o amianto possui uma feição de absorção da crisotila entre 2320 e 2330 nm., sendo discriminados em espectros de laboratório.

Também Sousa e Kux (2005) e Pinho et al. (2011) destacam comportamentos bem semelhantes de telhas de amianto entre si apesar de possuírem tamanhos diferentes de ondulação destacando um aumento da reflectância na banda azul (entre 500 e 600nm) para a banda Vermelho e depois uma estabilização de valores quase constantes ao longo de todo o espectro observado (Figura 2.2-C).

2.3.2.5 Telha shingle

É uma manta asfáltica composta por camadas a base de asfalto, fibra de vidro, lâmina de cobre ou titânio-zinco e acabamento superficial pigmentado com grânulos ceramizados (TC SHINGLE, 2004).

Este tipo de telhado foi descrito por Herold (2003b) como um alvo com uma baixa e constante reflectância ao longo de toda a curva espectral, sem ou com apenas pequenas distintas características de absorção que mostra confusão com

² O processo de galvanizado é o revestimento aplicado às telhas de aço, constituído em peso 55% Alumínio (Al), 43,5% Zinco (Zn) e 1,5% Silício (Si) para proteção e resistência à corrosão por barreira oferecida pelo alumínio e proteção galvânica oferecida pelo zinco (Telhasul, 2010). Esta característica poderia causar confusão na identificação dos telhados de material alumínio e zinco.

telhados shingle de uma cor diferente, telhados cinza-marrom, estradas de asfalto e estacionamentos.

2.3.2.6 Lona de PVC

Em Materiais artificiais como *PVC*, as variações da coloração afetam fortemente a reflectância no *VNIR* e mostrando feições de absorção comuns com telhados pintados (MOREIRA, 2008). Entretanto Segl et al. (2003) mostraram variações de reflectância entre as faixas 646-1300 nm e 580-800 nm.

2.3.2.7 Telhas translúcidas

As telhas translúcidas utilizadas em telhados de residências estão presentes como peças menores dentro dos telhados maiores. Estas podem ser fabricadas em fibra de vidro, polietileno transparente, policarbonato, ou mesmo em vidro y sua resposta espectral pode ser semelhante às telhas metálicas, concreto novo ou alvos pintados de Blanco (MOREIRA, 2008).

2.3.2.8 Asfalto

O asfalto mostra características de absorção muito fracas. É caracterizada por um aumento ligeiro e constante de reflectância conforme aumenta o comprimento de onda (Figura 2.3-A). Stein et al. (2009) discriminaram feições associadas a variações espectrais aos 625 nm no caso de coberturas de asfalto.

A maior parte das características de absorção apresenta-se na região do *SWIR*, Nasarudin e Shafri (2011) mencionam feições de absorção próximas aos 1850 nm e 2350 nm. Herold e Roberts (2005) descrevem características de absorção entre 1024 nm e 1259 nm, um aumento constante de reflectância entre

1159 nm e 1769 nm, uma diminuição da reflectância entre 2116 nm e 2203 nm e duas características de absorção a partir de 2151 nm.

Devido à fraca absorção, baixo brilho e um aumento constante de reflectância entre 1159 nm e 1769 nm, o albedo de asfalto tem características espectrais que são fortemente influenciados pelo ruído, causados pelas diferentes condições de superfície, tais como a deterioração e envelhecimento estradas (HEROLD, 2003a; HEROLD; ROBERTS, 2005; HEIDEN et al., 2007) (Figura 2.3-B).

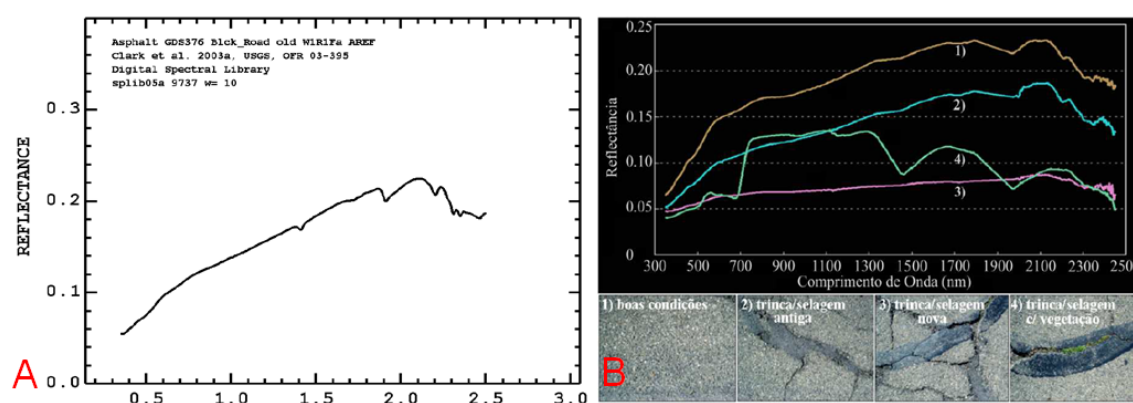


Figura 2.3. Curvas espectrais referenciais. 2.3-A: Reflectância do asfalto. Fonte: USGS *Spectral Library*. 2.3-B: Reflectância segundo as condições da superfície do asfalto. Fonte: Adaptada de Herold e Roberts (2004).

A exposição dos agregados e envelhecimento do asfalto, junto com a presença de poeira na superfície, provoca um aumento geral na reflectância ao longo de todas as partes do espectro, refletindo o predomínio de minerais, mostrando características espectrais de absorção de óxidos de ferro que aparecem nas bandas 490, 520, 670, 830 e 870 nm. Estas diferenças podem mostrar o contraste espectral entre estradas dominadas por absorções de hidrocarbonetos (estradas novas) e sinais de minerais (estradas mais velhas e deterioradas) com o aumento do brilho e uma forma da curva espectral mais côncava no VIS para as estradas mais antigas (HEROLD, 2008).

2.3.2.8 Sobre a pigmentação dos materiais

Em geral, a reflectância total geral de um determinado objeto na região do visível (também denominado albedo) está fortemente relacionada com a condição física dos alvos (sombreamento, distribuição e tamanho das partículas), enquanto que os picos espectrais estão mais relacionados com a condição química do alvo detectado (absorção específica). Os componentes físicos e químicos que produzem as características espectrais significativas ao interagir com os fótons solares podem ser denominados cromóforos³ (BEN-DOR et al., 2001).

Os pigmentos de cor artificiais são finas camadas de substância química, que cobrem uma determinada superfície. Esta camada absorve e reflete radiação em certos comprimentos de onda ao longo da região espectral do visível com base nos efeitos químicos. Na realidade, a reflectância é medida apenas da parte superior 50 Mm. Desta forma, objetos pintados não podem fornecer informações sobre o material do núcleo (metal, plástico, argila). No caso do pigmento amarelo, observa-se alta reflectância nas regiões espectrais do verde e vermelho, mas baixa reflectância no azul (BEN-DOR et al., 2001) (Figura 2.4-A).

Pode-se dizer que a reflectância de materiais urbanos é uma mistura de cromóforos químicos (comportamento específico de absorção) e físicos (comportamento específico de albedo). No caso de alvos artificiais pintados as diferenças espectrais associadas à cor, que são reveladas no *VIS*, não permitem conclusões precisas sobre a natureza do material de confecção.

³ Em química, um cromóforo é qualquer molécula, ou parte de uma molécula, responsável pela cor do material. Quando a luz atinge um cromóforo, a excitação de um elétron faz com que sejam emitidos fótons de uma cor específica. Quando uma molécula absorve certas longitudes de onda de luz visível e transmite ou reflete outras, a molécula tem uma cor. Um cromóforo é uma região molecular onde a diferença de energia entre dois orbitais atômicos cai dentro do intervalo do espectro visível. Alguns exemplos destes cromóforos se encontram na clorofila, usada pelos vegetais para a fotossíntese (GÓUVEIA-MATOS, 1999).

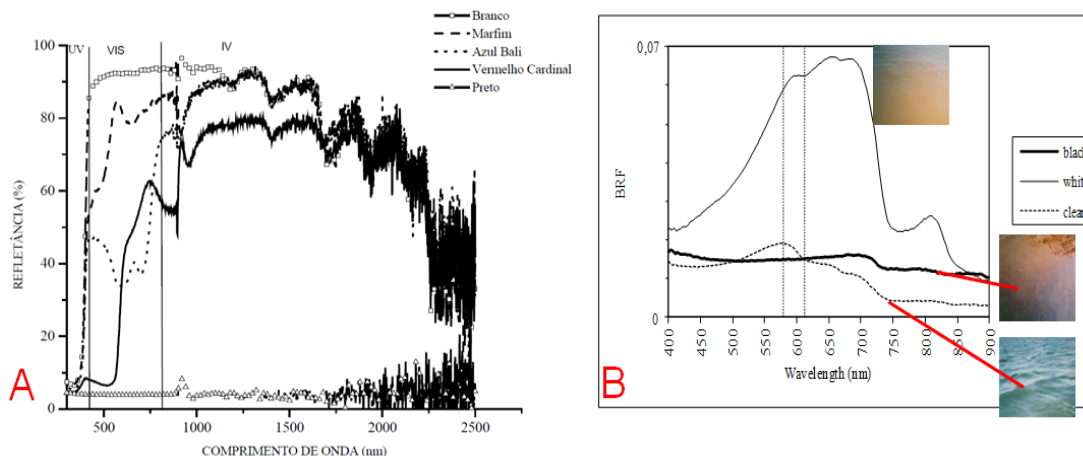


Figura 2.4. Curvas espectrais referenciais. 2.4-A: Feições de absorção de tintas para revestimento de materiais. Fonte: Castro et al. (2003). 2.4-B: Curvas espectrais de águas brancas, escuras e claras. Fonte: INPE (2001).

2.3.2.9 Alvos naturais

Alvos naturais como vegetação mostram absorção associada à presença dos pigmentos foliares (p.ex. clorofila) no azul próximo a 445 nm e entre 645 – 680 nm no vermelho. As feições da vegetação senescente como, por exemplo, a grama seca, apresenta baixa reflectância no azul e alta no *NIR* (BEN-DOR et al., 2001; JENSEN, 2009; PONZONI et al., 2012) (Figuras 2.2-A, 2.2-B e 2.2-D).

A vegetação sempre está presente como elemento natural nas áreas urbanas, sendo um tipo de cobertura urbana, identificado nas imagens orbitais com um padrão definido. Por exemplo, a vegetação plantada em logradouros que acompanham o sentido das ruas, já tem um padrão tão definido como aquela encontrada dentro de lotes e parques onde sua expansão foi de forma natural sem restrição de espaço (PINHO, 2006; LUBENOW; OLIVEIRA, 2011).

Com relação aos corpos de água, a concentração de materiais presentes na água afeta a sua cor. A água pura tem baixa reflectância na região visível do espectro, mas é possível observar que sua reflectância é relativamente elevada no intervalo espectral correspondente à luz azul, diminui no verde, fraca no vermelho e quase nula no infravermelho próximo. Nos corpos de água com concentração de sedimentos em suspensão, matéria orgânica dissolvida ou clorofila, estes elementos

afetam a magnitude das bandas de absorção no azul e no vermelho (NOVO, 2008; JENSEN, 2009) (Figura 2.4-B).

2.3.3 Interação da Radiação Eletromagnética com Solos, Rochas e Minerais.

A superfície terrestre é composta por rochas e solos, constituídos por partículas minerais, gases e umidade, cujos materiais derivados que podem ser utilizados pelo homem em processos industriais e/ou comerciais. O sensoriamento remoto pode prover informações sobre a composição química de rochas e minerais da superfície terrestre, sempre que não estejam recobertos por vegetação. Na análise de solos, rochas e minerais é importante entender as bandas de absorção segundo os tipos de rochas e minerais, já que eles se diferenciam entre si por constituírem sistemas com diferentes estados de energia, e a radiância refletida seria uma resposta indireta das mudanças, ditas transições, ocorridas nesses níveis de energia: níveis eletrônicos e moleculares (BORENGASSER et al., 2008; JENSEN, 2009).

As características de reflectância espectral dos solos dependem de vários fatores: a textura do solo (porcentagem de areia, silte e argila), conteúdo de umidade do solo (seco, úmido ou saturado), conteúdo de matéria orgânica, conteúdo de óxidos de ferro, salinidade do solo, rugosidade superficial. A quantidade de umidade no solo é função da textura do solo. Quanto mais fina a textura, maior a capacidade de manter umidade. Portanto será maior a absorção de energia radiante incidente e menor a quantidade de energia refletida (JENSEN, 2009).

No caso dos solos, o comportamento espectral depende da sua constituição física e química. Nesse sentido, os óxidos de ferro, dependendo do tipo e da quantidade relativa, influenciam na cor dos solos e na reflectância espectral. A semelhança de forma entre as curvas espectrais de telhas cerâmicas e de solos argilosos pode ser explicado pela presença dos óxidos de ferro associados ao material constituinte do solo e base da fabricação de telhas de cerâmica (Pinho et al., 2011) (Figura 2.5-A).

De acordo com Moreira (2005), de forma geral os óxidos de ferro apresentam aumento na reflectância no vermelho entre 600 e 700nm e uma feição de absorção

importante da região do infravermelho próximo em torno de 850 e 900nm (Figura 2.5-B). Clark (1999) menciona que conjunto de óxidos de ferro, hidróxidos de ferro e sulfatos de ferro mostram bandas de absorção semelhantes em torno de 500 nm no *VIS* e 800 – 1000 nm no *NIR* (Figura 2.5-C). Note-se que a hematita tem uma absorção mais estreita em um comprimento de onda ligeiramente mais curto do que o goethita no *NIR* e uma faixa de absorção entre 2,7 – 3 Mm atribuída a presença de água (Figura 2.5-D).

Os óxidos de ferro tais como goethita (FeOOH) e hematita são mais comuns nos solos e apresentam diferentes feições espectrais nas regiões do ultravioleta, visível e infravermelho próximo. No caso do espectro visível, a goethita possui feições de absorção nas bandas 435, 480, 650 e 917nm, enquanto a hematita possui feições de absorção nas bandas 445, 530, 650 e 885nm (MADEIRA, 2001).

A presença dos óxidos e íons de ferro também são observadas em coberturas diversas impregnadas com solos argilosos e estradas de cascalho, nos comprimentos de 520 nm, 670 nm e 870 nm de acordo com Herold et al. (2004), Ben-Dor et al. (2001) e Meneses (2008).

Madeira (2001) apresenta um espectro de um solo com teor elevado em óxido de ferro que possui uma banda de reflectância em 950 nm, uma centrada em 650 nm e outra entre 450 e 530 nm, destacando-se uma faixa de 630 a 740 nm que mostrava a variabilidade dos dados de reflectância de uma série de amostras de solo (Figura 2.5-A).

No caso de utilizar a informação espectral do horizonte superficial do solo, há elementos que podem ser identificados conforme aos parâmetros do solo que influenciam a radiação refletida da superfície. Alguns deles são os óxidos de ferro, a umidade, a matéria orgânica, a granulométrica (porcentagens de areia; silte, argila), argilominerais e o material de origem (MENESES; FERREIRA, 2001; MOREIRA, 2005).

As características espectrais do solo vermelho – marrões encontram-se entre os solos arenosos e argilosos. Pedogeneticamente estes solos foram formados por intemperismo, sendo constituídos por minerais tais como o quartzo, montmorilonita, óxidos de ferro e matéria orgânica. Os óxidos de ferro e matéria orgânica são basicamente os agentes da cor deste solo. Os solos argilosos apresentam baixa reflectância no azul e verde, com incremento no vermelho, mas mostram um relativo baixo albedo ao longo do espectro do visível. Isto é

causado pelo conteúdo de óxidos de ferro e matéria orgânica. Um pico de absorção aos 970 nm pode ser devido a presença de água em estado líquido (BEN-DOR et al., 2001).

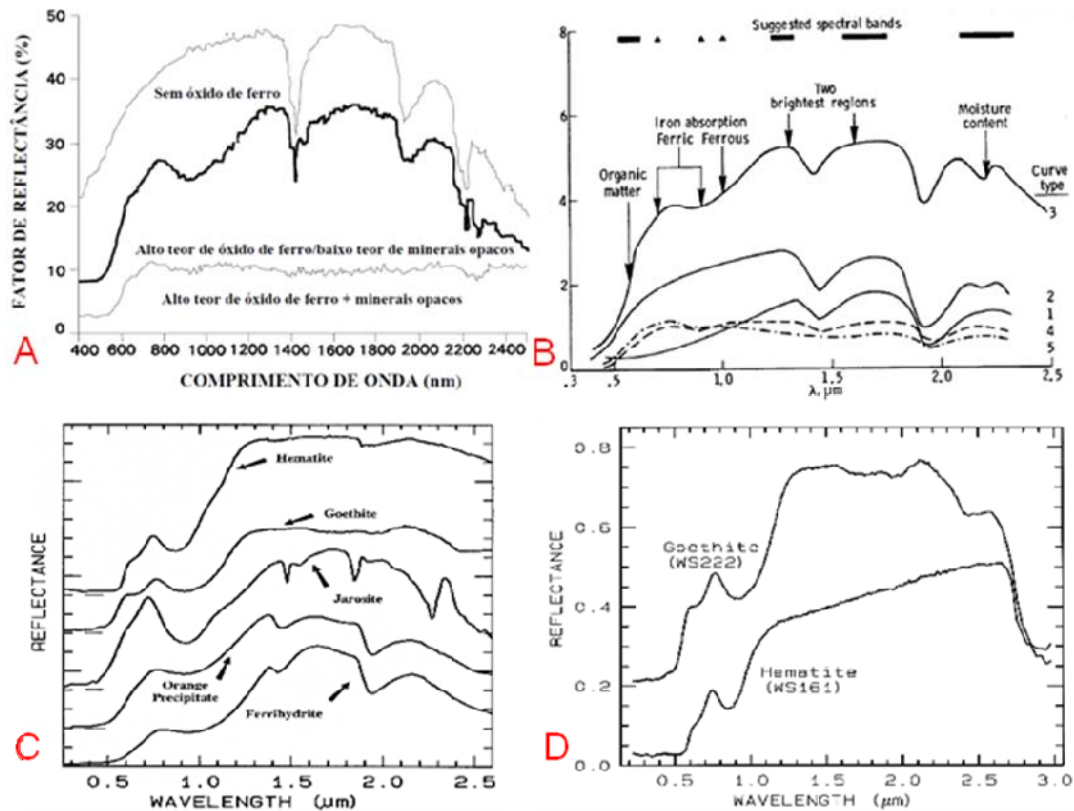


Figura 2.5. Curvas espectrais referenciais. 2.5-A: Teor de óxido de ferro e minerais opacos. Fonte: INPE (2001). 2.5-B: Curvas típicas de reflectância do solo. Fonte: Bowker et al. (1985). 2.5-C: Espectros de reflectância de óxidos de ferro, hidróxidos de ferro e sulfatos de ferro. 2.5-D: Espectros de reflectância de goethita e hematita. Fonte: USGS Spectral Library

Segundo Pedron (2005), as classes de solos Alissolos e Argissolos juntas, compreendem 69 % do perímetro urbano da cidade de Santa Maria. Essas classes são semelhantes no aspecto morfológico e coincidem com as descrições de Pedron et al. (2004a, 2004b), Maciel (1990) e SEMA-RS/UFMS (2001) sobre solos argilosos-arenosos, pelo qual é esperado que a resposta espectral dos solos com estas características sejam semelhante a resposta espectral das telhas de cerâmica.

O espectro de uma rocha resulta da combinação dos espectros de seus minerais constituintes, porém dificilmente esse espectro apresenta todas as feições dos minerais que constituem a rocha, não obstante no caso das rochas procura-se destacar as características da feição espectral e o que é responsável pela sua origem. Os efeitos das ações da intemperização da superfície das rochas contribuem para a degradação da informação espectral captada por um sensor remoto, qualquer película que reveste a superfície das rochas, por mais fina que seja afeta a observação espectral dos minerais constituintes (MENESES; FERREIRA, 2001).

Os agregados para a construção civil são obtidos de materiais rochosos variados, podem ser oriundos de rochas sedimentares, metamórficas ou ígneas. A brita utilizada como agregado mineral na construção civil é uma mistura de rochas basálticas, as graníticas e as gnáissicas, que são trituradas gerando brita de diferentes tamanhos de grão segundo a utilização. (QUARESMA, 2009; PETRAKIS et al., 2010). Um exemplo de resposta espectral deste material mostra-se na Figura 2.6-D.

Para o tipo de pavimento constituído por rochas duras são utilizados materiais alta firmeza mecânica e alta resistência ao intemperismo, aspecto que explica o porquê os paralelepípedos⁴ geralmente são de granito o basalto (MINEROPAR, 1983). Um exemplo de resposta espectral do basalto mostra-se na Figura 2.6-C.

O trabalho de Dell'Acqua et al. (2005) mostra alguns dados relacionados com de pavimentação de paralelepípedos de granito, que mostram alta refletividade aparente em comprimentos de onda visíveis curtos aos 470 nm e absorção na faixa entre 500 – 525 nm (Figura 2.6-A). Espinosa (2006) apenas menciona a confusão espectral em uma classificação entre uma área urbana e uma área com afloramento de basalto, que poderia ser explicado pela pavimentação das ruas da cidade com paralelepípedo de basalto.

⁴ Chama-se paralelepípedo a uma peça de pedra com a forma do sólido que lhe empresta o nome. Normalmente a peça tem a forma de um paralelepípedo retângulo. Também é chamada de poliedro regular. Outra alternativa para pavimentação é a chamada pedra irregular ou poliedro, que é uma peça de pedra de forma irregular, com uma das faces destinada ao rolamento, aproximadamente plana (MINEROPAR, 1983).

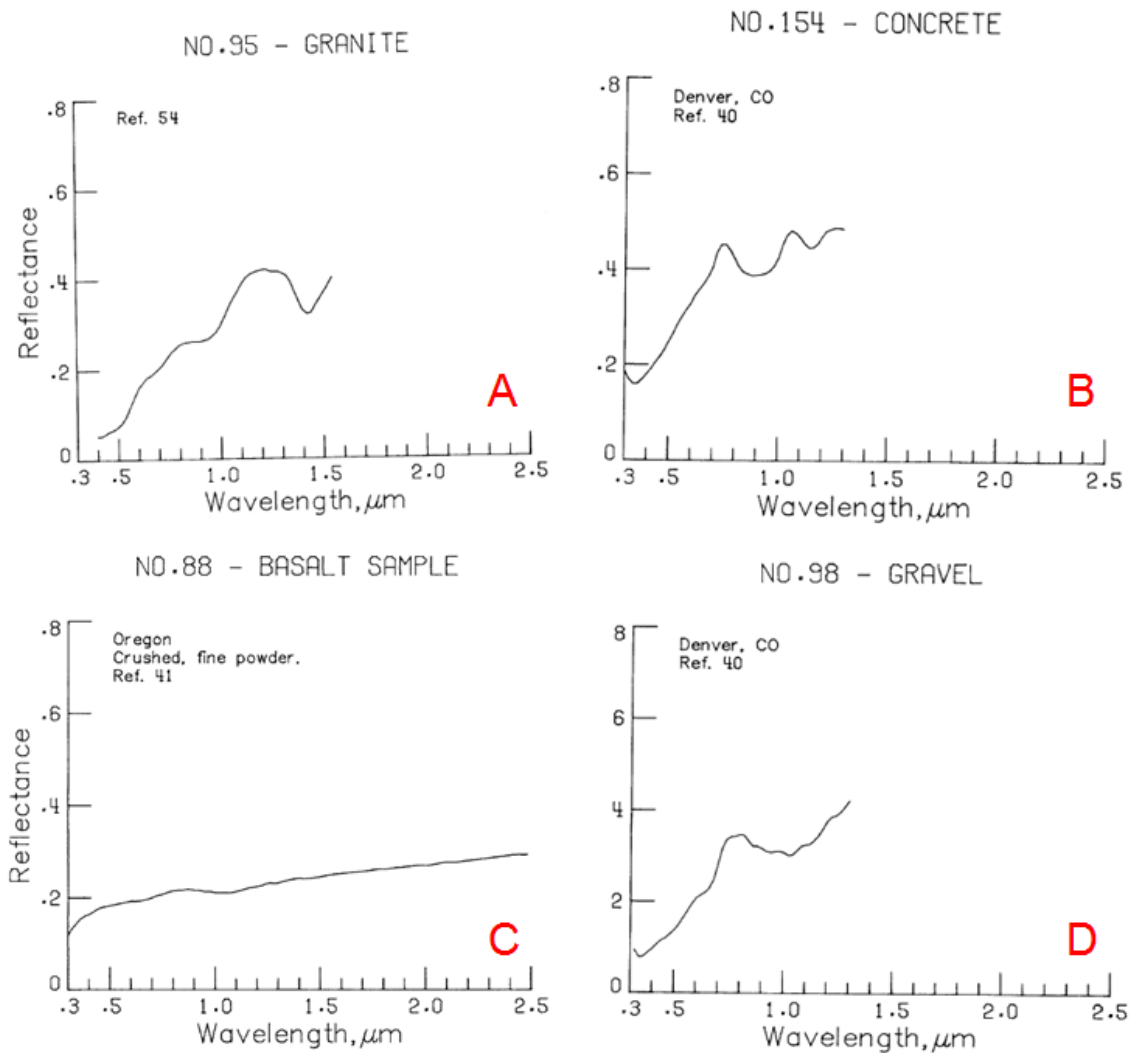


Figura 2.6. Espectros de refletância: 2.6-A Granito, 2.6-B Concreto, 2.6-C Basalto, 2.6-D Brita. Fonte: Bowker *et al.* (1985).

Neste caso, o comportamento espectral é difícil de padronizar devido a que a constituição mineralógica das rochas é diferente em sua formação. Porém, a caracterização espectral tem relação com os minerais presentes nas rochas e em alguns casos as descrições encontradas nas bibliotecas espectrais nem sempre são semelhantes à área de estudo (Figura 2.6).

As rochas basálticas da Bacia do Paraná e da Serra Gaúcha são utilizadas para pavimentação com paralelepípedo (PETRAKIS *et al.*, 2010; ALMEIDA; MARQUES, 2010). O granito da cor rosa avermelhada é identificado na região sul segundo Sartori e Rüegg (1979), Philipp e Campos (2005), Mottana *et al.* (1977)

quem mencionam que a cor do granito é pela maior ocorrência de feldspato potássico e plagioclásio com os minerais essenciais ortosa e microclina prismáticos.

Os gnaisses são rochas metamórficas com composição variada, dependendo da rocha original, podem ser gnaisses graníticos, gnaisses dioríticos e gnaisses sieníticos. Os arenitos são rochas sedimentarias, mas somente os silicosos se prestam como rocha britada. Os granitos são rochas plutônicas ácidas constituídas por cristais de feldspatos potássicos, plagioclásio, quartzo e mica. Há variedades de granitos, podendo apresentar coloração avermelhada, cinza, amarela e rosada, entre outras (ALMEIDA; MARQUES, 2010).

Por isso a importância de conhecer-se o tipo de rocha ou solo presente em uma área, para conseguir discriminar as feições chaves de absorção associadas aos seus minerais constituintes.

2.4 Análise Espectral

2.4.1 Aquisição de Dados Espectrais em Campo

A assinatura espectral de um alvo é função da interação entre o mesmo e a radiação eletromagnética, permite a identificação, localização, caracterização e diferenciação de outros objetos. A partir da assinatura pela medição do sinal refletido ou emitido, a caracterização nas diversas partes do espectro, é realizada a assinatura temporal associada à modificação das características espectrais no tempo (MAILLARD, 2000).

A maneira prática que se tem para identificar em quais comprimentos de onda ocorrem as feições de absorção, é por meio de medições dos espectros de reflectância, feitas em laboratórios ou no campo. Para se obter essas medidas usam-se o espectrorradiômetro, que é um sistema sensor não imageador que possui a capacidade de dividir ou fatiar a radiação electromagnética em faixas (bandas espectrais) geralmente estreitas, que mede a resposta do alvo de maneira quase continua ao longo de faixa específica do espectro eletromagnético. O

espectrorradiômetro produz geralmente um tipo de gráfico ou curva espectral que descreve o comportamento espectral de um alvo (MAILLARD, 2000; NOVO, 2008).

Os espectrorradiômetros têm uma função equivalente aos sensores imageadores, já que medem a radiância refletida por comprimento de onda (bandas de um sensor) e configuram a imagem dos objetos em níveis de cinza, apenas não geram uma imagem de saída (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Um espectrorradiômetro é utilizado para medir a potência óptica radiante emitida. Ele é composto por três elementos básicos:

- entrada óptica: esfera de integração, telescópio etc. (dispositivo para captar (coletar) a radiação a ser medida);
- um monocromador (dispositivo para isolar cada radiação monocromática (em cada comprimento de onda) de um feixe de luz);
- um detector (dispositivo para converter energia radiante em um sinal elétrico).

A informação obtida por espectrorradiômetros é semelhante à capturada pelos sensores nos satélites LANDSAT, SPOT, TERRA (ASTER) ou AVIRIS. A diferença deve-se principalmente na resolução espectral e a continuidade dos dados. As curvas espectrais facilitam a determinação das bandas que são apropriadas e úteis para discriminar materiais, sejam naturais ou artificiais. A análise destas curvas permite estimar a relação de diferença espectral entre vários objetos. Quanto mais elevada a diferença de reflectância entre dois objetos, serão mais fáceis de distinguir (MOREIRA et al., 2007; NOVO, 2008).

As curvas espectrais dos diferentes materiais podem ser adquiridas no local por medidas em campo, em laboratório ou bibliotecas espectrais tais como as do USGS e ASTER JPL. No processamento de dados hiperespectrais⁵ é muito comum identificar as feições espectrais de absorção dos alvos de interesse e logo comparar com espectros conhecidos desses alvos, que passam a ser chamados de “*endmembers*”, termo que é atribuído às referências que serão investigadas nas cenas. A maioria dos *softwares* que processam dados hiperespectrais possuem

5 Os dados de sensoriamento remoto adquiridos simultaneamente em centenas de bandas espectrais, sejam com espectrorradiômetros ou espectrometria de imageamento, são dados hiperespectrais, já que conformam um grande número de bandas espectrais relativamente estreitas, contíguas e/ou não contíguas nas porções ultravioleta, visível e infravermelho do espectro electromagnético. As larguras de banda dos sensores de satélites multiespectrais vão de 50 a 120 ou mais nanômetros, o que contrasta com as larguras de bandas hiperespectrais que variam de 1 a 15 nanômetros. O espectro de reflectância de alta resolução ajuda a identificar materiais de superfície que possuem feições de absorção que não podem ser identificadas com sistemas de imageamento de banda larga (BORENGASSER et al., 2008; JENSEN, 2009).

módulos para o processamento de bibliotecas espectrais (MENESES; ALMEIDA, 2012).

2.4.2 Técnicas de Análise Espectral

A análise espectral fundamenta-se nas técnicas de espectroscopia de reflectância e refere-se à obtenção de informação quantitativa e qualitativa das propriedades dos materiais, com base na radiação refletida. Esta informação é obtida, basicamente, através da análise da reflectância espectral e da presença de feições espectrais ou bandas de absorção (MUSTARD; SUNSHINE, 1999).

Podem-se considerar os espectrorradiômetros como sensores remotos hiperespectrais, que possibilitam a medição e extração, das feições espectrais de reflectância/absorção que identificam a composição dos materiais (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Os dados obtidos por espectrorradiômetros podem ser analisados com várias técnicas desenvolvidas para ser aplicadas tanto em dados multiespectrais como hiperespectrais. Algumas delas são: para suavização os espectros, tais como o filtro de médias móveis e os métodos para análise de feições espectrais tais como análise Derivativa (*Derivative Analysis*), Remoção do Contínuo (*Continuum-removal*), Mapeador de Ângulo Espectral (*Spectral Angle Mapper – SAM*) (MOREIRA, 2008).

Métodos de análise espectral geralmente comparam espectros de "*pixel*" com um espectro de referência. As técnicas de análise estão baseadas em algoritmos de detecção que precisam acesso aos atributos espectrais em uma biblioteca espectral. As bibliotecas espectrais contêm espectros de referência medidos ou simulados de campo e coletas laboratoriais de reflectância ou dados de radiância. Após a coleta, os "*pixels*" dos novos espectros são comparados com os espectros da biblioteca espectral para a detecção e identificação (BORENGASSER et al., 2008).

2.4.2.1 Filtro de Média Móvel

Existem vários métodos de suavização de dados espectrais, entre eles pode-se citar o método dos mínimos quadrados e o filtro da média móvel. Calcula-se uma média dos valores espectrais de todos os pontos dentro de um intervalo discreto, com tamanho pré-especificado, com a definição prévia de uma janela. Essa média então é definida como o novo valor do ponto central da janela (ver equação 2)

$$\hat{s}(\lambda_j) = \frac{\sum s(\lambda_i)}{n}, \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde $\hat{s}(\lambda_j)$ é o espectro estimado livre de ruído; e $s(\lambda_i)$ é o espectro original com ruído; n é número de elementos considerados na janela e j é o índice de ponto central do filtro.

Para a efetiva suavização, este método não precisa de curva de ajuste polinomial ou pelo método por mínimos quadrados, o filtro da média usa um valor médio dos elementos dentro de uma janela de suavização local como o novo valor do ponto central da janela de amostragem (TSAI; PHILPOT, 1998). O desempenho deste algoritmo dependerá principalmente do tamanho do filtro utilizado, pois com o aumento do tamanho do filtro, há um aumento gradativo até a relativa suavização espectral ou remoção de detalhes espectrais (MATHER, 2004).

2.4.2.2 Análise Derivativa

Análise Derivativa é uma técnica de espectroscopia com forte consistência teórica para o uso em dados de Sensoriamento Remoto. Isso pelo fato das derivadas de segunda ordem ou de ordens maiores serem relativamente insensíveis

a variações de intensidade de iluminação, mudanças no ângulo solar, cobertura de nuvens, ou pela topografia do local (TSAI; PHILPOT, 1998).

Conceitualmente, a aplicação de uma operação de derivada sobre uma função, representa uma forma de quantificar a taxa de variação de uma determinada variável em relação à outra. No caso de um espectro, representa a taxa de variação de reflectância espectral do alvo em relação a variação do comprimento de onda da energia incidente (BARBOSA, 2005).

Na análise derivativa de primeira ordem, a assinatura da reflectância espectral dos alvos, pode ser representada como um polinômio de ordem N, sendo que N varia diferentemente para cada componente. Então, pela diferenciação sucessiva da assinatura espectral original, podem-se remover sistematicamente os efeitos dos componentes de menor ordem (GOODIN et al., 1993). Neste sentido, Tsai e Philpot (1998) e Rudorff (2006) explicam a utilização da técnica de aproximação por diferença simétrica, definida genericamente como aproximação simétrica para o cálculo de derivadas em análises espectrais. O resultado da aproximação é dependente da resolução (separação entre as bandas) e o tamanho do filtro ou da largura da banda.

2.4.2.3 Remoção do Contínuo

A Remoção do Contínuo é uma função matemática utilizada para isolar bandas de absorção particulares dos espectros de reflectância, permitindo qualificar feições contínuas e individuais dos espectros que retratam características intrínsecas dos alvos. Sua aplicação é importante, pois permite acentuar estas feições, reduzir os efeitos externos e identificar os elementos causadores (CLARK; ROUSH, 1984).

A remoção do contínuo é uma técnica utilizada para a quantificação da profundidade de feições espectrais de absorção, obtida da razão entre o espectro sob investigação e uma função traçada com a união dos valores espectrais máximos, em um intervalo espectral de interesse, visando à obtenção de um espectro normalizado (MOREIRA, 2008).

Esta técnica normaliza a reflectância espectral de modo a permitir um melhor detalhamento das feições nas bandas de absorção, possibilitando a comparação das

feições de absorção individuais com valores de referência comuns (ENNES, 2008). A remoção do contínuo tem também o mérito de fornecer os locais corretos onde se encontra o centro da característica de absorção na banda do contínuo removido (RIVARD et al., 2008).

A formulação matemática para a remoção do contínuo, denominada fator de reflectância do contínuo, pode ser expresso pela divisão do valor da reflectância original para cada banda da feição de absorção pela linha do espectro do contínuo (superfície convexa). O λ representa o comprimento de onda (ver equação 3)

$$\rho_{CR\lambda} = \frac{\rho_{Original\lambda}}{\rho_{contínuo\lambda}}, \quad \text{Eq. (3)}$$

A feição de absorção resultante da aplicação da técnica de remoção do contínuo normalmente possui vários parâmetros que servem como indicadores quantitativos das propriedades espectrais das amostras analisadas tais como: profundidade, posição, largura e assimetria. Esses parâmetros são utilizados na comparação entre as curvas de reflectância normalizada de cada amostra com curvas espectrais de referência, obtidas a partir de amostras cujas propriedades sejam conhecidas (ENNES, 2008).

2.4.2.4 Mapeador de Ângulo Espectral (SAM).

O Mapeador de Ângulo Espectral (*Spectral Angle Mapper - SAM*) é uma técnica que visa identificar um ou mais espectros em um conjunto de dados n -dimensional, com base na separação angular entre os vetores que representam esses espectros no espaço de atributos e o vetor que representa um ou mais espectros de referência (MOREIRA 2008). Considera cada "pixel" na cena e avalia a similaridade dos espectros para reprimir a influência do sombreamento, o que

acentua as características de reflectância. Com o SAM, os dados são convertidos para reflectância aparente, que é a verdadeira reflectância com coeficientes de ganho que são definidos pelo terreno e das condições de iluminação (BORENGASSER et al., 2008).

O vetor que representa cada espectro é o segmento que une a origem do espaço n -dimensional à sua respectiva posição nesse espaço, o ângulo espectral é o ângulo entre os dois vetores que têm uma origem comum. Cada eixo de vetor representa todas as possibilidades espectrais de um material específico, que pode variar em comprimento, dependendo do brilho (Figura 2.7). A magnitude do ângulo indica as semelhanças e dissimilaridade dos materiais – um ângulo menor correlaciona a assinatura espectral mais similar. Vetores em eixos diferentes representam materiais diferentes, sendo a separação angular entre eles um indicativo da dissimilaridade espectral. Ou seja, quanto mais próximos os eixos, mais similares seriam os espectros (BORENGASSER et al., 2008, MOREIRA, 2008).

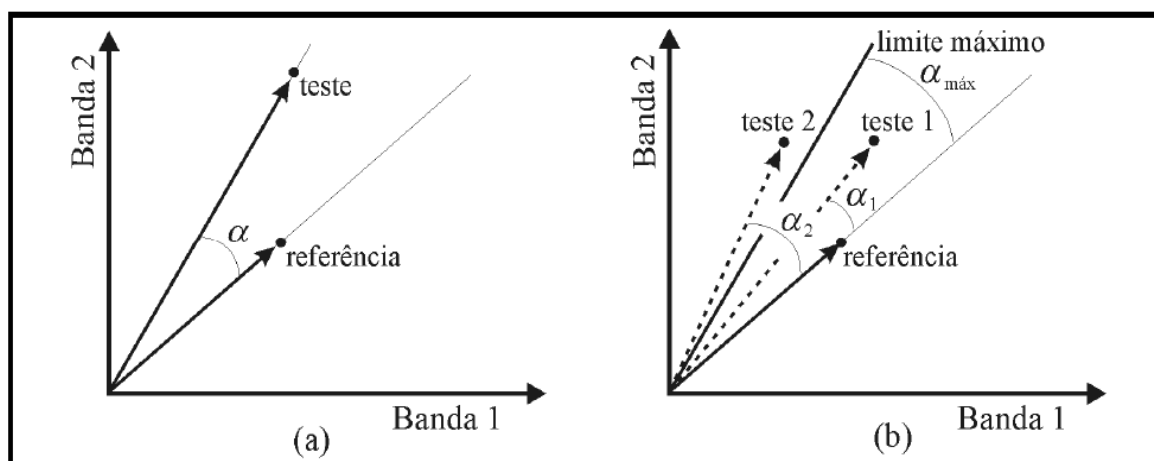


Figura 2.7. Distância angular entre um espectro de referência e espectros de teste em um espaço de atributos bidimensional. O ângulo α entre o espectro de referência e o espectro de teste (a) define a semelhança espectral no conceito SAM. O ângulo máximo $\alpha_{\text{máx}}$ que separa os espectros de teste de um ou mais espectros de referência é estabelecido como critério para inclusão ou exclusão de classe (b). Fonte: Moreira (2008).

Este método é relativamente insensível a variações na iluminação sobre o material do alvo porque as mudanças na luz terão impacto sobre a magnitude, mas não a

direção do vetor. Um alvo mal iluminado fará que os pontos sejam desenhados mais perto da origem (CLARK, 1999).

O valor de cada nível digital da imagem *SAM* corresponde ao valor do ângulo entre o espectro de referência e o espectro de teste. O espectro da imagem é então atribuído a um fator de correlação entre 0 (baixa correlação) e 1 (elevada correlação) e comparados com uma biblioteca espectral. Quanto maior o valor digital do pixel, maior é o ângulo. Assim, quanto maior o brilho do *pixel* na imagem *SAM*, menor é a similaridade do espectro do *pixel* com o espectro utilizado como referência. É importante considerar que a técnica *SAM* não discrimina os alvos pela magnitude de seus valores. Isto é, alvos escuros e claros de um mesmo tipo de material não serão discriminados entre si, pois o *SAM* só é capaz de diferenciar “posições” espectrais diferentes e não a intensidade dos espectros, o albedo (BORENGASSER et al., 2008; MOREIRA, 2008).

2.5 Reamostragem de bandas espectrais

Em relação às características espectrais de um sensor existem três fatores importantes: a abrangência espectral é a porção total do espectro eletromagnético que o sensor cobre, a amostragem espectral refere-se ao número de bandas em que a abrangência espectral é segmentada e a largura espectral de banda é o intervalo de comprimentos de onda das bandas espectrais (PINTO et al., 2013).

Os sensores de observação dos recursos naturais terrestres são construídos com diferentes bandas espectrais, pelo qual se diferem significativamente entre os sensores, mesmo para as bandas construídas para operar em uma mesma região do espectro eletromagnético. Com isto, as bandas fornecem medidas substancialmente diferentes e que não são diretamente comparáveis (CHANDER et al., 2013, TEILLET et al., 2007).

Estas diferenças intrínsecas entre os dois sensores são por que cada uma das bandas dos sensores tem uma Função de Resposta Espectral (FRE). Os parâmetros importantes da FRE são: o comprimento de onda central, λ_c , ao qual o sensor é sensível, que corresponde ao comprimento de onda do máximo da curva e

a largura a meia altura desta resposta (*Full Width at Half Maximum – FWHM*)⁶, que fornece uma ideia da resolução espectral da banda (PINTO et al., 2009).

A forma de comparar respostas espectrais frequentemente é realizada por meio do cálculo do fator de ajuste das bandas espectrais, levando em consideração o perfil espectral do alvo e a FRE das bandas dos dois sensores (PINTO et al., 2009).

A reamostragem de sensores imageadores multiespectrais a partir de sensores hiperespectrais é uma oportunidade de se experimentar variações nos intervalos espectrais originais. Considerando as funções de resposta espectral, que caracterizam as bandas espectrais dos sensores que se desejam comparar é possível ajustar as bandas espectrais para atingir melhores resultados na discriminação das feições de interesse e avaliar previamente as potencialidades de utilização das imagens do satélite (ESPOSITO et al., 1998)

2.6 Avaliação dos resultados

Para conferir que os dados coletados e classificados sejam confiáveis e terem a qualidade desejada, é preciso fazer uma avaliação da precisão dos métodos utilizados. Entre as formas mais frequentes de testar a precisão dos métodos de classificação encontram-se a matriz de confusão e o cálculo do índice Kappa.

6 A resolução espectral de um sensor é geralmente indicada por meio de dois componentes: amostragem espectral que refere-se ao ND que são coletados ou amostrados ao longo da curva de resposta e **largura à meia altura (*Full width at half maximum - FWHM*)** que refere-se a resposta do detector resultante da exposição a uma fonte monocromática calibrada. **Largura à meia altura** é um parâmetro de uma curva ou função referente ao seu "abaulamento"; tal largura é dada pela diferença entre dois valores extremos, no qual a função atinge metade de seu valor máximo. *FWHM* descreve e mede a largura da banda, seja em microns ou nanômetros, e especifica a resolução espectral (SCHOTT, 2007; BORENGASSER et al., 2008;).

2.6.1 Matriz de confusão

Esta matriz é quadrada e apresenta os resultados de uma classificação, além de comparar, classe por classe, a relação entre os dados de referência, considerados corretos e os correspondentes resultados da classificação. Nesta matriz, as colunas representam os dados de referência, enquanto as linhas correspondem aos resultados da classificação gerada a partir dos dados de sensoriamento remoto, sendo o número de linhas e colunas iguais ao número de classes espectrais do estúdio (PINHO, 2006; SCHOTT, 2007; MENESES, 2012).

A partir da matriz de confusão, é possível calcular algumas medidas descritivas como a exatidão global em uma escala que varia de 0 a 100%, além da exatidão do usuário e exatidão do produtor, que refletem os erros de comissão e omissão respectivamente (PINHO, 2006; MENESES, 2012).

2.6.2 Índice Kappa

O coeficiente Kappa, ou também chamado de Índice Kappa, é uma estimativa da precisão geral bastante conhecida, utilizada e também calculada a partir da matriz de confusão.

Segundo Congalton e Green (1999), este coeficiente incorpora em seu cálculo indiretamente toda a matriz de confusão e reflete a proporção de acerto após a eliminação do acerto por acaso, já que se fundamenta na diferença entre concordância observada (diagonal principal da matriz de confusão com a concordância entre a classificação e os dados de referência) e a chance de concordância entre os dados de referência e uma classificação aleatória (produto entre os totais marginais da matriz). Este índice varia de 0 (concordância nula) a 1 (concordância perfeita).

Os resultados das classificações foram então categorizados segundo a escala de avaliação proposta por Landis e Koch (1977) na qual os intervalos de valores são atribuídos à qualidade da classificação: $-0,2 =$ ruim; $0,2 - 0,4 =$ razoável; $0,4 - 0,6 =$ boa; $0,6 - 0,8 =$ muito boa; e $0,8 - 1,0 =$ excelente.

2.6.3 Análise de correlação

Avaliar se existe correlação entre características quantitativas é a forma de conhecer se existe associação entre elas. A análise de correlação está estreitamente relacionada com a análise de regressão linear, porém busca a verificação do grau de relacionamento linear entre duas variáveis. Assim, a correlação é considerada como uma medida de associação, influência mútua ou conjunta entre duas variáveis. (JACQUES, 2003; VIALI, 2013).

A análise de correlação fornece um número que resume o grau de relacionamento linear entre as duas variáveis, essa medida da correlação é o denominado coeficiente de correlação de Pearson (r), que no caso de uma correlação simple é uma medida de intensidade de associação ou grau de relacionamento linear entre duas variáveis quantitativas (VIALI, 2013).

O coeficiente de correlação pode variar de $-1,00$ a $+1,00$. Valores positivos de r indicam uma correlação direta, x e y variam no mesmo sentido. Valores negativos indicam uma correlação inversa, quando x aumenta y diminui ou vice-versa (JACQUES, 2003).

O coeficiente de correlação fundamenta-se em um relacionamento linear entre as variáveis, por isso o coeficiente de correlação é adequado para avaliar somente o relacionamento linear. As duas variáveis podem estar perfeitamente relacionadas, mas se não for de forma linear o valor do coeficiente pode ser zero ou próximo de zero (VIALI, 2013).

2.6.4 Teste de hipótese

Quando se calcula o coeficiente r em uma amostra se está estimando a associação verdadeira entre as variáveis x e y existentes na população, mas às vezes o valor de r não mostra a correlação entre as variáveis. Para verificar a existência de correlação pode-se realizar um teste de hipóteses que ajude a comprovar estatisticamente a significância da correlação, ou seja, comprovar se os dados amostrais explicam a relação entre variáveis (JACQUES, 2003).

Para avaliar a significância do coeficiente de correlação, geralmente testa-se a hipótese nula de que $\rho = 0$ e a hipótese alternativa $\rho \neq 0$, sendo ρ a correlação na população, isto para a distribuição t . Se escolhe o nível de significância $\alpha = 0,05$ e se determinam os valores de t crítico e t calculado. Se t calculado é $< 0,05$ não se rejeita a hipótese nula e indica que não existe evidência de correlação, por enquanto se t calculado é $> 0,05$, a correlação entre as variáveis se considera significativa (JACQUES, 2003)

A interpretação dos resultados deve considerar algumas observações segundo Jacques (2003) e Souza (2012):

1. O valor de r obtido poderia ser casual, mas não existe correlação entre as variáveis.
2. Um coeficiente de correlação “significativo” não indica causalidade, mas pode indicar uma ligação comum a outros eventos.
3. Existe correlação, mas com o conjunto de dados não foi possível estabelecer essa relação, provavelmente pelo pequeno tamanho da amostra.
4. Se não há correlação linear significativa, a equação de regressão não deve ser utilizada para fazer previsões.
5. Uma correlação “significativa” não é, necessariamente, uma correlação importante.
6. As variáveis altamente correlacionadas não apresentam necessariamente qualquer relação de causa e efeito.

2.7 Discriminação de padrões urbanos

A determinação da natureza dos alvos pelos métodos de sensoriamento remoto é fundamentada no fato de que diferentes materiais são caracterizados por reflectâncias próprias, em cada banda do espectro, o que ajuda no reconhecimento de padrões da paisagem urbana e periurbana na identificação dos elementos de uma cidade de pequeno porte. Em uma imagem colorida, a cor do objeto vai depender da quantidade de energia que ele refletir (na banda correspondente à imagem), da mistura entre as cores (processo aditivo), e da cor que for associada às bandas originais. De modo geral, formas irregulares são indicadoras de objetos

naturais (matas, lagos, feições de relevo, pântanos etc.), enquanto formas regulares indicam objetos artificiais ou culturais, construídos pelo homem (indústrias, aeroportos, áreas de reflorestamento, áreas agrícolas, arborização de ruas, cercas), o que leva a utilização dos elementos tradicionais aplicados em interpretação visual de imagens (LUBENOW; OLIVEIRA, 2011; PINHO et al., 2007).

Conforme Kurkdjian (1986), a diferenciação residencial no espaço urbano permite a apreensão de sua distribuição espacial e sua interação com a caracterização socioeconômica da população urbana, diferenciando o espaço residencial construído e localizando com precisão em que parcelas da área urbana devem ocorrer ações planejadas.

O espaço urbano é um complexo conjunto de usos da terra que tem uma tendência de fracionar-se em áreas relativamente homogêneas com características sócio-econômicas similares, em áreas que diferem umas das outras por fatores como classe social, salário, ocupação e grupo étnico, porém podem ser identificadas unidades intraurbanas ou padrões de ocupação, como é o caso dos padrões e heterogeneidade das construções (YUHARA et al., 2007).

Porém, a complexidade do ambiente urbano gera dificuldades no estudo do comportamento espectral dos alvos, uma vez que o espectro urbano é composto de uma heterogeneidade de alvos. Como consequência, a análise detalhada da área urbana, utilizando dados de sensoriamento remoto só é possível com a utilização de dados de sensores com alta resolução espacial e espectral, no qual se verifica uma maior discriminação dos alvos, para ajudar a analisar o tipo de padrão de ocupação urbana (YUHARA et al., 2007).

3 MATERIAIS E MÉTODOS.

A principal finalidade deste trabalho é discutir como a análise radiométrica pode ajudar a suplantar as dificuldades na extração de informação em imagens de alta e muita alta resolução espacial, permitindo a diferenciação entre os alvos urbanos, cuja natureza é diferente e estão associados a padrões urbanos. O procedimento metodológico neste trabalho é apresentado no seguinte fluxograma (Figura 3.1).

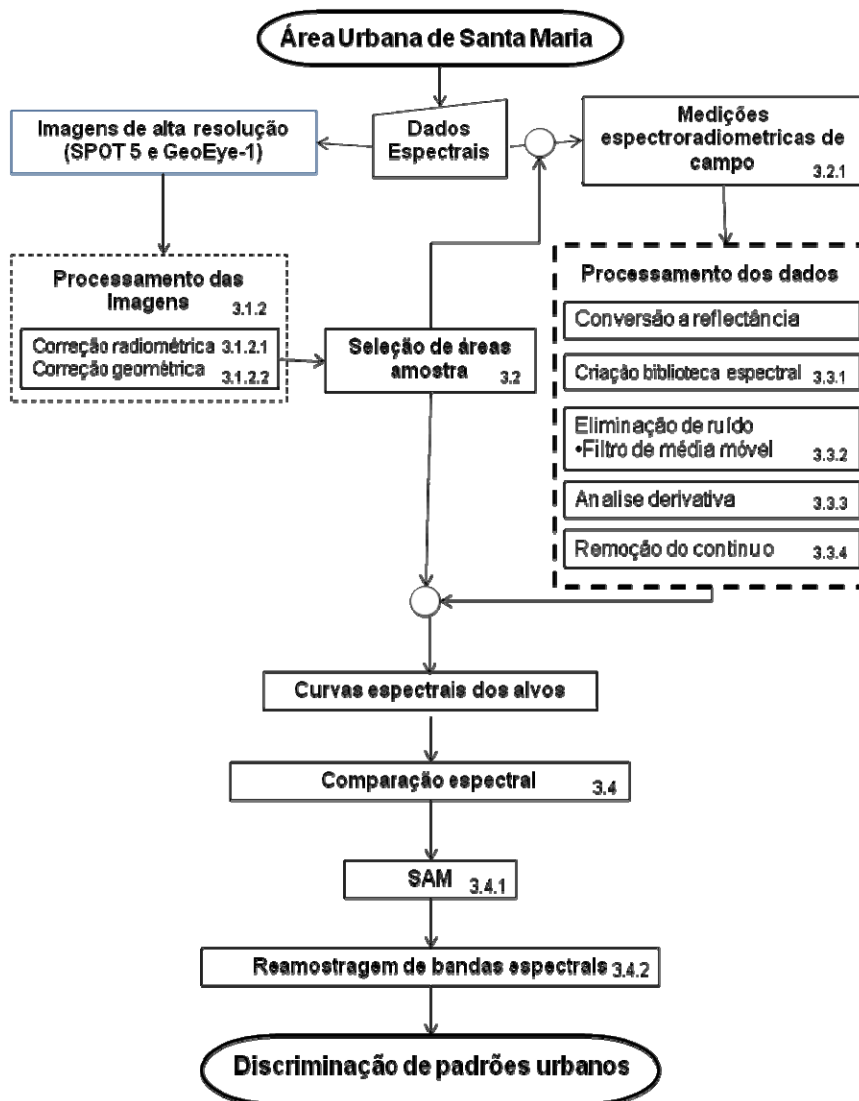


Figura 3.1. Fluxograma dos procedimentos metodológicos.

3.1 Preparação dos Dados

3.1.2 Processamento das imagens

As imagens utilizadas na pesquisa foram:

- GeoEye-1, tipo "Geo" (*Standard Geometrically Corrected*), com data de 07 de novembro de 2013, resolução espacial de 1,60 m, adquirida com ângulo de incidência de 7,43° e resolução radiométrica de 11 bits.
- SPOT 5; K /J: 705 – 409, tipo "Nível 1A" com data de 03 de maio de 2012, resolução espacial de 10 m, com resolução radiométrica de 8 bits e adquirida com ângulo de incidência de 11,60°.

O nível de processamento das imagens se encontrava no nível básico, que neste caso corresponde com o tipo "Geo" da imagem GeoEye-1 e "Nível 1" na imagem SPOT 5, que só apresenta o menor nível de correções, radiométrica e geométrica, apenas inclui dados de projeção geográfica no Datum WGS84.

O primeiro passo foi fazer a correção radiométrica para converter os ND da imagem para reflectância. O segundo passo foi fazer a correção geométrica para remoção das distorções sistemáticas introduzidas durante a aquisição das imagens.

3.1.2.1 Correção radiométrica

A correção radiométrica envolve a conversão dos valores ND da imagem para valores de radiância e logo a correção atmosférica sobre a imagem radiância, com a qual se obtém a imagem reflectância de superfície, produto que foi utilizado para comparar as curvas espectrais dos alvos que foram medidos com o espectrorradiômetro.

O primeiro passo foi a conversão dos valores ND da imagem para valores de radiância. As equações utilizadas correspondem às estabelecidas nas publicações técnicas de Podger et al. (2011) e CNES (2007), encontradas sobre radiância e reflectância calculadas para os sensores GeoEye-1 e *HRG-1/SPOT 5*. Estas

equações foram aplicadas com ajuda da ferramenta “Band Math” do ENVI. A radiância aparente foi calculada segundo a equação 4:

$$L_{\lambda} = Gain_{\lambda} \cdot DN_{\lambda} + Offset_{\lambda} \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde: λ corresponde à banda espectral da imagem (infravermelho próximo, infravermelho, verde, azul); L_{λ} é a radiância espectral para banda λ em ($\text{mW}/\text{cm}^2/\mu\text{m}/\text{str}$); $Gain_{\lambda}$ é o valor de ganho para cada banda; DN_{λ} são os valores de níveis digitais por cada banda; $Offset_{\lambda}$ ($\text{mW}/\text{cm}^2/\mu\text{m}/\text{str}$) é o valor de offset para cada banda.

A reflectância aparente foi calculada segunda a equação 5:

$$\rho_p = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{E_{\text{sun},\lambda} \cdot \cos \theta_s}, \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde: ρ_p é o valor de reflectância aparente; L_{λ} é a radiância aparente por banda em ($\text{mW}/\text{cm}^2/\mu\text{m}/\text{str}$); d – terra em unidades astronômicas; $E_{\text{sun}}(\lambda)$ é a Irradiância média do sol no topo da atmosfera ($\text{mW}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$); θ é o ângulo solar zenital.

Os valores “ d ” e “ $E_{\text{sun}}(\lambda)$ ” para a imagem GeoEye-1 foram obtidos na publicação de Podger et al. (2011) e para a imagem SPOT-5 das publicações de Soudani et al. (2006) Conguedo (2012). O valor de θ (ângulo solar zenital) foi obtido a partir dos metadados associados a cada imagem.

Para a correção atmosférica e obtenção da imagem reflectância de superfície, foi utilizado o método *DOS* com ajuda da ferramenta “*Dark Subtract*” do ENVI utilizando os valores mínimos da imagem, que baseia-se no pressuposto de que em toda cena deve haver um alvo de reflectância zero.

3.1.2.2 Correção geométrica

As Imagens GeoEye-1 e SPOT 5 deviam ter o mesmo posicionamento para possibilitar a delimitação e extração da área teste. Esta sobreposição não necessitava de uma precisão geométrica muito alta, pois se pretendia apenas selecionar aproximadamente a mesma área, para que os resultados das classificações pudessem ser comparados. As imagens disponíveis encontraram-se em um nível de processamento básico, apenas com as correções radiométricas básicas que realizam as operadoras que geram as imagens.

Assim, optou-se por realizar uma ortorretificação usando coeficientes de polinômios racionais (RPC - Rational Polynomial Coefficients) que são fornecidos pelos operadores das imagens, sendo realizada de forma automática utilizando um modelo digital de elevação (MDE) no "software" ENVI. A ortorretificação é um processo de correção geométrica que inclui o uso de um modelo digital de terreno para reduzir das distorções causadas pelo relevo.

Segundo Machado (2007), os operadores fornecem os coeficientes de polinômios racionais (RPC – *Rational Polynomial Coefficients*), que inclui o modelo de geometria do sensor e os parâmetros orbitais (efemérides e atitude). Estes polinômios relacionam um ponto da imagem ortorretificada, por meio de suas coordenadas geodésicas (latitude - ϕ , longitude - λ e altitude - H), com um ponto da imagem não ortorretificada (mas geometricamente), por meio de suas coordenadas de imagem (linha - L e coluna - C). Diversos *softwares* comerciais dispõem de funcionalidade que permite a ortorretificação a partir do trinômio imagem - MDE - RPC.

A determinação dos coeficientes polinomiais contidos nos arquivos disponibilizados é realizada previamente pela empresa que as comercializa, utilizando a imagem em seu tamanho original. Pois, os coeficientes descrevem a geometria da imagem no instante em que foi coletada, portanto estão associados à imagem completa. As imagens GeoEye-1 são fornecidas com os RPCs no arquivo de metadados. No caso da imagem SPOT 5, os RPCs são calculados pelo *software* baseado nos dados do arquivo .DIM, que é o formato das imagens SPOT. Com isso, executou-se a ortorretificação da imagem.

O MNET foi gerado a partir de das informações altimétricas disponíveis na base cartográfica em escala 1:25.000 da área de estudo, em projeção UTM fuso 22 e Datum WGS84.

O primeiro passo foi realizar uma ortorretificação automática da imagem *GeoEye-1* usando os RPC e MNET no *software* ENVI 4.8. Sendo o processo automático, o processamento é interno no *software*, sacrificando precisão por velocidade, porém o usuário não interage diretamente na correção, cujo resultado depende exclusivamente da qualidade do MNET e os RPC's ministrados pela empresa.

Para obter a correspondência espacial com a imagem SPOT 5, foi utilizado o módulo *AutoSync* do ERDAS Imagine 9.1, que alinha imagens de diferentes tipos, diferentes sensores ou com diferentes resoluções. Este *software* permite a escolha do modelo de transformação desejado e da imagem de referência. No presente caso, escolheu-se a transformação de afinidade (*default*) e uma imagem *GeoEye-1* ortorretificada. No processo, é possível utilizar o modelo do sensor, que no caso das imagens SPOT no Nível 1, o *software* deriva os RPC's a partir dos parâmetros geométricos contidos no arquivo de metadados da cena. Também se pode incluir pontos de controle e selecionar uma linha de corte para o erro, que foi então fixado em 1 pixel no próximo passo, para obter um erro médio quadrático (RMSE) que ajude na avaliação do resultado, já que é um resultado acumulativo estatístico dos pontos de correspondência e de modelagem.

Segundo GEOEYE (2006), é viável o emprego dos coeficientes polinomiais racionais para imagens com baixo ângulo de inclinação em relação ao nadir (até 20°), ou alto ângulo de elevação do satélite (superior a 70°), que permite a ortorretificação, mesmo no caso de terrenos com desnível de até 1.200m.

O sistema de projeção das bases cartográficas e as imagens de satélite foram unificados para o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Zona 22 Sul, *Datum* WGS 84.

3.2 Seleção de áreas amostra

Já com as correções feitas, começou o processo de seleção de áreas de amostragem segundo os materiais a caracterizar. Foi realizado um reconhecimento da área em estudo para conferir se os pontos previamente escolhidos na imagem por interpretação visual tinham condições para fazer medições com o espectrorradiômetro. Este passo foi necessário para fazer, posteriormente, os trabalhos de campo e construir a biblioteca espectral de campo.

De forma geral, os materiais urbanos a caracterizar foram selecionados conforme a sua presença comum e distribuição na área de estudo, assim como pela possibilidade de acesso para realizar as medições, considerando as características da superfície (tipo, cor, estrutura, tempo de uso) mostram-se na tabela 3.1:

Tabela 3.1. Tipos de materiais urbanos considerados para medições com espectrorradiômetro.

Materiais Urbanos	Tipos
Telhas	Amianto (novo e velho) Aço Zinco (normal e pintado) Cimento (pintado ou não) Asfalto Cerâmica (nova,velha, vitrificada) Ardósia <i>Shingle</i> Fibra de vidro Plástico
Estradas	Asfalto Paralelepípedo (basalto) Paralelepípedo (granito) Concreto Brita Brita calcária De terra
Quadra de saibro	
Gramma natural	
Gramma sintética	

3.2.1 Medições espectrorradiométricas de campo.

Para realizar as medições espectrorradiométricas, foi utilizado um espectrorradiômetro da marca "Analytical Spectral Device" Inc (ADS), modelo FieldSpec® HandHeld 2, que opera na faixa espectral contínua de 325 a 1075 nm, do espectro eletromagnético, com intervalo de 1,5 nm e precisão de aproximadamente 1nm (ASD, 2014). Opera na região do visível e parte do infravermelho próximo. Destacam-se os seguintes componentes do equipamento: 1) unidade detectora – dispositivo para captar a radiância do alvo; 2) tripé; 3) placa de referência – Spectralon, cuja medida da radiância é obtida antes da medição de cada alvo; 4) unidade de armazenamento interna: dispositivo de registro e armazenamento dos sinais vindo da unidade detectora; 5) acessórios - bateria e cabos de conexão. Para cada amostra foi coletada uma medida de reflectância, a uma altura de aproximadamente 1 m (altura em que foi colocado o espectrorradiômetro sobre o tripé).

No processo de coleta dos espectros de reflectância de materiais urbanos descrito por Moreira (2008), o instrumento FieldSpec® foi utilizado com a óptica padrão de 25° de *FOV*, a ponta de fibra óptica sem lentes ou limitadores de campo de visada, e calibrado para medições de reflectância. Em todos os pontos onde serão coletados os espectros de reflectância foi realizada a calibração do espectrorradiômetro com placa de referência Spectralon® com calibração conhecida, fator com o qual foi obtida a reflectância bidirecional.

Após a calibração e otimização prévia à coleta de cada ponto, o aparelho foi posicionado com ângulo de visada de 0°, no nadir, a modo de minimizar a reflexão especular. Na coleta de dados de reflectância dos materiais urbanos o espectrorradiômetro foi ajustado para realizar a tomada de dez espectros de reflectância por ponto.

Os dados medidos segundo o material foram revisados para observar a dispersão das curvas espectrais. Após a coleta e o armazenamento dos dados, foi realizado o processamento com o "*software*" aplicativo RS3, ViewSpec Pro Versão 6.0, para gerar as curvas de reflectância utilizando os dados na faixa entre 400 e 900 nm, em função da presença de ruídos em comprimentos de onda inferiores e superiores a este limite. Foi

realizada a média dos dez espectros coletados em cada ponto e se obtiveram as curvas espectrais das classes definidas para o estudo.

3.3 Processamento dos dados

3.3.1 Criação da biblioteca espectral de campo

A biblioteca de campo foi constituída principalmente de alvos artificiais, a exceção da grama natural já que é um alvo que coexiste no ambiente urbano da cidade. Os dados foram coletados nos dias 20 de junho, 07, 08, 15 e 16 de julho e 05 de agosto de 2014, sobre a superfície seca e/ou com limpeza prévia da superfície. As medições de campo foram realizadas sempre em condições meteorológicas favoráveis, ou seja, com incidência da energia radiante máxima sem interferência de nuvens, em horário entre as 10:00 am e 14:00 pm.

Segundo o tamanho e a extensão do material, foram realizadas entre 3 e 10 medições por material, obtendo dados espectrais de: 15 materiais associados a estradas, 14 tipos de telhados e 3 de outros materiais (quadra de saibro, grama natural e sintética). Foram realizadas medições sobre um total de 17 tipos de telhas novas, fornecidas por uma loja de venda de telhas na cidade de Santa Maria, que tinham como principal característica ter pigmento colorido na superfície.

As medições com o espectrorradiômetro no caso das estradas, quadra de saibro, grama natural e sintética foram coletadas em vários pontos cuja localização geográfica foi medida com GPS navegador. No caso dos telhados, foi medido de forma diferente, pois não foi possível subir nas coberturas devido à altura dos telhados das casas. A solução adotada foi tomar amostras das diferentes telhas, colocando-as no chão, em um local aberto com incidência de luz solar direta.

Daqueles pontos amostra com informação de coordenadas geográfica, visando à correspondência espacial entre o material identificado na imagem e em campo, foram escolhidos alguns para fazer a reamostragem espectral descrito na seção 3.4.2 da metodologia.

3.3.2 Filtro de Média Móvel

Para gerar as curvas espectrais correspondentes a cada uma das medições foi necessário suavizar o ruído aleatório dos dados coletados, já que foram adquiridos sob condições naturais, para isso foi utilizado o método filtro da média móvel, que também suaviza os dados localmente com a definição prévia de uma janela, sendo de implementação simples e baixo tempo computacional. Foram testadas várias janelas de suavização no programa Excel, e considerou-se o valor espectral médio de todos os pontos dentro de uma janela 7 x 7, especificada como o novo valor para o ponto médio da janela de suavização, sendo o filtro que não causou a remoção de feições espectrais de interesse.

Foi calculado segundo a Equação 6:

$$\hat{s}(\lambda_j) = \frac{\sum s(\lambda_i)}{n}, \quad \text{Eq. (6)}$$

Onde, $\hat{s}(\lambda_j)$ é o espectro estimado livre de ruído; e $s(\lambda_i)$ é o espectro original com ruído; n é número de elementos considerados na janela e j é o índice de ponto central do filtro.

3.3.3 Análise derivativa

Para identificar os comprimentos de onda que apresentam maior variação de reflectância foi utilizada a análise derivativa, porque conceitualmente a aplicação de uma operação de derivada sobre uma função, representa uma forma de quantificar a taxa de variação de uma determinada variável em relação à outra. No caso de um espectro, representa a taxa de variação de reflectância espectral do alvo em relação à variação do comprimento de onda da energia incidente (TSAI e PHILPOT, 1998; BARBOSA, 2005).

Neste trabalho foi calculada no programa *Microsoft Excel* de acordo com a Equação 7

$$\left. \frac{ds}{d\lambda} \right|_n \approx \frac{\rho(\lambda_{n+1}) - \rho(\lambda_{n-1})}{2\Delta\lambda} \quad \text{Eq. (7)}$$

Onde, $\Delta\lambda$ é a separação entre as bandas adjacentes; sendo $\Delta\lambda = \lambda_j - \lambda_i$ para com $\lambda_j > \lambda_i$, o intervalo entre as bandas constante; e $\rho(\lambda_n)$, são valores do espectro na faixa dos comprimentos de ondas λ , respectivamente.

3.3.4 Remoção do contínuo.

O procedimento mais comum para determinar as bandas de absorção tem sido o método do contínuo espectral, uma função matemática ajustada sobre os espectros de reflectância, para isolar e caracterizar suas feições espectrais (CLARK e ROUSH, 1984). Esta técnica normaliza a reflectância espectral de modo a permitir um melhor detalhamento das feições nas bandas de absorção, possibilitando a comparação das feições de absorção individuais com valores de referência comuns, as curvas de saída do contínuo removido tem valores entre 0 e 1, em que feições de absorção são realçadas (MUTANGA e SKIDMORE, 2003).

Neste trabalho, os dados de reflectância coletados em campo já processados e suavizados foram importados para o "software" ENVI, e com a ferramenta *Continuum Removal*, foi calculada a remoção do contínuo para cada faixa espectral em estudo. Foi gerado um arquivo ASCII que foi exportado para o programa *Microsoft Excel*, onde foram gerados os gráficos e identificadas as feições de absorção mais pronunciadas. O cálculo da profundidade da banda foi realizado no utilizando a Equação 8:

$$D = 1 - R'$$

Eq. (8)

Onde, D = profundidade da banda de absorção, R' = valor de reflectância correspondente ao ponto de absorção no espectro com o contínuo removido.

3.4 Comparação Espectral

Com as imagens corrigidas foi realizada a seleção de amostras espectrais na imagem (espectros de referência), para extrair os espectros de *pixels* de classes de materiais de maior relevância na área de estudo, considerando a abundância, a similaridade espectral entre materiais e/ou sua peculiaridade espectral. Foi difícil e, muitas vezes, impossível escolher pixels puros, verdadeiramente puros, dentro da imagem. Assim, procurou-se escolher os pixels tão puros quanto possível, reconhecendo que algumas das assinaturas resultantes não são totalmente puras, condição apresentada com mais frequência na imagem SPOT 5.

Com o conjunto total de espectros obtidos em campo e extraídos da imagem, foi criada uma biblioteca espectral, utilizada nas análises qualitativas e quantitativas da dissertação, que permitiram a descrição das características dos alvos considerados e avaliar: a possibilidade de discriminação ou identificação dos tipos espectrais de materiais urbanos, a análise da importância de regiões espectrais para a discriminação entre os alvos urbanos arrolados na biblioteca.

Foi avaliada a potencialidade para a identificação espectral de materiais urbanos mais característicos, comparando os espectros de referência escolhidos com as imagens GeoEye-1 y SPOT 5 utilizando a técnica de mapeamento espectral: *SAM (Spectral Angle Mapper)*.

Para verificar a aplicabilidade da localização e abrangência das bandas espectrais de sensores multiespectrais e hiperespectrais, já que a comparação entre curvas espectrais de diferentes larguras de bandas e data de aquisição pode não dar resultados favoráveis, foi realizada uma reamostragem de alguns dos dados obtidos com o espectroradiômetro, utilizando a abrangência espectral e o posicionamento

das bandas dos sensores GeoEye-1 e HRG-1/SPOT 5. Foram selecionados nos dados medidos no espectrorradiômetro os valores de reflectância localizados no intervalo espectral das bandas dos sensores multiespectrais, para posteriormente calcular a média para obtenção de um único valor de reflectância representativo da resposta espectral de cada banda dos sensores multiespectrais, e obter uma comparação espectral dos materiais que serão identificados na pesquisa.

3.4.1 Mapeador de Ângulo Espectral (SAM)

É uma técnica baseada em "*pixel*" utilizada na classificação de imagens multi e hiperespectrais. *SAM* é uma ferramenta que permite um mapeamento rápido de semelhança espectral do espectro da imagem com o espectro de referência que pode ser de campo; de laboratório ou de uma biblioteca de referência.

A técnica *SAM* é relativamente insensível à variações na iluminação sobre o material do alvo porque o ângulo entre dois vetores é invariante em relação aos comprimentos dos vetores. Por isso a técnica pode ser útil na classificação do espaço urbano, já que é menos sensível aos efeitos bidirecionais o de iluminação, como é o caso de sombras resultantes de inclinações das superfícies em relação ao ângulo de incidência solar, que é uma característica comum nos ambientes urbanos.

Nesse processo foram selecionadas entre 10 e 15 espectros de referência para cada um dos materiais escolhidos a partir das próprias imagens, se obteve a média, sendo a curva resultante aquela considerada como curva de referência de cada material. A partir delas, as demais curvas foram classificadas em função de suas características espectrais. Isso evidencia a importância da técnica *SAM*, já que a partir dela tem-se uma medida quantitativa da similaridade entre dados.

O mapeamento de ângulo espectral *SAM* foi realizado no Programa *ENVI*, com a utilização de todas as bandas das imagens GeoEye-1 e SPOT 5 e, assim como com a inclusão dos espectros de referência de interesse em um único processamento, pelo qual serão obtidas as imagens ângulo (*rule imagens*) para as análises. Foram testados vários valores de ângulo em radianos para cada amostra. Para avaliação, as imagens ângulo foram fatiadas em cores utilizando a ferramenta *density slice*. Neste caso, a definição da classe estimada pelo *SAM* para cada *pixel*

da amostra foi realizada com base no critério do menor valor angular *SAM* obtido dentre as imagens dos espectros de referência.

Para avaliação dos resultados da classificação, realizou-se primeiramente uma análise visual do resultado comparando-o com as imagens. Como a alta resolução da imagem GeoEye-1, permitiu o reconhecimento de grande parte dos objetos de interesse, a percepção visual foi utilizada para uma interpretação dos resultados de forma qualitativa. Após a interpretação visual coletaram-se novas amostras para cada classe e obteve-se a matriz de confusão com o cálculo do coeficiente de concordância Kappa para avaliar os erros do resultado final da classificação em relação aos dados de referência, que neste caso foram amostras de teste da própria imagem. Este processo foi realizado na ferramenta de *post classification* no programa ENVI 4.7.

3.4.2 Reamostragem de bandas espectrais

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 (ENNES e GALO, 2010).

Neste caso a reamostragem das medições obtidas com o espectrorradiômetro foi realizada utilizando as funções de resposta espectral (FRE's) dos sensores GeoEye-1 e HRG-1/SPOT 5 com a ferramenta de reamostragem espectral (*spectral resampling*) do *software* ENVI 4.7, e a largura a meia altura (FWHM) simulando a largura das bandas.

A rotina de reamostragem de ENVI utiliza um modelo gaussiano (assume que os dados terão uma distribuição normal) com um FWHM igual ao espaçamento banda especificada para reamostrar os dados. Esta amostragem inicial dos dados é efetuada para auxiliar o cálculo da matriz de coeficientes de correlação entre as bandas espectrais de entrada (ADJORLOLO et al., 2013).

Para verificar de forma quantitativa as semelhanças e diferenças entre as curvas espectrais foi realizada uma análise de correlação entre os valores de

reflectância correspondentes as medições espectralradiométricas e as obtidas a partir das imagens de alguns alvos urbanos, além de um teste de hipóteses com nível de significância $\alpha = 0,05$ sobre os coeficientes de correlação obtidos por alvo, para conhecer se associação ou correlação entre as variáveis eram significativas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Pré-processamento e correção radiométrica das imagens GeoEye-1 e HRG-1/SPOT 5.

Para extração de informação das imagens foi indispensável corrigir os efeitos atmosféricos presentes nas imagens. Isto foi realizado no *software* ENVI 4.7, aplicando as fórmulas 4 e 5 da seção 3.2.1.1 da metodologia, para a conversão de imagens com ND para radiância e reflectância aparente respectivamente, utilizando os parâmetros fornecidos pelos fabricantes dos sensores. Para gerar a imagem de reflectância de superfície foi utilizado o método *DOS*, a partir do qual foram extraídos os espectros de referência e foi aplicada a técnica *SAM*.

A comprovação dos resultados da correção radiométrica das imagens foi realizada de forma qualitativa, comparando visualmente a curva espectral de um pixel associado a elementos de resposta espectral conhecida tais como água, vegetação, solo exposto (Figura 4.1), com curvas espectrais destes mesmos alvos visualizadas na literatura.

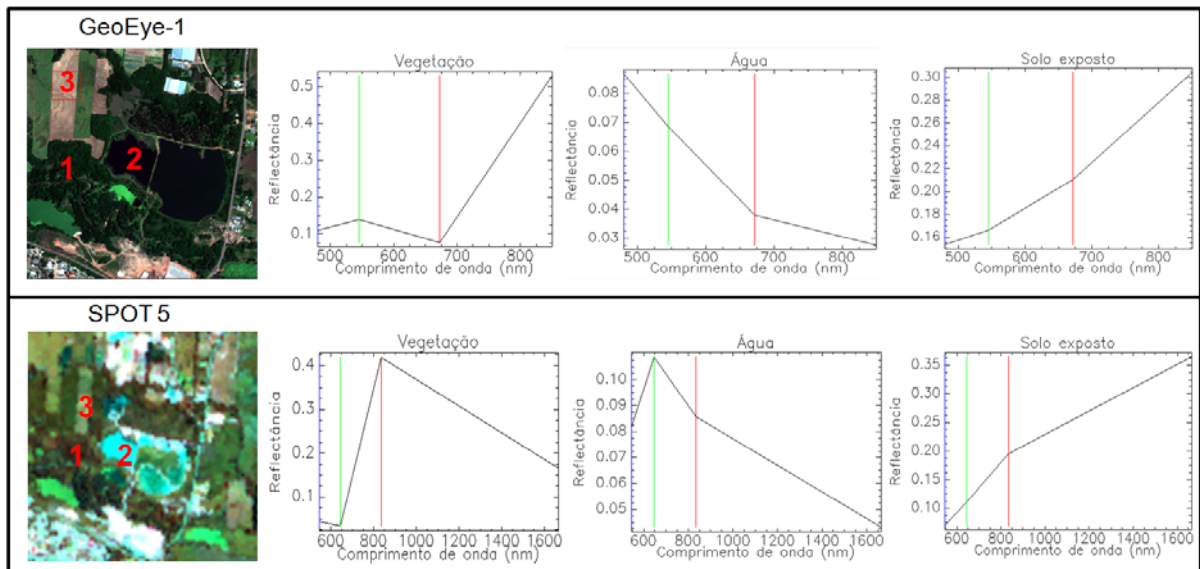


Figura 4.1. Respostas espectrais de vegetação, água e solo exposto nas imagens de reflectância GeoEye-1 (RGB 3-2-1) e SPOT 5 (RGB 4-1-2). Fonte: Elaboração própria.

4.1.1 Correção geométrica

Logo da ortorretificação automática da imagem GeoEye-1, no processo de ajuste com a imagem SPOT 5 com o módulo *AutoSync* do software *ERDAS Imagine* 9.1 foram realizados vários processamentos, ajustando as linhas de corte para o erro, até que foi fixado em 1 pixel, o que gerou 160 pontos de controle (*tie points*) com *RMSE* 0,426 pixels. O número de pontos de controle que atendem a um *RMSE* menor que 1 (no caso o modelo foi resolvido com um erro 0.426 pixel), gerou um bom resultado, já que corresponde a aproximadamente a metade da resolução espacial da imagem SPOT 5 que estava sendo ajustada. Assim se obteve um produto que satisfaz o que se requia para o desenvolvimento da pesquisa. A Figura 4.2 mostra a comparação de correspondência espacial entre as imagens geometricamente corrigidas.

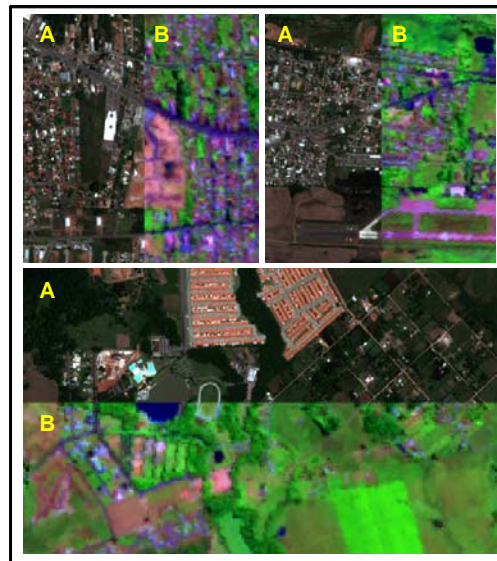


Figura 4.2. Comparação de correspondência espacial entre as imagens [A] *GeoEye-1* (RGB 3-2-1) e [B] *SPOT 5* (RGB 4-1-2) e sendo esta última a que possui melhor definição dos objetos, já ortoretificadas e ajustadas. Fonte: Elaboração própria.

Para verificar a acurácia das imagens, estas foram comparadas qualitativamente, de forma visual. Observa-se na Figura 4.3, uma alta correspondência espacial entre as imagens *GeoEye-1* e *SPOT 5* e com os

shapefiles das bases digitais de bairros e quadras fornecidos pelo Instituto de Planejamento do Município de Santa Maria (IPLAN).



Figura 4.3. Correspondência espacial entre a imagem *GeoEye-1* (esquerda) e imagem *SPOT 5* (direita) com a base digital de ruas municipais. Fonte: Elaboração própria.

Desta forma, foram obtidas imagens geometricamente corrigidas, que devem ter o mesmo posicionamento, para ser possível a delimitação e extração da área teste. Neste sentido não foi preciso uma precisão geométrica muito alta, visto que apenas comparou-se as imagens, pois pretendeu-se apenas comparar os resultados das classificações que foram aplicadas na discriminação de materiais urbanos.

4.2 Descrição dos materiais urbanos encontrados.

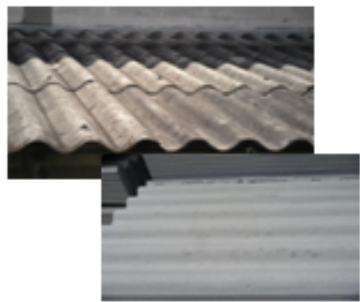
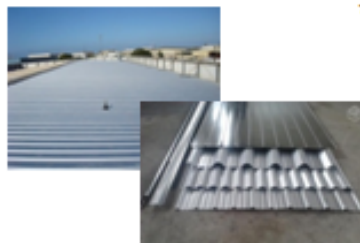
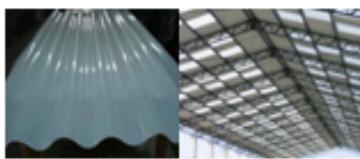
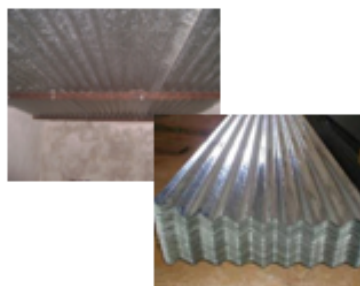

São numerosos os materiais que compõem a cena urbana, com variadas composições mineralógicas, formas, tamanhos, localização nas estruturas. Entretanto apenas alguns foram considerados neste estudo, tanto para identificação nas imagens como para as medições com o espectrorradiômetro em campo.

As telhas cerâmicas e fibrocimentos são muito utilizadas no Brasil em residências, construções públicas e privadas (LOGSDON, 2002). No trabalho de

campo, obteve-se dados sobre diversas telhas que podem ser encontradas nas construções, tais como cerâmica, fibrocimento (com ou sem amianto), metálicas (aço galvanizado, alumínio, zinco) *shingle*, ardósia. As telhas metálicas são quase restritas a galpões e indústrias. As telhas de zinco foram encontradas em galpões, obras rústicas, depósitos e abrigo para animais. As telhas de concreto, *shingle* e ardósia foram identificadas, mas não são comuns. Também foram identificados materiais comuns utilizados na pavimentação de estradas tais como asfalto, concreto, paralelepípedos (de basalto e granito), assim como outros associados a adequação das áreas para práticas de esporte e lazer como brita nas pistas de caminhada, grama sintética em uma quadra de futebol e quadras de tênis cobertas com saibro. A seguir, na Figura 4.4 são apresentadas algumas características dos materiais encontrados, que puderam ser identificados nas imagens e sobre os quais foi possível fazer medições com o espectrorradiômetro.



Figura 4.4. Descrição dos materiais urbanos encontrados na área de estudo, que puderam ser identificados nas imagens e foram realizadas medições espectrorradiométricas. Contínua...

	<p>Telhas de Amianto: são geralmente utilizadas em construções mais simples e a opção mais econômica. Podem ser utilizadas com diferentes graus de inclinação, são leves mas podem quebrar facilmente. Algumas empresas fabricam as chamadas telhas de fibrocimento sem amianto, no entanto, são similares em aparência.</p>
	<p>* Telha de Aço: Costumam ser as escolhidas quando a intenção é cobrir grandes vãos, como por exemplo um galpão, já que apenas uma telha chega a ter quatro metros de comprimento. Em muitos casos, não possibilitam conforto térmico. As telhas de galvanizado são mais resistente a corrosão.</p>
	<p>* Telhas Translúcidas de Polipropileno: São fabricadas a partir da composição de resinas termoplásticas especiais, ideais para instalações em telhados, coberturas e fachadas. Elas permitem, em média, a passagem de 70% da iluminação natural.</p>
	<p>Telhas de Zinco: uma das opções mais comuns, são leves e alta durabilidade, não acumula umidade e evita a produção de goteiras. Em contrapartida essas telhas produzem barulho e superaquecerem o interior dos ambientes onde são instaladas. Sua estética pode ser modificada com a aplicação de tintas coloridas.</p>
	<p>Telha Shingle: têm como base uma manta asfáltica composta por elementos descontínuos que possui na composição camadas a base de asfalto, fibra de vidro e acabamento superficial em grânulos ceramizados, lâmina de cobre ou titânio-zinco. São leves e duráveis.</p>

Continuação...Figura 4.4. Descrição dos materiais urbanos encontrados na área de estudo, que puderam ser identificados nas imagens e foram realizadas medições espectrorradiométricas.

	<p>Telha ardosa: rocha metamórfica de grão fino e homogêneo composta por minerais filitosos, argila ou cinzas vulcânicas. É impemeável, exige menor manutenção e possuem menor formação de fungos, durabilidade, beleza, qualidade e resistência notáveis.</p>
	<p>Paralelepípedo: durável, eficiente e barato, são utilizadas rochas tais como granito, basalto, gneéis ou originados de outros tipos de rocha de resistência equivalente. Para a base dos paralelepípedos é utilizada areia ou pó de pedra, o rejuntamento dos paralelepípedos é preenchido com brita. É comum que depois de algum tempo apareçam fungos e gramíneas inseridas entre as juntas.</p>
	<p>Calçada de concreto: Possui superfície regular, firme, contínua, segundo a especificação técnica e finalidade, é destinada a tráfego de pedestres, entrada de carros o tráfego de veículos pesados.</p>
	<p>Blocos de concreto premoldados: são peças modulares com diversas formas, cores e texturas que são intertravada . A instalação de uma calçada de concreto é sobre uma base de Brita e camada de areia fina. Destinadas para circulação de pedestres e de acesso para veículos</p>
	<p>Asfalto: é um betume espesso, resíduo da destilação a vácuo do petróleo bruto, constituído de hidrocarbonetos, além de substâncias minerais. É misturado com agregados como brita para obter a pavimentação asfáltica. Pode chegar a derreter e até enrugar, nos pontos onde o transito é pesado e intenso, o que mostra a deterioração do pavimento.</p>

Continuação...Figura 4.4. Descrição dos materiais urbanos encontrados na área de estudo, que puderam ser identificados nas imagens e foram realizadas medições espectrorradiométricas.



Conclusão...Figura 4.4. Descrição dos materiais urbanos encontrados na área de estudo, que puderam ser identificados nas imagens e foram realizadas medições espectrorradiométricas.

Nota: com os materiais (*) não foram realizadas medições com o espectrorradiômetro.

4.3 Biblioteca espectral de campo

A biblioteca de campo foi constituída principalmente de alvos artificiais e grama natural. A biblioteca espectral foi elaborada considerando a quantidade de alvos urbanos mais variados possível da área de estudo. A análise das curvas espectrais obtidas a partir das medições espectrorradiométricas em campo buscou identificar as condições específicas dos alvos ao momento das medições e as feições de interesse na discriminação dos alvos urbanos, visando o reconhecimento de variações de reflectância assim como de feições de absorção com base nas informações da literatura.

Estes dados foram utilizados para verificação e avaliação comparativa através de reamostragem espectral, entre os espectros de campo e os espectros obtidos a partir das imagens GeoEye-1 e SPOT 5. A tabela 4.1 mostra a descrição das características dos materiais medidos em campo.

Tabela 4.1. Características da superfície dos materiais estudados.

Tipo de material	Cor	Estrutura	Tempo de uso	Estado da superfície
Telha de amianto usado	cinza	amianto	indefinido	resíduos orgânicos
Telha de amianto novo	cinza claro	amianto	nova	limpo
Telha de cerâmica usada	avermelhada	argila	± 3 anos	com alguns resíduos orgânicos
Telha de cerâmica nova	avermelhada	argila	nova	limpo
Telha de concreto	marrom claro	areia+cimento+brita	± 3 anos	poeira fina
Telha de concreto	amarelo, caqui, cinza claro, médio e escuro, laranja, roxo e vermelho	areia+cimento+pigmento	nova	limpo
Telha fibra de vidro	translúcido	fibra de vidro	novo	limpo
Telha de plástico	azul escuro	polipropileno	indefinido	poeira fina
Telha <i>shingle</i>	cinza escuro	base asfáltica+fibra de vidro+grânulos ceramizados	± 3 anos	poeira fina
Telha de zinco ondulação pequena	cinza metálica	zinco	indefinido	poeira fina
Telha de zinco ondulação media	cinza metálica	zinco	indefinido	poeira fina
Telha de cerâmica vitrificada	avermelhada	argila	nova	limpo
Telha de cerâmica vitrificada	azul claro e escuro, cinza claro e escuro, marrom claro e escuro,	argila + camada vítrea+coloração	nova	limpo

	verde			
Asfalto 1, 2	preto	brita+betume	indefinido	poeira fina
Calçada de Paralelepípedo 1, 2, 3, 4	preto	Basalto	indefinido	poeira fina e gramíneas nas juntas
Calçada de Paralelepípedo 1, 2	rosa	granito	± 2 anos	poeira fina e gramíneas nas juntas
Estrada de terra	avermelhada - alaranjada	solo+cascalho	indefinido	poeira e material britado
Calçada de Concreto	cinza claro	areia+cimento+brita	± 3 anos	poeira fina
Blocos de concreto hexagonal	cinza claro	areia+cimento+brita	indefinido	poeira fina
Blocos de concreto retangular	cinza claro	areia+cimento+brita	indefinido	poeira fina
Asfalto	preto	brita+betume	indefinido	poeira fina
Brita 1, 2, 3	cinza	mistura de rochas (granito, basalto, gnaisse)	indefinido	poeira fina
Brita calcária	branca	rochas calcárias	indefinido	poeira fina
Quadra de saibro (argila)	alaranjada	areia+rocha+argila	indefinido	pó de telha
Grama sintética	verde	poliéster+polipropileno+compósitos de borracha	indefinido	poeira fina
Grama natural	verde	gramíneas	indefinido	poeira fina

Os espectros de referência dos alvos urbanos obtidos a partir das amostras de campo foram agrupados em três grandes blocos: telhados, pavimentos e outros materiais. A partir de uma análise qualitativa de todas as curvas coletadas verificou-se que é possível distinguir várias classes de cobertura entre estes materiais. A seguir (Figura 4.5) são apresentados os grupos de espectros.

Conforme pode ser observado na Figura 4.5, no caso das curvas das telhas de cerâmicas, estas exibem baixa reflectância no azul, com uma variação da reflectância no verde a partir dos 550 nm, aumentando a reflectância no vermelho até o infravermelho onde as telhas mostram variações nas curvas de reflectância. A telha nova reflete mais do que a telha usada, que é um resultado esperado já que a telha nova é mais brilhante e ainda não se encontra contaminada pela acumulação de poeira, umidade e matéria orgânica, elementos que reduzem a reflectância da telha.

A telha de cerâmica natural vitrificada possui uma reflectância média entre a telha usada e a nova, embora a amostra corresponda a uma telha nova. Possivelmente, a camada vítrea afeta a refletividade da mesma. Tem destaque as relativas semelhanças da curva da telha de cerâmica usada com a curva da telha de concreto, possivelmente pela pigmentação avermelhada e com a curva do solo

exposto, pois a composição deste tipo de cobertura assemelha-se muito a composição de solos argilosos.

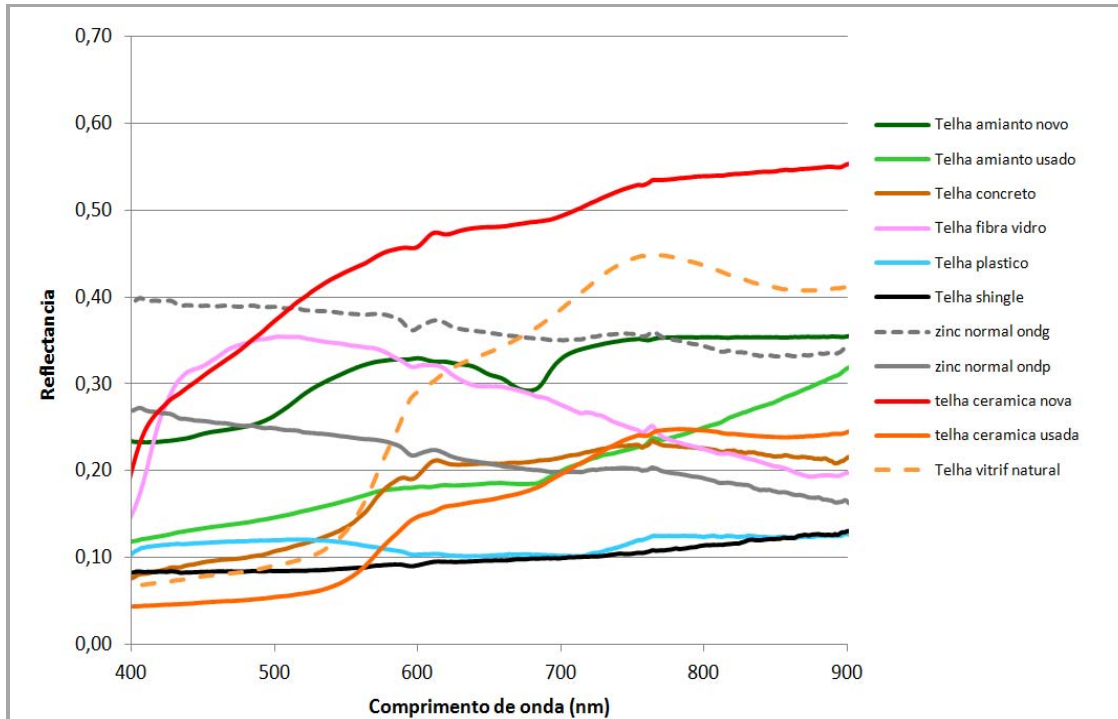


Figura 4.5. Espectros de materiais associados a telhados.

As telhas de amianto apresentaram comportamentos semelhantes entre si com relação às condições diferentes de superfície, sendo que as telhas novas refletem mais do que as usadas. Na faixa do vermelho as telhas novas mostram uma queda de reflectância e posterior aumento no infravermelho, enquanto as telhas velhas aumentam a reflectância conforme aumenta o comprimento de onda na faixa do *VIS* e *NIR* (Figura 4.5).

As telhas de zinco apresentaram comportamentos semelhantes entre si com relação à refletividade, a qual diminui conforme aumenta o comprimento de onda a partir dos 590 nm, (no verde), até outra feição de absorção no *NIR* a partir dos 760nm (Figura 4.5). Destaca-se a variação de refletividade pela diferença de ondulação da telha. As telhas com ondas maiores refletem mais do que as telhas com ondas pequenas.

As telhas de plástico e *shingle* tem um padrão similar de baixa reflectância, talvez associada à pigmentação presente nas amostras e a presença de asfalto no caso da telha *shingle* (Figura 4.5).

A telha de fibra de vidro apresenta um comportamento espectral diferente em relação às outras telhas, possivelmente pelo material, a condição de novo e sua alta refletividade nos menores comprimentos de onda.

No caso das telhas vitrificadas de várias cores (Figura 4.6), as medições foram realizadas sobre amostras de telhado novo. O comportamento espectral segundo a cor mostra claras diferenças entre elas e, em alguns casos, semelhanças com outros alvos já descritos. Por exemplo, a curva espectral da telha verde é similar à curva de vegetação, porém a variação da reflectância como feição de absorção encontra-se no verde aos 536 nm e começa a aumentar no vermelho a partir dos 600 nm. As curvas espectrais da telha natural e a telha marrom claro são semelhantes às da estrada de terra, devido ao conteúdo de óxidos de ferro presentes nas argilas que constituem estes alvos.

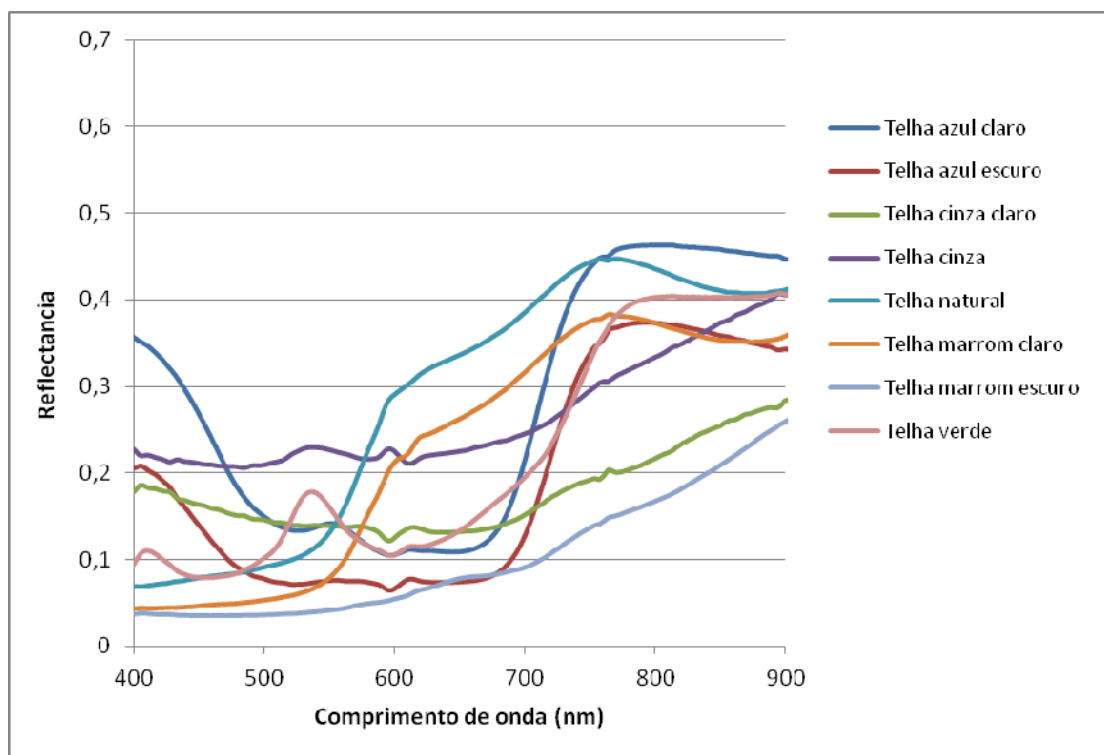


Figura 4.6. Espectros de materiais associados a telhados de cerâmica vitrificados.

As telhas azuis, cinza e marrom escuro possuem um padrão de mudança de reflectância entre o verde e vermelho, a partir dos 590 nm, que pode ter relação com os pigmentos corantes utilizados no processo de vitrificação. Dornelles e Roriz (2008) apresentam algumas informações sobre o comportamento espectral de tintas látex acrílica e látex *PVA* de uso frequente em interiores e exteriores de edifícios no Brasil onde as tintas vermelhas, verdes e azuis apresentam uma resposta semelhante às cores das telhas medidas. Os trabalhos de Oliveira (2006) e Da Silva (2007) indicam que no processo de esmaltação de peças cerâmicas são utilizados pigmentos cerâmicos tais como os corantes inorgânicos, capazes de desenvolver a cor e estabilizá-la em altas temperaturas. Possivelmente, os compostos químicos associados à produção de cada cor proporcionem informação sobre a resposta espectral destas telhas coloridas.

No trabalho de campo observou-se que os telhados de cerâmica são de tipo natural ou vitrificada sem coloração, mas foram encontradas algumas casas com telhados vitrificados das cores mencionadas. Nas imagens utilizadas não foi possível identificar telhados de cores diferentes aos naturais por causa do tamanho das construções e a resolução espacial das imagens, porém não foram consideradas no processo de classificação das imagens.

No caso das telhas de concreto de várias cores (Figura 4.7) as medições também foram realizadas sobre amostras de telhado novo. O comportamento espectral segundo a cor mostra claras diferenças entre elas e algumas semelhanças com outros alvos já descritos. Nas telhas cor cinza a resposta é semelhante às medições das calçadas de concreto por causa da mesma composição e cor.

Estas telhas coloridas são opacas, porém a reflectância é apenas menor do que o caso das telhas vitrificadas. As telhas de concreto de cores cinza mostram um aumento de reflectância entre o azul e verde, chegando à máxima reflectância no *NIR*. No entanto a forma das curvas espectrais segundo a cor apresenta uma resposta semelhante às telhas vitrificadas coloridas, conforme Dornelles e Roriz (2008). Além disso, na pigmentação das telhas, são utilizados os mesmos corantes inorgânicos com compostos de óxidos de ferro, associados na vitrificação das telhas de cerâmica que descrevem os trabalhos de Oliveira (2006) e Da Silva (2007). A diferença é que a pigmentação é aplicada na argamassa de produção, fabricando uma telha colorida integral.

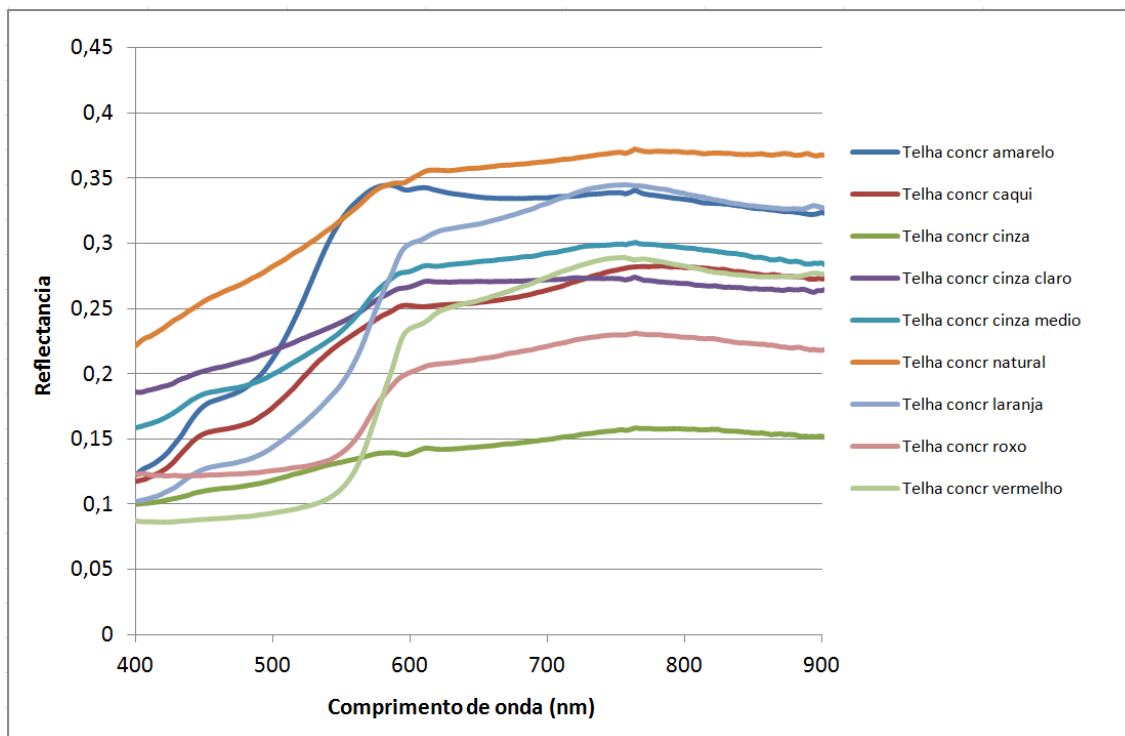


Figura 4.7. Espectros de materiais associados a telhados de concreto de cores.

Os telhados de concreto nem sempre são identificáveis. Na área de estudo, não foram encontrados com frequência e alguns destes encontravam-se com envelhecimento precoce. Na imagem de satélite a resposta espectral do telhado de concreto velho é parecida ao concreto velho, afetado por líquens e sujeira. Nas imagens utilizadas não foi possível identificar telhados de concreto colorido por causa do tamanho das construções e a resolução espacial das imagens e, por este motivo, não foram consideradas no processo de classificação das imagens.

Conforme a Figura 4.8, no caso dos tipos de pavimentos também é possível distinguir estes materiais, apresentando todos eles curvas espectrais cuja refletividade aumenta conforme aumenta o comprimento de onda. Segundo Bowker et al. (1985), este é um comportamento típico de alguns materiais encontrados em ambientes urbanos.

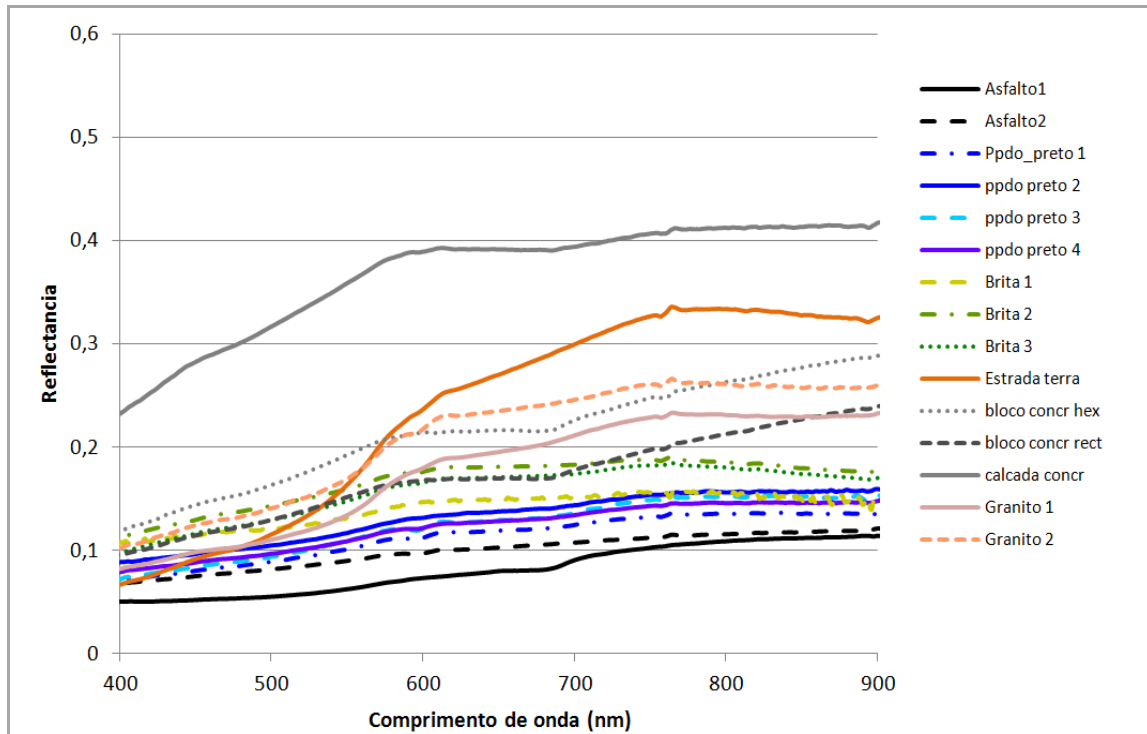


Figura 4.8. Espectros de materiais associados a pavimentos.

O asfalto possui baixa reflectância ao longo do *VIS* e *NIR* e a curva espectral é semelhante ao telhado *shingle*, que pode ser explicado pela presença de material asfáltico em ambas as superfícies. A brita associada às pistas de caminhada tem um comportamento semelhante ao paralelepípedo preto com relação à baixa reflectância, isto pode ter relação com a natureza das rochas. O paralelepípedo preto pode ser produzido a partir de rochas de basalto e a brita é uma mistura de várias rochas britadas que podem ser basalto, granito ou gnaisse.

Os paralelepípedos de granito possuem uma coloração rosa que pode ser explicada pela presença de feldspato potássico. Isto pode explicar que mostrem uma reflectância maior do que o asfalto, a brita e calçamentos de paralelepípedos pretos.

Os granitos, a estrada de terra, a calçada de concreto e os blocos de concreto, mostram baixa reflectância no azul e uma variação de reflectância ocorre no verde, a partir dos 575nm, aspecto que pode estar relacionado com a presença de óxidos de ferro na superfície destes alvos.

A calçada de concreto apresenta uma curva de reflectância mais alta do que os outros alvos, isto pode ser explicado por ser uma superfície contínua e de

construção relativamente recente, se comparada com os blocos de concreto, mas neste caso parece ter relação com o fato de serem blocos de diferentes formas que se encontram intertravados, sendo uma característica geométrica do alvo que causa a variação da reflectância.

Conforme a Figura 4.9, outros espectros associados a outros alvos também foram identificados. A quadra de tênis cujo material de construção tem argila, possui um comportamento semelhante às telhas e solo exposto, baixa reflectância no azul e aumento no verde, aos 550nm, aumentando a reflectância no vermelho até o *NIR*, aspecto este que indica a presença de um mineral comum entre estes alvos, o qual pode ser o óxido de ferro.

A brita calcária apresenta uma maior reflectância conforme aumenta o comprimento de onda na faixa visível até mostrar variação de reflectância no *NIR*, o que pode ter relação com o tom claro do material. Segundo Quaresma (2009) a fonte da brita calcária pode ser calcita ou dolomita.

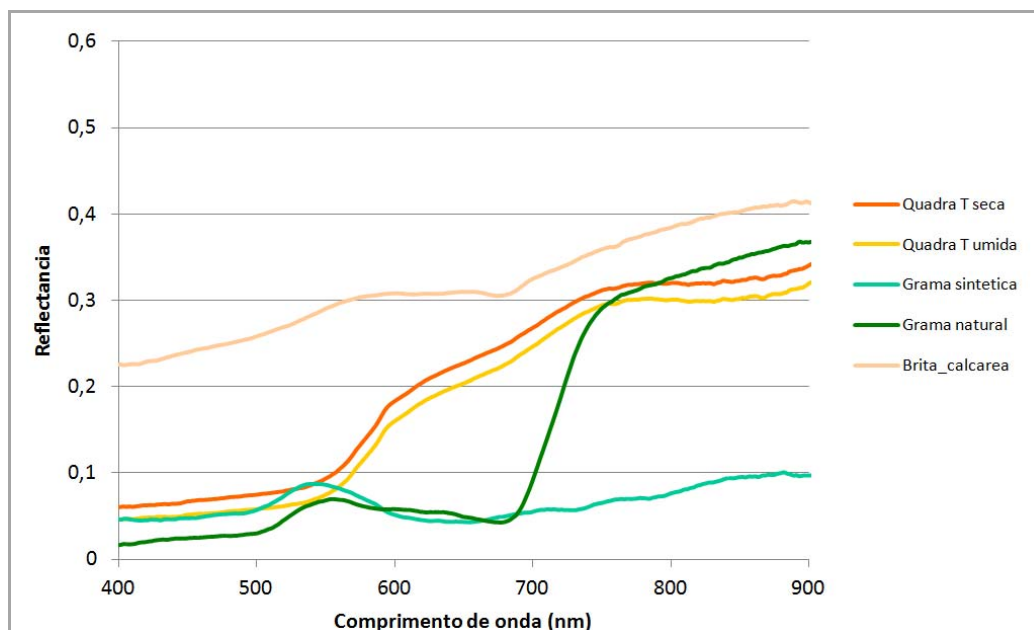


Figura 4.9. Espectros de materiais associados a outros alvos urbanos.

Entre a grama natural e grama sintética é interessante observar a diferença existente, embora na faixa do espectro visível possuam a mesma cor e semelhante

comportamento espectral. As diferenças entre elas começam no verde a partir dos 590 nm e se distanciam no vermelho a partir dos 690nm, onde a grama natural mostra o comportamento esperado para uma cobertura vegetal que é a maior reflectância no infravermelho próximo. No entanto a grama sintética se comporta como um alvo que absorve energia nessa região do espectro.

4.4 Descrição dos espectros urbanos

As técnicas utilizadas neste trabalho tais como filtro de médias móveis (para eliminar os ruídos presentes nas medições), análise derivativa (para mostrar os picos de reflectância) e remoção do contínuo (para isolar e ressaltar feições de absorção) ajudaram na discriminação dos alvos urbanos que foram estudados.

A análise derivativa permitiu identificar os comprimentos de onda que apresentaram maior variação da reflectância. As inflexões onde o valor da derivada se acentua positivamente, correspondem ao aumento da reflectância de acordo ao comprimento de onda. Quando o valor da derivada alcança valores negativos é ressaltado o comprimento de onda que o valor de reflectância decai.

A técnica remoção do contínuo isola características espectrais e as coloca em condições de igualdade, para que possam ser comparadas e diferenciadas caso sejam similares, a fim de identificar mudanças sutis, formas e outras características que aparecem sobrepostas, sendo útil na identificação de diferenças significativas entre os espectros dos minerais. Desta forma, aplicada sobre os espectros medidos, a remoção do contínuo permitiu a normalização dos espectros em relação a uma referência comum.

A análise dos espectros obtidos realizou-se comparando os resultados obtidos das medições, com trabalhos feitos sobre o tema e a biblioteca espectral da USGS e ASTER-JPL, para tentar identificar quais os minerais causavam a resposta nos alvos considerados na pesquisa.

As medições apresentam um ruído próximo na banda 760 nm que, segundo Brown et al. (2000) e Ben-Dor et al. (2001), corresponde à banda de absorção de oxigênio. Murcay (2011) diz que a absorção contínua muito forte nesta região deve-se por uma combinação do espalhamento *Rayleigh* e os efeitos do aerossol.

Para a análise dos espectros medidos em campo, estes foram agrupados segundo algumas semelhanças observadas na forma entre as curvas de reflectância que caracterizam cada alvo objeto desta pesquisa. Isto para mostrar e descrever feições que aparecem da mesma forma em alguns alvos.

Como as medições foram realizadas com um espectrorradiômetro cuja faixa espectral cobre o *VIS – NIR* (325 – 1075 nm), alguns dos alvos objeto desta pesquisa não mostram algumas feições de reflectância ou absorção características e que só aparecem ao longo do *NIR* e *SWIR*, mas puderam-se obter respostas espectrais na região do *VIS - NIR* que permitem um reconhecimento e diferenciação razoável.

4.4.1 Primeiro grupo: estradas de terra, telhas de cerâmica, quadras de saibro e granito.

O primeiro grupo é composto pelas estradas de terra, telhas de cerâmica, quadras de saibro e granito (Figura 4.10). Estes alvos mostram baixa reflectância no azul, com exceção da telha de cerâmica nova cujo albedo aumenta consideravelmente desde os 400 nm. Entre os 500 e 600 nm o padrão apresentado é aumento de reflectância conforme aumenta o comprimento de onda.

Para conhecer as mudanças com relação ao aumento da reflectância, a análise derivativa (Figura 4.11 B) mostra que a telha de cerâmica nova apresenta variações de reflectância nos 400 e 601 nm. As outras telhas de cerâmica mostram um comportamento semelhante, as telhas de cerâmica usada e a telha vitrificada da cor natural apresentam variações de reflectância nos 564 e 724 nm e nos 589 e 723 nm respectivamente.

Estas bandas são as feições de mudanças na forma da curva espectral associada com cada alvo já mencionado. A menor reflectância da telha usada com relação às outras telhas novas pode estar relacionada com o fato de uso e envelhecimento da telha, presença de algas e poeira na superfície da telha. As bandas reconhecidas neste estudo aproximam-se com os resultados obtidos nos trabalhos de Ben-Dor et al. (2001), Segl et al. (2003), Sousa e Kux (2005), Espinoza (2006), Heiden et al. (2007), Moreira (2008), Stein et al. (2009), Pinho et al. (2011).

A estrada de terra (Figura 4.11 A) mostra variações de reflectância nas bandas 564 e 761 nm, valores próximos aos descritos no trabalho de Bolívar et al. (2013). A remoção

do contínuo (Figura 4.12) mostra a profundidade da feição de absorção com o valor 0,282 na banda 484 nm, que pode ser explicada pela presença de óxidos de ferro de acordo com Demattê et al. (1999), Madeira (2001), Meneses e Ferreira (2001), Robert e Herold (2004), e no caso descrito da goethita segundo a biblioteca espectral do USGS. Embora EMBRAPA (1999) e SEMA-RS/UFSM (2001) afirmem que os solos da região têm baixo teor de óxidos de ferro, a camada de rolamento destas estradas geralmente é uma mistura dos solos presentes na área com agregados como areia e brita compactada que podem conter óxidos de ferro.

As quadras de saibro encontradas em estado seco e úmido mostraram as maiores variações de reflectância nas bandas 569 e 587 nm (Gráfico 4.11-A), sendo os valores próximos aos encontrado em objetos com conteúdo de argila, conforme descrição de Hunt et al. (1971), Demattê et al. (1999), Ben-Dor et al. (2001), Madeira (2001), Meneses e Ferreira (2001), Segl et al. (2003), Robert e Herold (2004), Heiden et al. (2007), Brook e Ben-Dor (2011).

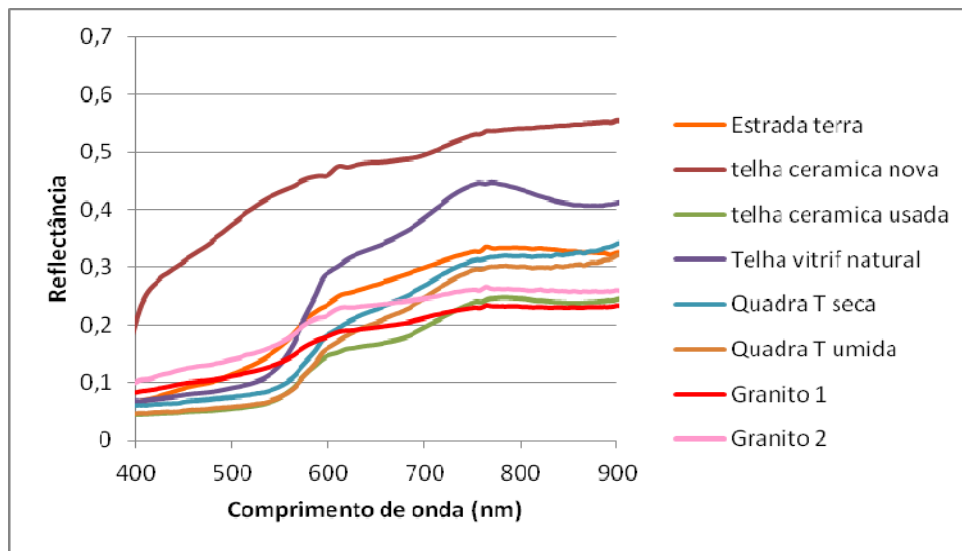


Figura 4.10. Curvas de reflectância dos alvos estradas de terra, telhas de cerâmica, quadra de tênis com saibro e granito.

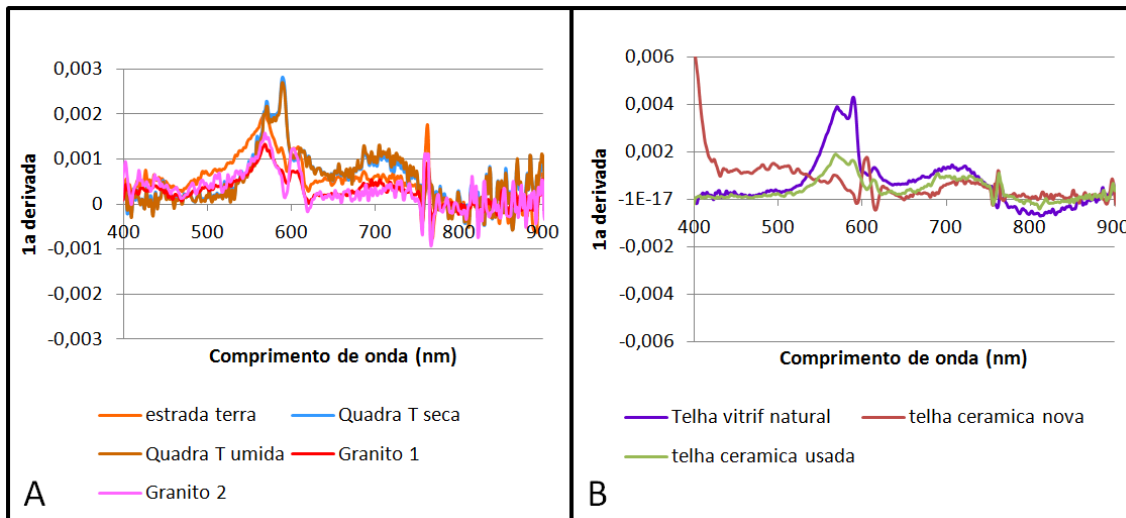


Figura 4.11. 1ª derivada dos alvos: (A) estradas de terra, quadra de Tênis com saibro e granito. (B) telhas de cerâmica.

As feições de absorção isoladas podem ser observadas na Figura 4.12, sendo que as maiores profundidades de banda foram: de 0,563 no caso da banda 528 nm da quadra de tênis de saibro úmida; 0,537 no caso da banda 519 nm da telha de cerâmica velha; 0,536 no caso da banda 515 nm da telha de cerâmica vitrificada da cor natural; 0,495310 no caso da banda 528 nm da quadra de tênis de saibro seca, mostrando que um dos compostos principais que caracteriza estes alvos é a presença de óxidos de ferro na base de argila. Destaca-se uma maior absorção da quadra de saibro úmida do que a seca, o que pode ser explicado pelo conteúdo de água presente no momento da medição. A telha de cerâmica nova, que apesar de ter o mesmo material de fabricação (argilominerais), neste caso é o alvo que não mostra feições de absorção significativas, apenas 0,037 na banda localizada em 687 nm.

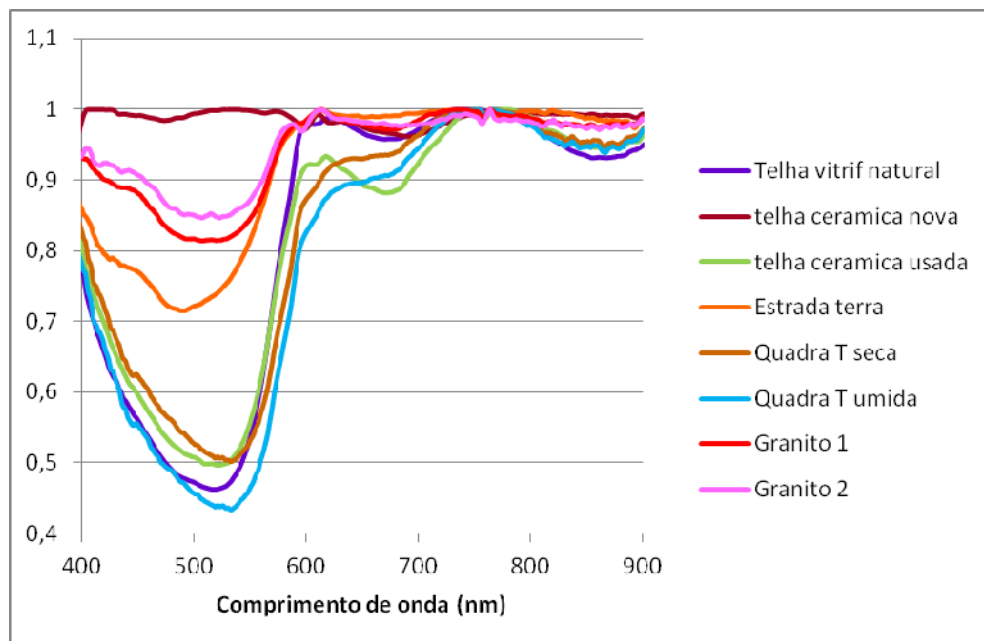


Figura 4.12. Resultado da remoção do contínuo para as telhas de cerâmica, estrada de terra, quadra de tênis de saibro e granito.

Nas amostras de granito que correspondem ao calçamento de paralelepípedo, a reflectância aumenta conforme aumenta o comprimento de onda, o que concorda com Bowker et al. (1985), porém o granito 1 tem menor reflectância do que o granito 2 que é mais recente. Neste caso, a maior influência pode ser a cor do material, o tempo de construção e uso do calçamento.

No caso do paralelepípedo de granito, de acordo com a análise da derivada do granito 1 (Figura 4.11 A) este apresenta variações de reflectância nas bandas 566 nm e 755 nm, sendo esta última influenciada provavelmente pela absorção do O_2 . O granito 2 (Figura 4.11 A) apresenta variações de reflectância nas bandas 568 nm e 758 nm. Esta variação que se produz entre a faixa dos 550 nm e 760 nm é similar a apresentada nos trabalhos de Almeida et al. (2010) e Bolivar et al. (2013). A remoção do contínuo (Figura 4.12) mostra a profundidade de banda da feição de absorção de 0,184 na banda 503 do granito 1 e 0,151 na banda 502 do granito 2.

De acordo com Mottana et al. (1977), Meneses e Ferreira (2001), Almeida e Marques (2010) e as bibliotecas espectrais da USGS e ASTER JPL, o mineral microlino dos feldspatos potássicos têm feições de absorção próximos aos 500 nm e é responsável pela cor rosa do granito. Os paralelepípedos estão assentados sobre uma base de areia

ou brita fina cujo conteúdo mineralógico tem relação com a presença de óxidos de ferro, como descrevem Demattê et al. (1999), Meneses e Ferreira (2001), Madeira (2001), Roberts e Herold (2004), porém pode ter relação com a presença da faixa de absorção nos 500 nm.

De forma geral a remoção do contínuo (Figura 4.12) mostra a ocorrência de uma faixa de absorção comum para os alvos entre os 480 e 550 nm, assim como faixas de absorção menores entre as faixas 660 - 690 nm e 850 - 890 nm que pode ser explicada pela presença de minerais como goetita, hematita e outros óxidos de ferro que mostram algumas feições de absorção no *VIS – NIR*, de acordo com Hunt et al. (1971), Clark (1999), Ben Dor et al. (2001), Segl et al. (2003), Heiden et al. (2007), Moreira (2008), Herold et al. (2008), Pinho et al. (2011), Brook e Ben-Dor (2011).

4.4.2 Segundo grupo: telhas de cerâmica vitrificadas e telhas de cimento coloridas.

O segundo grupo é composto pelas telhas de cerâmica vitrificadas e telhas de cimento, ambas com cores (Figura 4.13). No caso das telhas vitrificadas, estas possuem uma camada de cor vitrificada sobre a telha de cerâmica natural, enquanto nas telhas de concreto a adição de pigmento colorido é sobre a massa de concreto, gerando uma peça com coloração uniforme. As medições foram realizadas sobre amostras de telhas novas, porém esperava-se que estas mostrassem uma resposta próxima às características associadas aos materiais que não tenham sido afetados por sujeira, líquens e acúmulo de água.

Os pigmentos de cor artificiais são substâncias inorgânicas que desenvolvem a cor⁷ e são estáveis nas altas temperaturas nas quais são vitrificadas as telhas, cobrindo sua superfície. Segundo Ben-Dor et al. (2001) esta camada absorve e reflete radiação em certos comprimentos de onda ao longo da região espectral do visível com base nos efeitos químicos. Na realidade, a reflectância é medida apenas da parte superior correspondente a 50

⁷ Os pigmentos cerâmicos são substâncias inorgânicas, capazes de desenvolver a cor e estabilizá-la em altas temperaturas, além de resistir aos ataques químicos causados pelos vidrados devido à ação fundente de seus componentes. Em geral, os corantes são óxidos de ferro, de cobalto, de manganês, de cobre, de cádmio, de chumbo e de selênio, a combinação deles produz diferentes cores, sendo os constituintes básicos dos esmaltes cerâmicos (Oliveira, 2006).

mm. Assim, objetos pintados não podem fornecer informações sobre o material do núcleo (metal, plástico, argila).

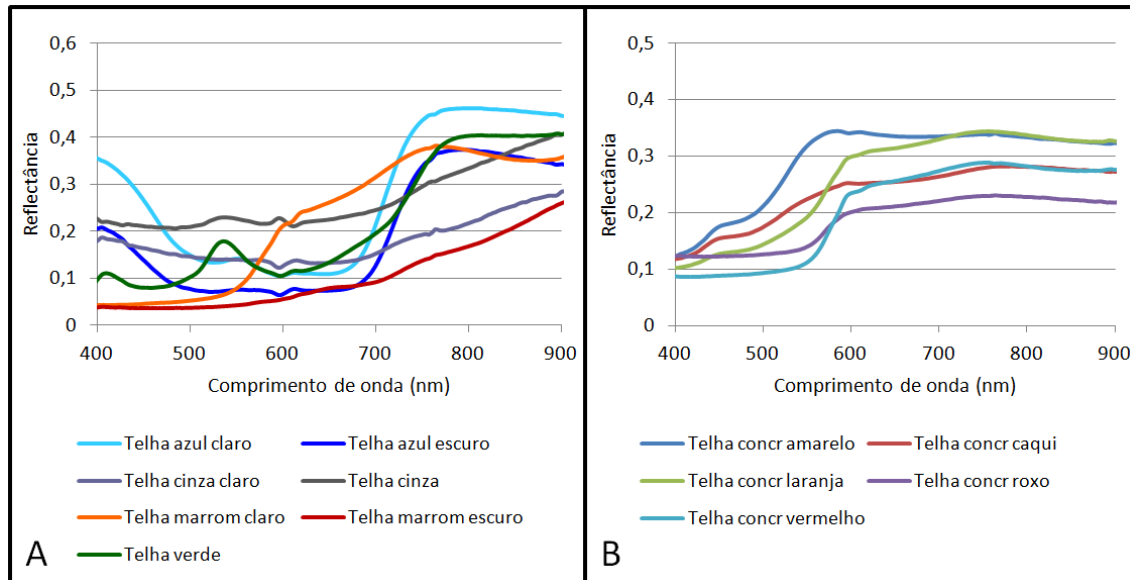


Figura 4.13. Curvas de reflectância (A) Telhas de cerâmica vitrificadas (B) Telhas de concreto. Ambos os tipos com coloração.

Neste sentido os espectros mostram o comportamento espectral da superfície das telhas semelhante aos estudos de Castro et al. (2003) e Dornellez e Roriz (2007), que explicam que as cores das tintas são uma apenas uma sensação visual e não devem ser adotadas como indicador confiável das propriedades físicas de uma superfície. Quando expostos a radiação solar, têm capacidade de refletir e absorver radiação, porém é possível comparar o comportamento espectral de diferentes superfícies frente à radiação solar, sem a necessidade de se basear apenas na percepção visual.

De acordo com as curvas espectrais do gráfico 4.13 A, as telhas pintadas de azul refletem entre 400 e 500 nm, pois provocam justamente a sensação visual da cor azul. As telhas amarelas refletem comprimentos de onda relacionados ao amarelo, próximo de 550 nm. As telhas laranja e caqui refletem comprimentos de onda relacionados ao laranja, próximo de 650 nm. As telhas vermelhas e roxo (Figura 4.13 B) e as telhas marrom claro e escuro (Figura 4.13 A) refletem

comprimentos de onda acima de 700 nm, pois provocam justamente a sensação visual de tons vermelhos, o que comprova a influência da pigmentação. Destaca-se a telha marrom escuro que mantém baixo albedo até aproximadamente os 700nm. As telhas cinza mostram baixa reflectância na região do *VIS* e aumento no *NIR*. A telha verde reflete entre 500 e 550 nm, se ajustando a sensação visual da cor verde, embora mostre alta reflectância no *NIR*. Apesar das amostras apresentarem o comportamento esperado para a região visível, suas reflectâncias na região do infravermelho-próximo não obedecem ao mesmo padrão de comportamento.

A aplicação da análise derivativa (Figura 4.14) mostra que as variações de reflectância das telhas encontram-se nas faixas do espectro *VIS* onde provocam a sensação visual da cor, além de mostrarem resposta espectral no *NIR*. No caso das telhas azuis a Figura 4.14 A mostra duas importantes feições de reflectância, as primeiras associadas a uma diminuição entre os 425 e 460 nm e a segunda um incremento notável de reflectância entre 700 e 716 nm, que seriam os limites de uma diminuição no albedo das telhas entre o verde e parte do vermelho.

A telha verde (Figura 4.14 B) mostra variações de reflectância nos 517 e 739 nm, nas faixas espectrais verde e vermelho. A forma da curva espectral original se assemelha com a resposta da vegetação. As telhas cinza (Figura 4.14 C) mantém o comportamento de aumento de reflectância conforme aumenta o comprimento de onda, mostrando variações de reflectância da telha cinza aos 589 e 754 nm, enquanto a telha cinza clara aos 599 e 761 nm .

As seguintes telhas possuem cores que refletem entre a faixa do verde e vermelho, sendo as variações de reflectância as seguintes: telha marrom claro aos 588 nm (Figura 4.14 B), telha amarela aos 522 nm e telha caqui aos 428 nm (Figura 4.14 E), telha laranja aos 566 nm, telha vermelha aos 588 nm e telha roxa aos 566 nm (Figura 4.14 F), telhas marrom escuro aos 725 nm.

De acordo com as Figuras 4.14 D e 4.15, a remoção do contínuo no caso das telhas com cores marrom claro e escuro, amarelo, caqui, laranja, roxo e vermelho, mostra a ocorrência de faixas de absorção no intervalo dos 480 e 608 nm, que é semelhante com os padrões espectrais dos telhados de cerâmica natural, estrada de terra e quadra de saibro. A presença de óxidos de ferro, neste caso, pode ter relação com os óxidos de ferro contidos nos pigmentos artificiais utilizados para coloração das telhas.

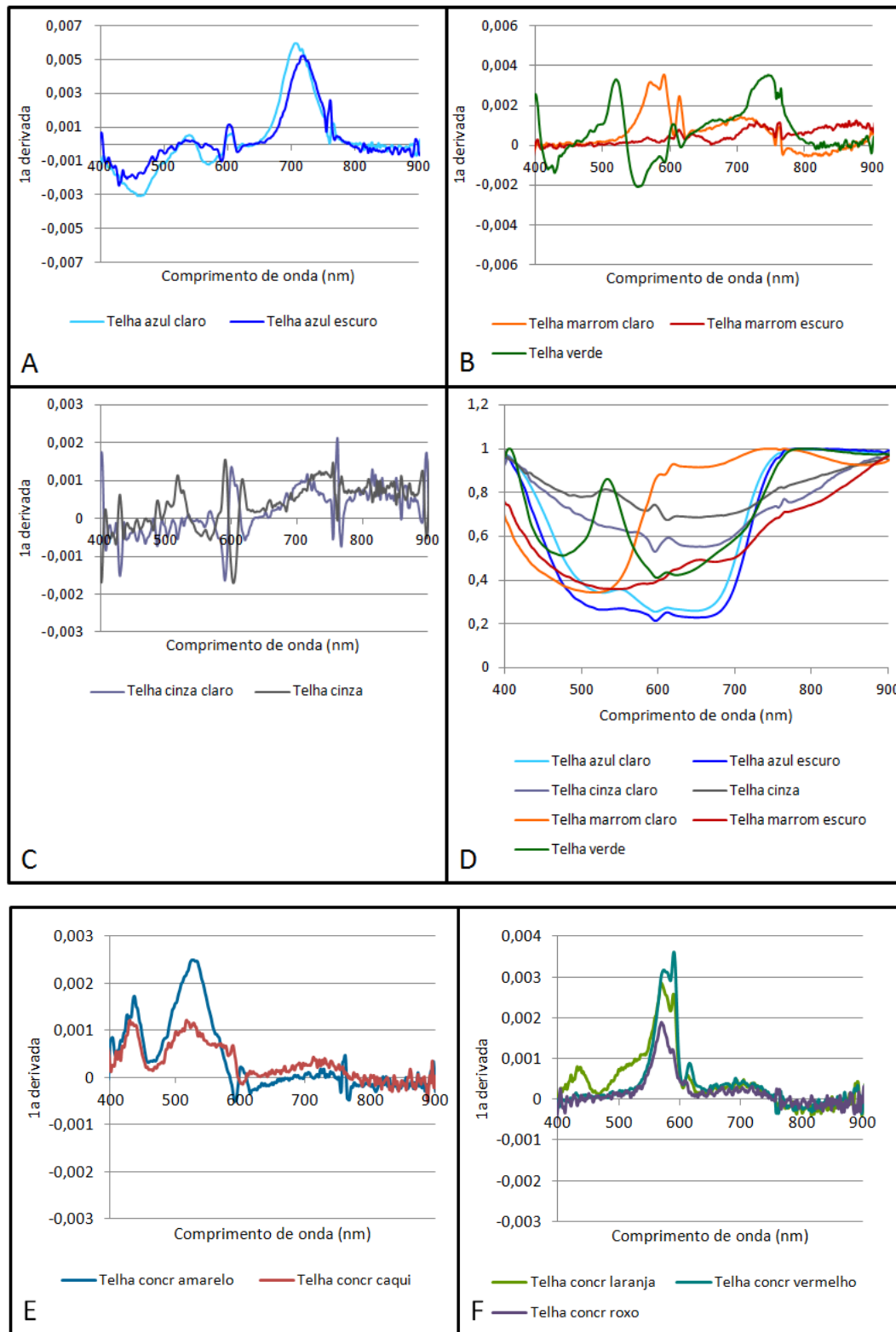


Figura 4.14. **1ª derivada das telhas vitrificadas:** (A) azul claro e escuro (B) Marrom claro e escuro, verde (C) cinza e cinza claro (D) Remoção do contínuo aplicado às telhas de cerâmica vitrificada. **1ª derivada das telhas de concreto:** (E) amarelo e caqui (F) laranja, vermelho e roxo.

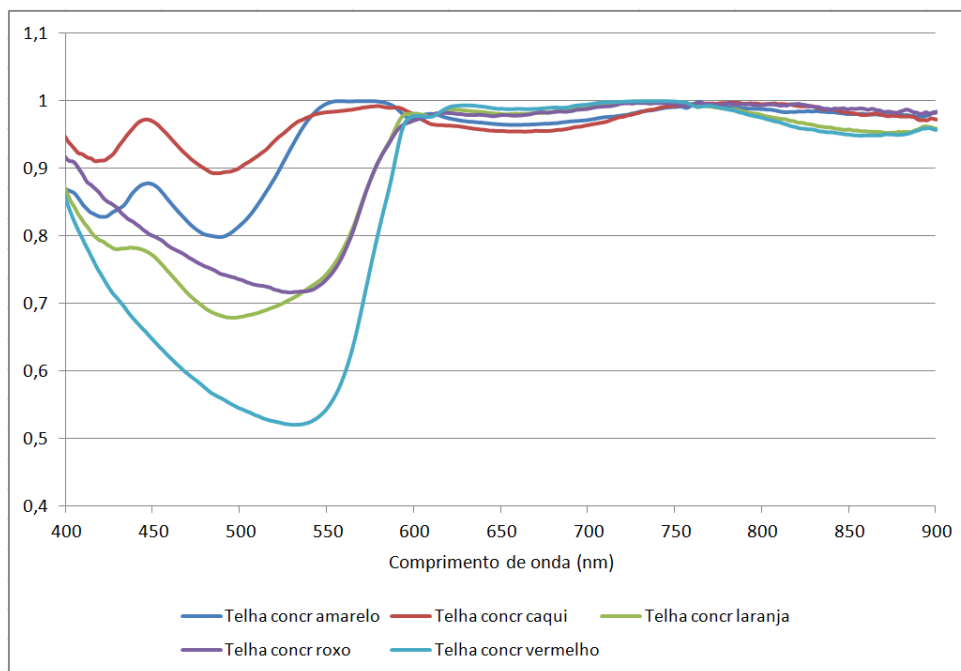


Figura 4.15. Remoção do contínuo aplicado às telhas de concreto.

As profundidades de banda das feições de absorção que destacam o padrão semelhante com as telhas de cerâmica natural são: de 0,658 no caso da banda situada em 519 da telha marrom claro; e 0,638 no caso da banda situada em 539 nm da telha marrom escuro (Figura 4.14 D). Na Figura 4.15 mostram-se as feições de 0,479 no caso da banda situada em 530 nm da telha vermelha; de 0,319 no caso da banda situada em 491 nm da telha laranja; de 0,282 no caso da banda situada em 525 nm da telha roxa. Destaca-se a telha caqui que é o alvo que mostra uma menor feição de absorção significativa, apenas 0,103 no caso da banda situada em 482 nm.

De acordo com a Figura 4.14 D, a remoção do contínuo mostra a ocorrência de uma faixa de absorção comum para as telhas com cores azuis, cinza e verde, entre os 590 e 607 nm, destacando as profundidades das feições de absorção: 0,773 da banda 592 nm da telha azul escuro; 0,735 da banda 590 nm da telha azul claro; 0,575 da banda 593 nm da telha verde, até a telha que mostra uma menor feição de absorção, 0,313 da banda 607 da telha cinza. Neste cenário não foi possível estabelecer qual é o mineral ou óxido que pode influenciar as bandas de absorção já que não foi encontrada informação sobre resposta espectral dos pigmentos utilizados para gerar as diferentes cores.

4.4.3 Terceiro grupo: materiais de concreto, telhas de amianto e a brita calcária.

No terceiro grupo predomina o material de concreto em algumas de suas formas e usos no ambiente urbano que contribuem para diferenciá-los apesar de terem a mesma base de construção. Também foram incluídas as telhas de amianto e a brita calcária por ter comportamento semelhante com relação ao albedo. Na Figura 4.16 mostram-se as curvas espectrais de: telhas de concreto de tons cinza, telha de concreto plana, tetos de concreto em edificações, calçada de concreto, blocos de concreto pré-moldados, telhas de amianto e brita calcária. No caso das telhas de concreto de tons cinza e uma amostra de telha de amianto, as medições foram realizadas sobre material novo.

Para os alvos de concreto conforme seu estado novo o usado pode-se observar a mesma curva espectral e que apenas varia em relação ao valor de reflectância, e o padrão da maior reflectância conforme aumenta o comprimento de onda, segundo Bowker et al. (1985), sendo estas as características que permitem diferenciá-los.

Para algumas classes do concreto tais como as telhas cinza (Figura 4.16) percebe-se que estas apresentam uma baixa e uma constante reflectância ao longo de toda a curva espectral com apenas algumas características de absorção, como menciona Herold et al. (2003b). As curvas de telhas de concreto mais antigo e as novas são diferentes, um exemplo encontrado em campo foi uma telha de concreto plana antiga, que mostra um leve aumento de reflectância a partir dos 500 nm a diferença do comportamento quase constante das telhas novas como menciona Nasarudin e Shafri (2011). No entanto a telha mais antiga mantém uma baixa reflectância quando é comparada com as telhas cinza mais claras.

O uso e a condição dos blocos de concreto pré-moldados devido ao processo de envelhecimento causa variação nos espectros, como descrevem Moreira (2008) e Nasarudin e Shafri (2011). Neste sentido, como pode ser observado na Figura 4.16, os blocos de concreto de forma hexagonal que são utilizados para calçadas de pedestre, apresentam uma maior reflectância do que os blocos de concreto retangulares que foram observados em áreas com tráfego veicular. Ambos os tipos estão assentados sobre uma base de areia ou brita fina, a diferença é a presença de gramíneas entre as juntas dos blocos hexagonais e a presença de óleo e baixa proliferação dos líquens nos blocos retangulares.

As classes de teto de concreto limpo e sujo são blocos de concreto retangulares de um tamanho maior ao utilizado para calçamento e são utilizados como acabamento nos tetos de prédios. De acordo com a Figura 4.16, no chamado teto sujo os blocos observaram-se escuros, visivelmente afetados pela aderência de líquens, com relação ao teto limpo e este fato pode explicar o baixo albedo do concreto sujo. Os tetos de concreto 1 e 2, são de construção mais nova, mas apresentam áreas mais sujas do que outras, fator que se mostra no comportamento espectral em uma feição de absorção comum próxima aos 600 nm, sendo que o teto de concreto 1 encontrava-se menos poluído com minerais de solo, líquens e sujeira do que o teto de concreto 2.

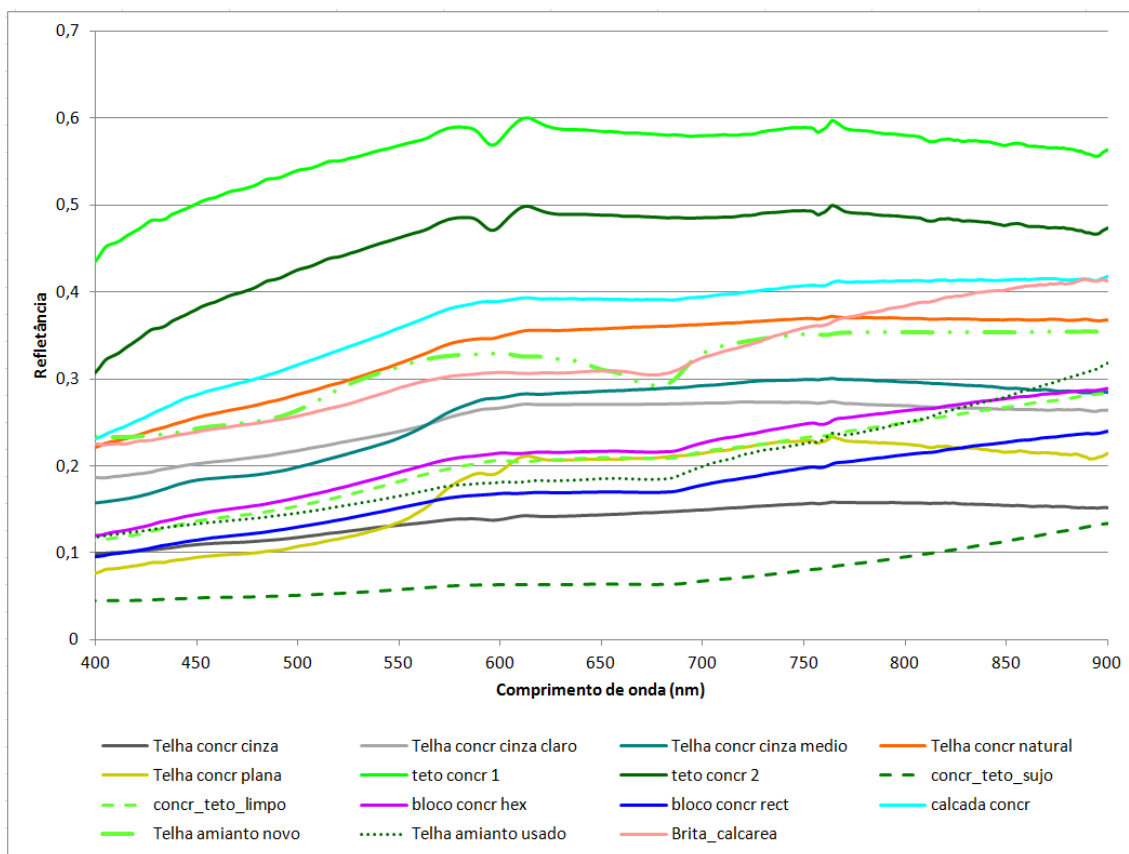


Figura 4.16. Curvas de reflectância dos alvos telhas de concreto de tons cinza, telha de concreto plana, tetos de concreto em edificações, calçada de concreto, blocos de concreto pré-moldados, telhas de amianto e brita calcária.

A calçada de concreto é uma superfície contínua e mostra uma reflectância que cresce conforme aumenta o comprimento de onda, cujo albedo é superado apenas pelas amostras de teto de concreto 1 e 2 que são de construções mais recentes.

Entre as curvas espectrais da Figura 4.16, estão as correspondentes aos telhados de amianto novo e usado assim como a brita calcária, os quais apresentam curvas espectrais com feições diferentes, mas com comportamento crescente conforme aumenta o comprimento de onda.

Para análise destes materiais a análise derivativa permitiu extrair as variações de reflectância que não são evidentes em alguns casos (Figura 4.17).

Na Figura 4.17 A verifica-se que as telhas de concreto plana, de tons cinza natural, claro e médio mostram variações de reflectância entre 564 e 569 nm e junto com a telha de concreto cinza entre 600 e 612 nm e aos 761 nm. Existe uma variação de reflectância comum entre estas telhas entre 880 e 890 nm na faixa do *NIR* que coincide com uma variação de reflectância descrito por Moreira (2008) e Stain (2009) que pode ajudar a diferenciar entre estes tipos de cobertura.

A Figura 4.17 B apresenta a calçada de concreto de superfície contínua com uma variação de reflectância na banda 404 nm, enquanto os blocos de concreto pré-moldado na banda 426 nm, mas são semelhantes em uma alta reflectância na banda 762 nm.

A Figura 4.17 C apresenta a brita calcária com variações de reflectância aos 547 e 690 nm e uma diminuição de reflectância aos 405 nm, que segundo a biblioteca espectral do USGS e ASTER JPL deve-se a presença de íons de ferro. A telha de amianto nova mostra variações de reflectância aos 513 e 688 nm, sendo este último valor próximo ao citado por Moreira (2008) observado em telhados com presença de amianto. Também foi observada uma queda de reflectância que explica a feição de absorção na banda 662 nm. A telha de amianto usada mostra a maior variação de reflectância na banda 760 nm, a partir da qual tanto a brita calcária e a telhas de amianto novo apresentam um comportamento semelhante.

A Figura 4.17 D mostra os tetos de concreto 1 e 2 com variações de reflectância comuns nas bandas 401, 600, 761 e 896 nm. O teto de concreto apresenta variações de reflectância nas bandas 431 e 689 nm e o teto de concreto sujo nas bandas 694 e 763 nm. O comportamento é similar com as outras amostras de concreto.

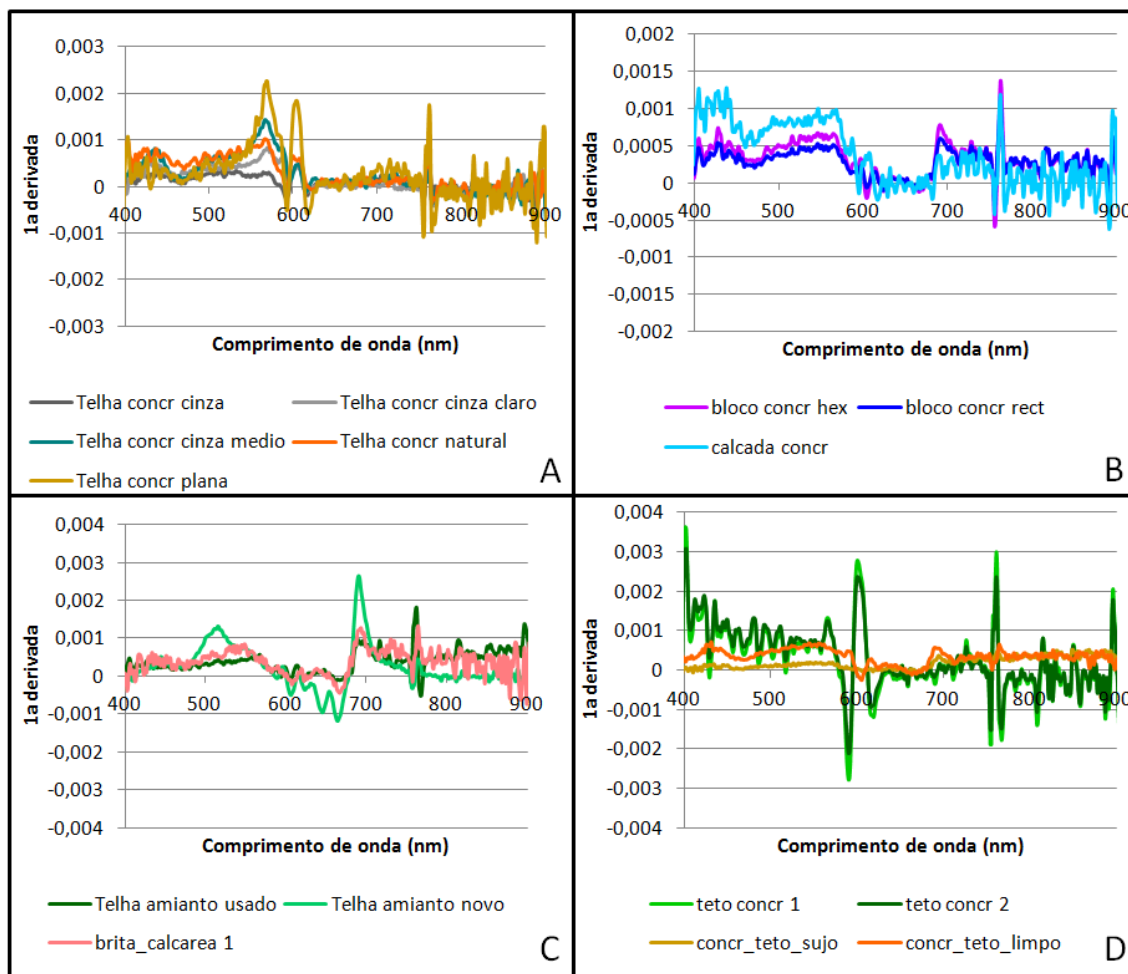


Figura 4.17. 1ª derivada: (A) Telhas de concreto de tons cinza e telha de concreto plana (B) blocos de concreto pré-moldados e calçada de concreto de superfície contínua, (C) Telhas de amianto e brita calcária, (D) Tetos de concreto.

De acordo com a Figura 4.18 A, a remoção do contínuo para as telhas de concreto mostra a ocorrência de uma faixa de absorção comum entre os 480 e 503 nm, destacando as profundidades das feições de absorção: 0,262 no caso da banda 503 nm da telha de concreto plana; 0,114 na banda 489 nm da telha cinza médio e até a telha que mostra uma menor feição de absorção, 0,033 no caso da banda 486 nm da telha concreto natural.

Na Figura 4.18 B, a remoção do contínuo para os blocos pré-moldados e calçada de concreto mostra a ocorrência de duas faixas de absorção em comum, a maior entre os 681 e 683 nm, e a menor entre as bandas 485 e 489 nm, sendo o bloco de concreto retangular com 0,102 a maior feição de absorção.

Na Figura 4.18 C os tetos de concreto 1 e 2 mostram um comportamento semelhante com feições de absorção de 0,043 na banda 596 nm e 0,039 na banda 595 nm. O concreto limpo mostra duas feições de absorção, sendo a maior de 0,086715 na banda 680 nm e a menor de 0,951 na banda 485 nm.

Na Figura 4.18 D mostra as telhas de amianto, a brita calcária e o teto de concreto sujo, três alvos diferentes com uma feição de absorção em comum entre 676 e 680 nm, destacando as profundidades de banda das feições de absorção: 0,348 no caso da banda 680 nm do teto de concreto sujo, 0,217 na banda 678 nm da telha de amianto usado e 0,102 na banda 676 nm da brita calcária. A telha de amianto novo apresenta duas feições de absorção 479 e 674 nm. As bandas identificadas neste grupo aproximam-se das bandas de absorção fortes que são causadas por óxidos de ferro mencionadas nos trabalhos de Ben-Dor et al. (2001), Moreira (2008), Stein et al. (2009).

Conforme Rossetto e Turrillas (2007) a mineralogia do concreto é bastante variável, além do fato de envelhecimento ou uso da estrada segundo Roberts e Herold (2004) e Nasarudin e Shafri (2011). Os blocos de concreto pré-moldados estão assentados sobre uma base de areia ou brita fina cujo conteúdo mineralógico pode conter óxidos de ferro segundo Demattê et al. (1999), Meneses e Ferreira (2001), Madeira (2001) além dos os agregados da mistura do concreto mencionados por ABCP (2009); Petrakis et al. (2010); Almeida e Marques (2010).

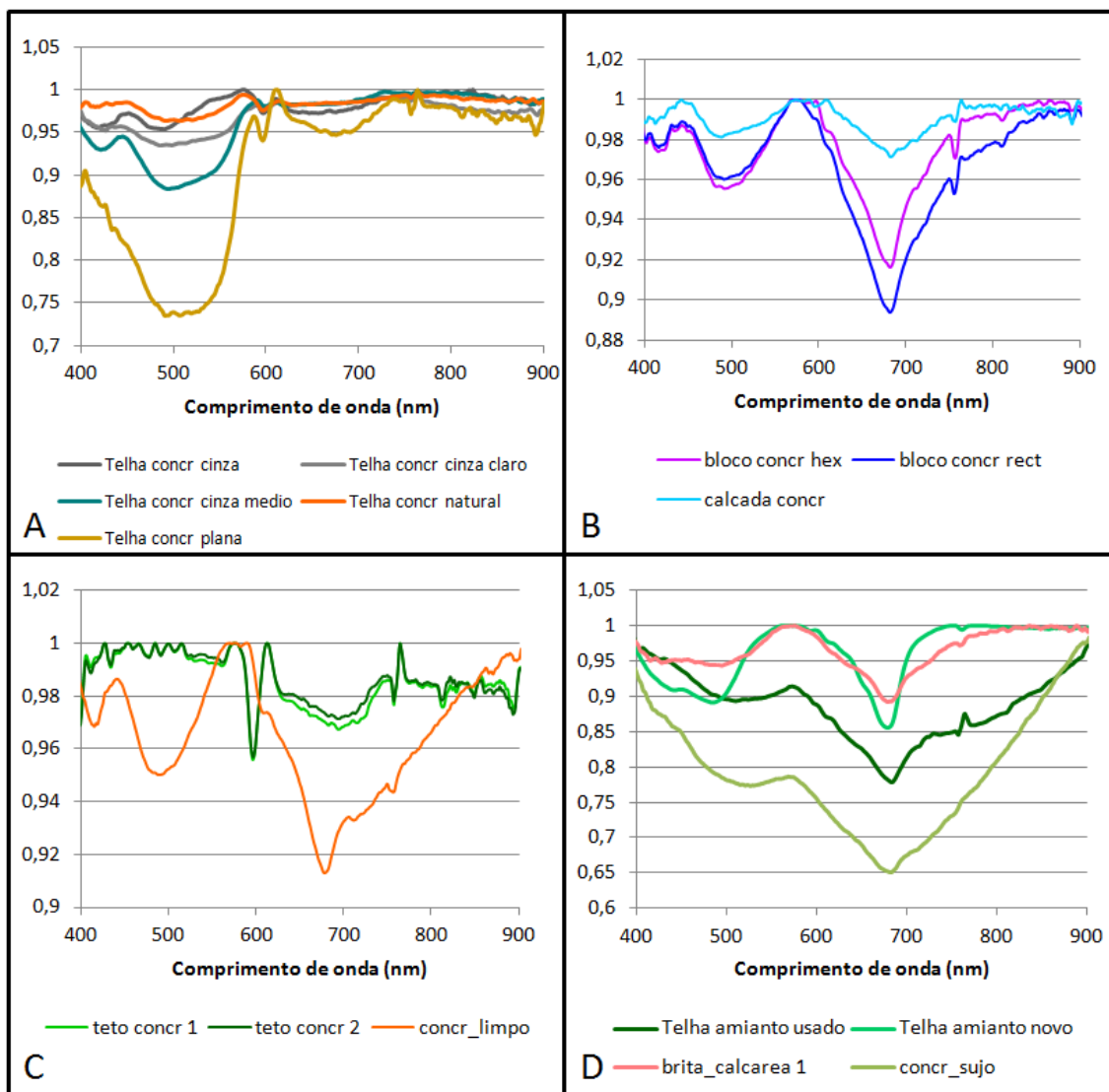


Figura 4.18. Remoção do contínuo aplicado: (A) Telhas de concreto, (B) Blocos de concreto pré-moldados e calçada de concreto de superfície contínua, (C) Cobertura de concreto em tetos, (D) Telhas de amianto, brita calcária e teto de concreto sujo.

4.4.4 Quarto grupo: telhas de zinco

No quarto grupo estão as telhas de zinco com algumas cores e diferente ondulação cujo comportamento espectral, de acordo na Figura 4.19, mostra uma relação inversamente proporcional em relação aos outros materiais estudados. Conforme aumenta o comprimento de onda diminui a reflectância, com exceção do zinco azul que mostra uma curva espectral semelhante com a telha vitrificada azul já descrita, uma queda de reflectância no azul próximo aos 446 e no NIR aos 761 nm, ao contrário das telhas vitrificadas azuis que apresentam esse comportamento aos 400 e 600 nm. Um comportamento semelhante é descrito no caso de telhas metálicas de cor azul escuro por Nasarudin e Shafri (2011), próximo aos comprimentos de onda descritos.

No caso das telhas de zinco com uma camada de tinta pode-se aplicar o descrito por Ben-Dor et al. (2001) sobre a capacidade de absorção e reflexão de radiação ao longo da região espectral do visível com base nos efeitos químicos e o comportamento espectral de superfícies pintadas segundo Castro et al. (2003) e Dornellez e Roriz (2007).

As telhas de zinco segundo Heiden et al. (2007) mostram uma grande variabilidade no albedo por causa da reflectância especular típica deste material. Sousa e Kux (2005) explicam que a diferença entre os valores de reflectância embora se mantenha o comportamento espectral entre os 500 e 900 nm, a diferença entre os valores de reflectância tem relação com a estrutura e geometria do alvo. Neste caso foram encontradas amostras com canais de largura pequena e média, sendo as últimas as que apresentaram maior reflectância. Isto pode explicar as diferenças de valores de reflectância entre o zinco branco, cinza, e normal.

Observa-se na Figura 4.19 que a amostra pintada de branco reflete quase uniformemente em todo o espectro visível, característica típica da cor branca que reflete todas as cores da região VIS. As amostras de zinco normal que tem um tom cinza e a telha pintada da cor cinza mostram um comportamento semelhante ao descrito por Castro et al. (2003) e Dornellez e Roriz (2007).

A aplicação da análise derivativa permitiu extrair as variações de reflectância que não são evidentes em alguns casos.

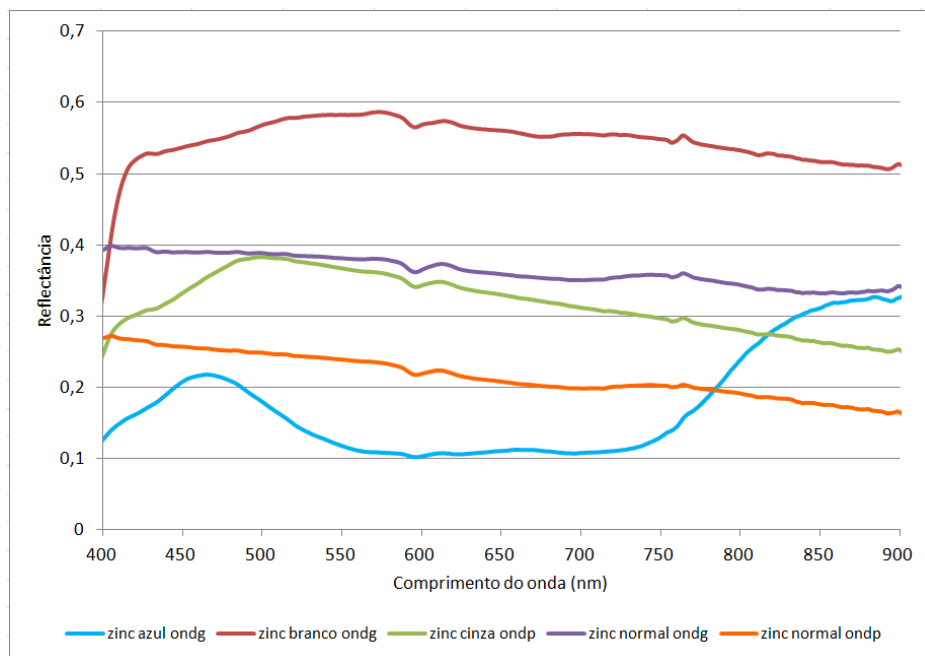


Figura 4.19. Curvas de reflectância de telhas de zinco.

Na Figura 4.20 A pode se identificar variações de reflectância nas telhas de zinco normais, nas mesmas bandas, aos 401, 598 e 762 nm. Na Figura 4.20 B destaca-se três variações de reflectância comuns entre o zinco branco, cinza e azul nas bandas 400, 597 e 760 nm assim como ressalta a forte diminuição de reflectância no caso do zinco azul a partir da banda 487 nm. As mudanças de reflectância encontradas coincidem com as descritas por Moreira (2008) e Mori et al. (2008) que mostram essa variação de reflectância no V/S, entre 400 e 700 nm.

De acordo com a Figura 4.21 A, a remoção do contínuo para a telha de zinco azul em relação à outras amostras de zinco destaca a largura da feição, sendo o valor de maior profundidade de absorção: 0,611 na banda 690 nm.

De acordo com a Figura 4.21 B, destaca-se a remoção do contínuo para as telhas de zinco branco, cinza e normal, que mostra a ocorrência de uma faixa de absorção comum entre os 590 e 594 nm. As amostras encontraram-se usadas e com poeira fina sobre a superfície da telha. Este fato explica que essa feição de absorção comum pode estar relacionada com a presença de óxidos de ferro relatados por Ben-Dor et al. (2001), Herold et al. (2003a), Segl et al. (2003), Espinosa (2006), Heiden et al. (2007).

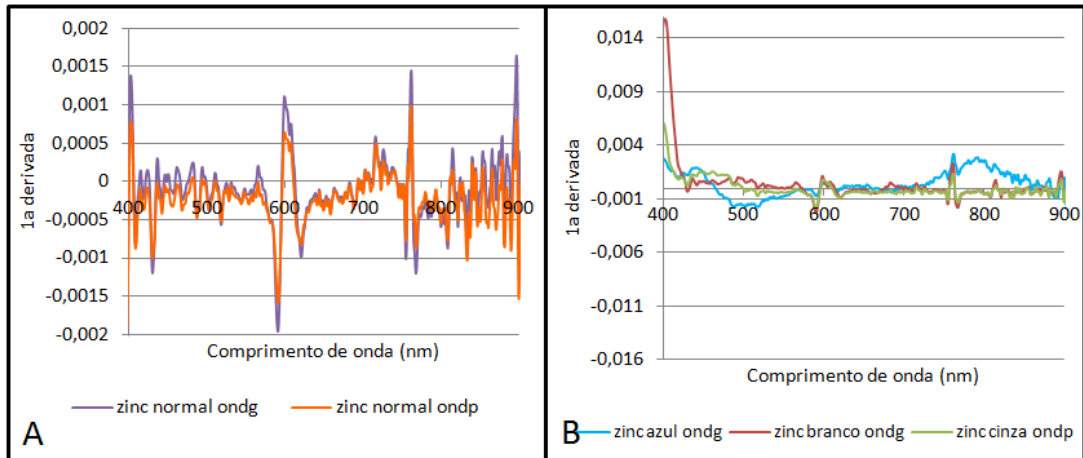


Figura 4.20. 1ª derivada: (A) Telhado de zinco normal, (B) Telhas de zinco pintadas.

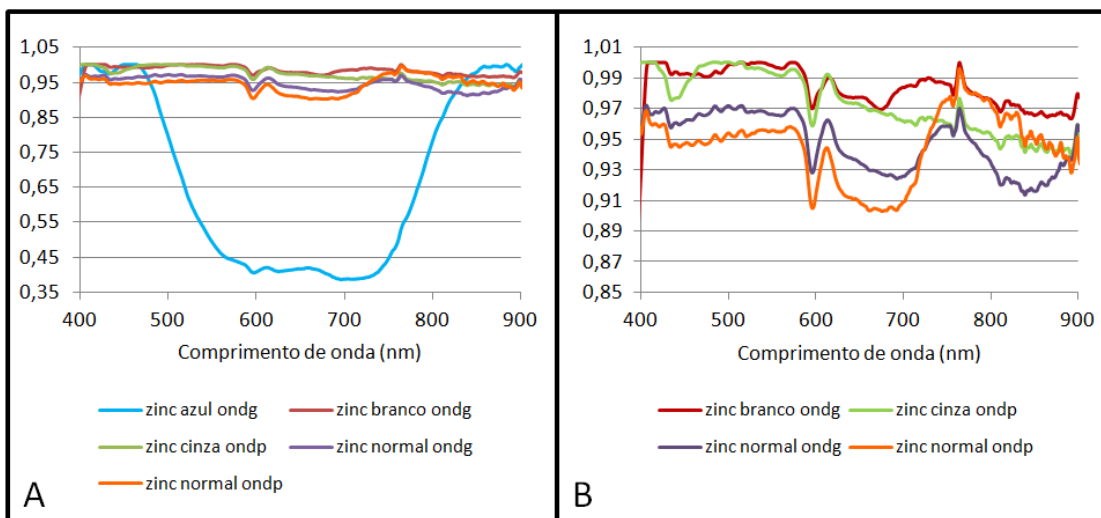


Figura 4.21. Remoção do contínuo: (A) Telhado de zinco normal, (B) Telhas de zinco pintadas.

Logo, dessa faixa de absorção comum, destaca-se as maiores profundidades de bandas nas feições de absorção: 0,964 na banda 889 nm do zinco branco; 0,060 na banda 894 nm do zinco cinza e 0,914 na banda 838 nm do zinco normal de onda média. Os maiores valores de absorção entram nos intervalos descritos por Segl et al. (2003) como máximo de absorção para o zinco.

4.4.5 Quinto grupo: telha de plástico, telha de fibra de vidro, grama natural e grama sintética.

No quinto grupo mostra-se telha de plástico, telha de fibra de vidro e a diferença entre a grama natural e a grama sintética.

As telhas de plástico e fibra de vidro translúcido assim como a grama sintética, são fabricadas a partir de uma mistura de materiais derivados de polímeros que as tornam mais resistentes e as convertem em alternativas econômicas ou funcionais. Estes telhados são utilizados para cobertura parcial e no caso do telhado em fibra de vidro translúcida para aumentar a claridade da área coberta. De acordo com Castro et al. (2003) e Dornellez e Roriz (2007), Moreira (2008), tratando-se de alvos artificiais, o comportamento espectral está associado à cor que os diferencia no *VIS*. Estes materiais são fornecidos em variadas cores e não oferecem de informação precisa sobre a natureza dos materiais de que são confeccionados.

Como se pode observar na Figura 4.22 A, a telha de plástico de azul escuro apresenta uma baixa reflectância ao longo da faixa de espectro *VIS* e *NIR*, mas a forma da curva é semelhante às telhas vitrificadas e de zinco com cor azul. A telha de fibra de vidro translúcido é de uma cor branca leitosa e tem a característica da cor branca que reflete quase uniformemente em todo o espectro visível, assim como reflectância especular típica referida por Ben-Dor et al. (2001) nos os metais claros e materiais de vidro.

A grama sintética é um material artificial que tenta emular a grama natural. A Figura 4.22 B mostra que a grama sintética reflete na faixa do verde de forma semelhante à grama natural, mas o comportamento espectral que a diferencia da grama natural ocorre na faixa espectral do *NIR*. A grama natural mostra o comportamento espectral típico de vegetação: o espectro apresenta baixa reflectância no visível, com predomínio da absorção nos canais do azul e do vermelho, suave aumento da reflectância no verde e alta reflectância no Infravermelho próximo.

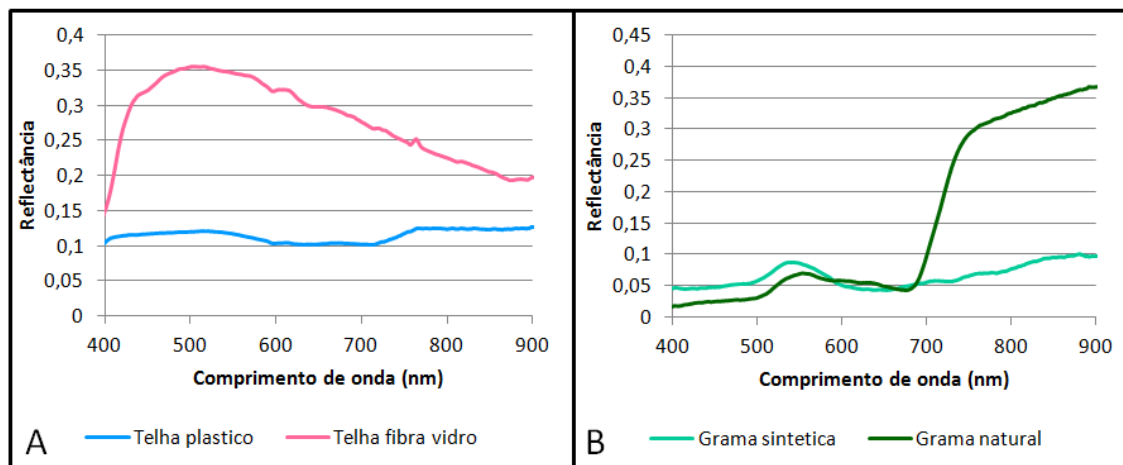


Figura 4.22. Curvas de reflectância (A) Telhas de plástico e fibra de vidro (B) Grama sintetica e grama natural.

A aplicação da análise derivativa permitiu extrair as variações de reflectância que caracterizam as amostras. Nas telhas de plástico da Figura 4.23 A, foram identificadas variações de reflectância nas bandas 400 e 762 nm, mostrando o padrão semelhante sobre diminuições de reflectância em objetos da cor azul descritas por Moreira (2008) e Mori et al. (2008) que mostram a queda de reflectância no VIS, entre 400 e 700 nm.

A telha de fibra de vidro apresenta variações de reflectância nas bandas 411 e 760 nm (Figura 4.23 A), indicando um padrão semelhante com o descrito por Castro et al. (2003) e Dornellez e Roriz (2007) no caso de materiais de cor branca.

A grama natural (Figura 4.23 B) expõe as variações de reflectância aos 516 e 741 nm, nas faixas espectrais do verde e infravermelho próximo, que coincide com o comportamento descrito nos trabalhos de Ben-dor et al. (2001), UFSM (2004), Moreira (2008), Jensen (2009), Nasarudin e Shafri (2011). Enquanto a grama sintética apresenta a maior variação de reflectância aos 518 nm na faixa espectral do verde.

Na Figura 4.24 A, a remoção do contínuo permitiu identificar para a telha de fibra de vidro o valor de maior valor de profundidade de banda na feição de absorção: 0,155462 na banda 870 nm, valor de banda próximo ao das maiores feições de absorção encontradas nas telhas de zinco coloridas, porém pode-se dizer que as feições de absorção

encontradas nestes materiais, seja pela constituição ou cobertura artificial, devem ter algum componente químico em comum.

De acordo com a Figura 4.24 A, a remoção do contínuo para a telha de plástico azul destaca a largura da feição, mas o valor de maior profundidade de banda na feição de absorção foi 0,188 no caso da banda 707 nm, sendo esta uma feição de absorção próxima da banda de maior absorção da telha de zinco azul.

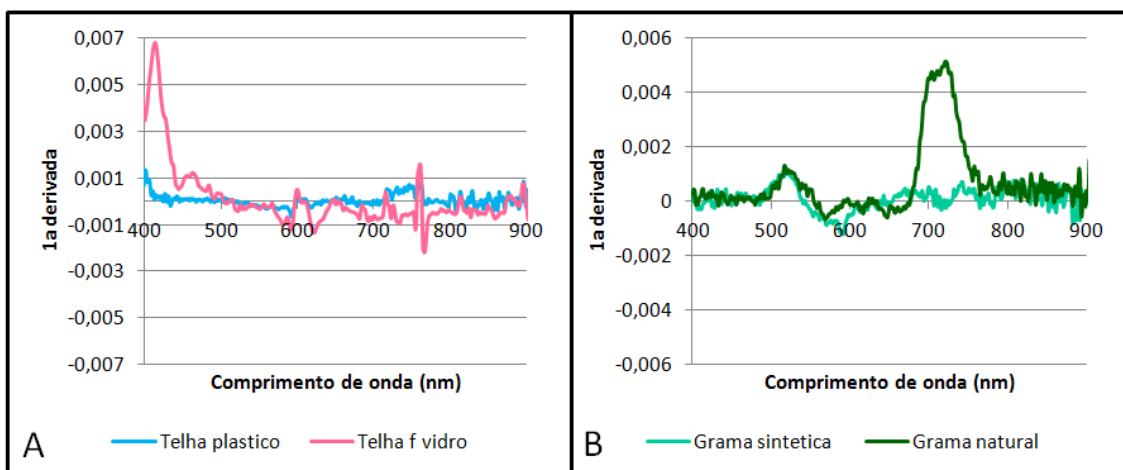


Figura 4.23. 1ª derivada: (A) Telha de plástico e fibra de vidro, (B) Grama natural e sintética.

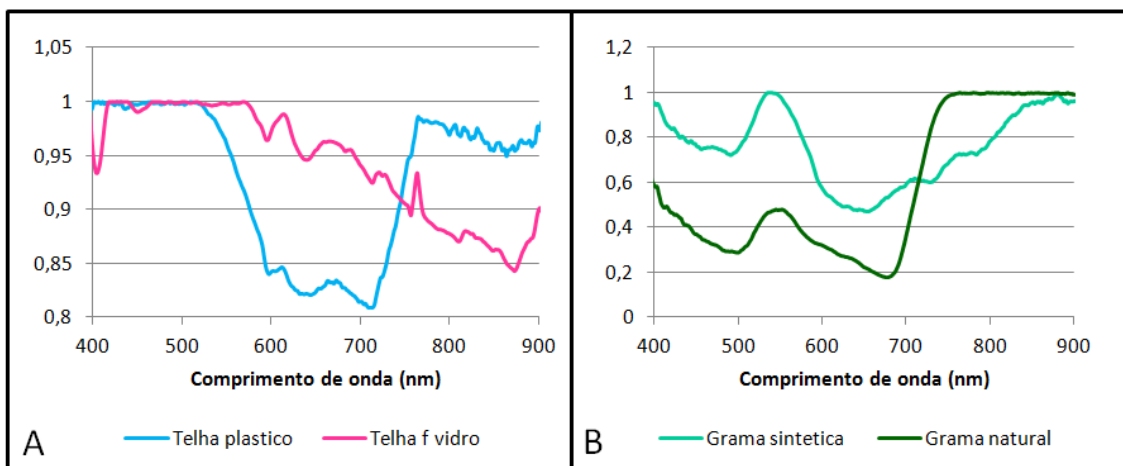


Figura 4.24. Remoção do contínuo aplicado: (A) Telha de plástico e fibra de vidro, (B) Grama natural e grama sintética.

A Figura 4.24 B apresenta a remoção do contínuo para grama natural e sintética onde destacam duas feições de absorção 0,707 na banda 494 nm e 0,269 na banda 486 nm respectivamente, e os valores de maior profundidade de banda na feição de absorção são: 0,817 na banda 672 nm da grama natural e 0,524 na banda 649 nm da grama sintética. Com relação à grama natural as bandas de absorção aproximam-se ao descrito por Ben-Dor et al. (2001), UFSM (2004), Moreira (2008), Nasarudin e Shafri (2011) sobre o efeito da clorofila que absorve fortemente nos canais do azul e do vermelho, próximo aos comprimentos de onda 450 e 670 nm. Neste caso, os valores de absorção podem estar afetados pela presença de solo já que a cobertura natural corresponde à grama.

Com relação à grama sintética a absorção de radiação nos canais do azul e do vermelho começa em bandas prévias às associadas a grama natural o que pode ser explicado pela resposta espectral da cor verde dos pigmentos que constituem as fibras sintéticas na região do espectro visível, sendo a diferenciação clara dos tipos de grama a partir do infravermelho próximo.

4.4.6 Sexto grupo: Calçamento de paralelepípedo e rocha irregular preto, asfalto, brita e telha *shingle*.

O sexto grupo corresponde aos materiais que apresentaram de forma geral um baixo albedo tais como calçamentos de paralelepípedo e rocha irregular preto, pavimentação de asfalto, brita e telha *shingle*. Os comportamentos espectrais de acordo a Figura 4.25 mostram como estes materiais apresentam uma baixa e uma constante reflectância ao longo de toda a curva espectral com apenas algumas características de absorção na região espectral *VNIR*, já que a maioria das feições de absorção descritas na literatura associadas aos componentes destes materiais apresentam-se no *NIR* e *SWIR* como mencionam Ben-Dor et al. (2001), Herold et al. (2003b), Heiden et al. (2007), Herold et al. (2008), Moreira (2008), Nasarudin e Shafri (2011).

Os materiais que conformam o sexto grupo, são superfícies expostas ao meio ambiente com diferentes condições de superfície e envelhecimento. No caso do calçamento de paralelepípedo, asfalto e brita, estes encontram-se alterados pela

presença de elementos tais como marcas de pneu, algas, gramíneas, poeira, sujeira ou borracha na superfície.

Na Figura 4.25, a amostra de asfalto 1 corresponde à cobertura mas recente e lisa do que o asfalto 2, cuja cobertura é visivelmente mais antiga e mostra uma mistura de asfalto com os agregados. Conforme os trabalhos de Herold et al. (2003b), Roberts e Herold (2004), Herold et al. (2004), Heiden et al. (2007), Nasarudin e Shafri (2011) este fato explica porque uma cobertura de asfalto mais nova tem uma reflectância menor do que uma cobertura de asfalto mais velha.

A telha *shingle* (Figura 4.25) apresenta um comportamento semelhante com o asfalto o que tem relação com o fato da telha ser uma manta asfáltica com pigmentos cerâmicos.

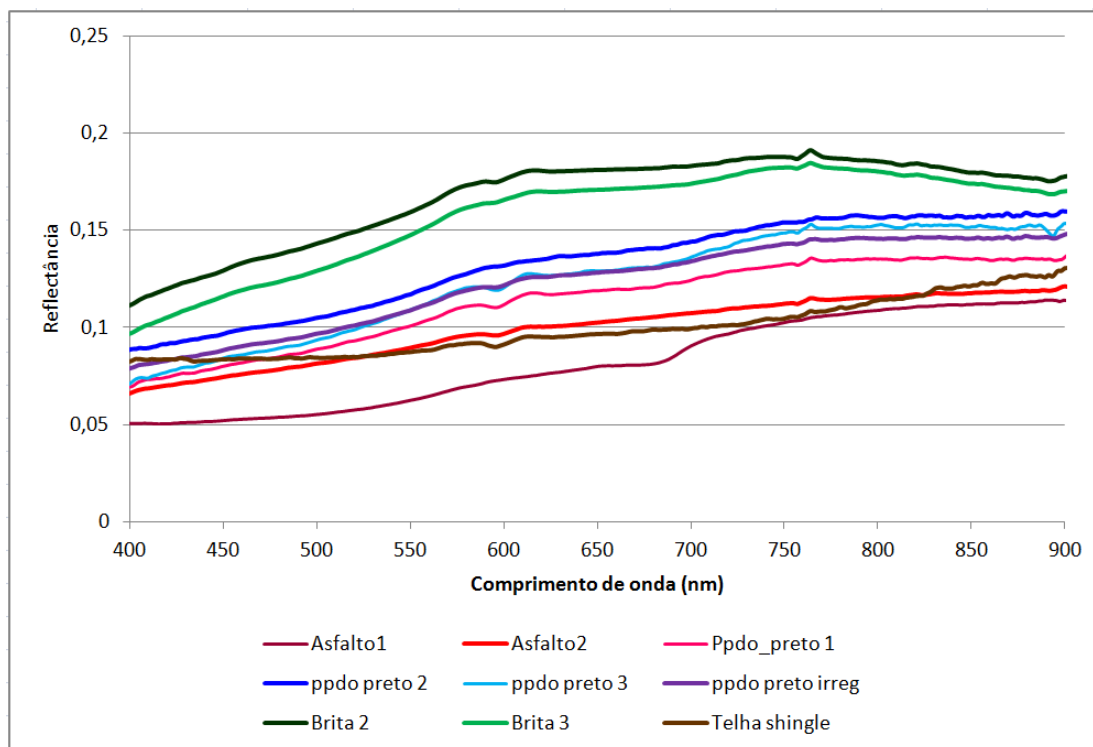


Figura 4.25. Curvas de reflectância de calçamento de paralelepípedo e rocha irregular preto, asfalto, brita e telha *shingle*.

As amostras de calçamento de paralelepípedo preto (Figura 4.25) em geral apresentam um comportamento espectral semelhante. No caso das amostras 1, 2 e 3,

estas correspondem a blocos retangulares (paralelepípedo), enquanto a amostra 4 representa um calçamento com blocos irregulares. A diferença de reflectância pode ser explicada pelo tempo e forma de uso.

A amostra de brita 2 mostra uma reflectância levemente maior com relação a amostra de brita 3 e os outros alvos já descritos (Figura 4.25). Isso pode ser explicado pelo fato do material da brita 2 ser de maior diâmetro do que da brita 3, e quando mais irregular é a superfície, maior é a reflexão especular do alvo. Além disso, apresenta maior reflectância conforme aumenta o comprimento de onda e diminui suavemente após os 800nm, aproximando-se ao descrito por Bowker et al. (1985).

Na Figura 4.26 A diferencia-se no asfalto 1 variações de reflectância aos 563 e 691 nm, e no asfalto 2 variações de reflectância aos 599 e 761 nm; sendo o último valor o maior para ambas amostras. As amostras mantêm a tendência de aumento da reflectância conforme aumenta o comprimento de onda. Conforme a Figura 4.26 B, a remoção do contínuo permitiu identificar para o asfalto 1 duas feições de absorção, a maior de 0,187 na banda 502 nm e 0,126 na banda 673 nm. No caso do asfalto 2 a maior profundidade de banda na feição de absorção foi: 0,025 na banda 521 nm. Merece destaque uma feição de absorção comum entre o asfalto 2 e a telha shingle na banda 593 nm, sendo para esta última a profundidade de banda correspondente ao valor 0,132.

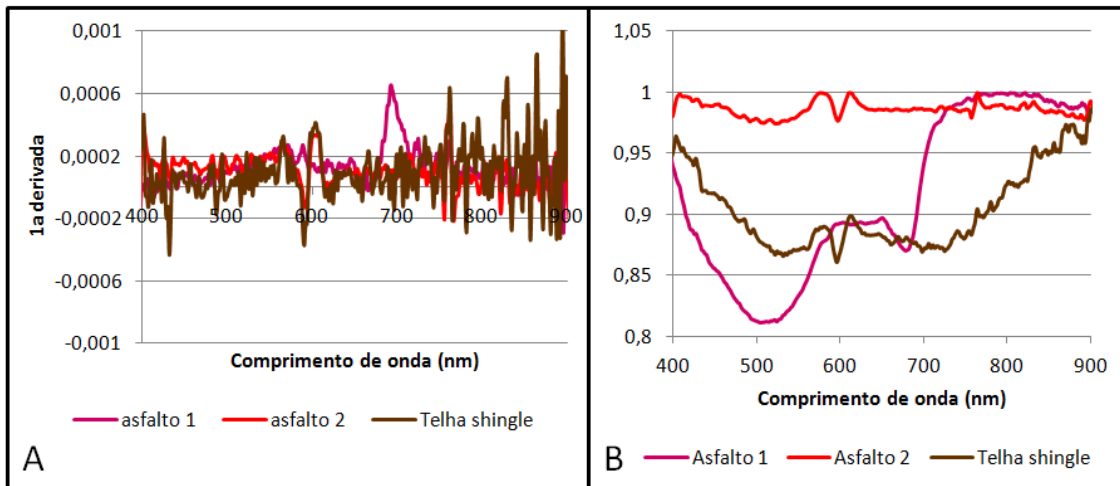


Figura 4.26. (A) 1ª derivada de asfalto 1 ,2, e telha *shingle*. (B) Remoção do contínuo de asfalto 1 ,2, e telha *shingle*.

A remoção do contínuo permitiu identificar a ocorrência de faixas de absorção entre os 500 nm e 673 nm que podem explicadas pela presença de óxidos de ferro dos materiais utilizados nos agregados do asfalto mencionados por Ben-Dor et al. (2001), Sousa e Kux (2005), Heiden et al. (2007), Herold et al. (2008), Stein et al. (2009), Petrakis et al. (2010); Almeida e Marques (2010), Bolívar et al. (2013), além dos materiais das estradas de terra trazidos pelos pneus dos carros.

A Figura 4.27 A mostra o paralelepípedo preto 1 e 2 com variações de reflectância comuns aos 400 e 761 nm, enquanto o paralelepípedo preto 3 e 4 com variações de reflectância aos 756 e 890 nm. A reflectância entre os valores 756 e 761 nm, pode ter relação com a presença de vegetação, ou seja, gramíneas que crescem entre as juntas dos paralelepípedos.

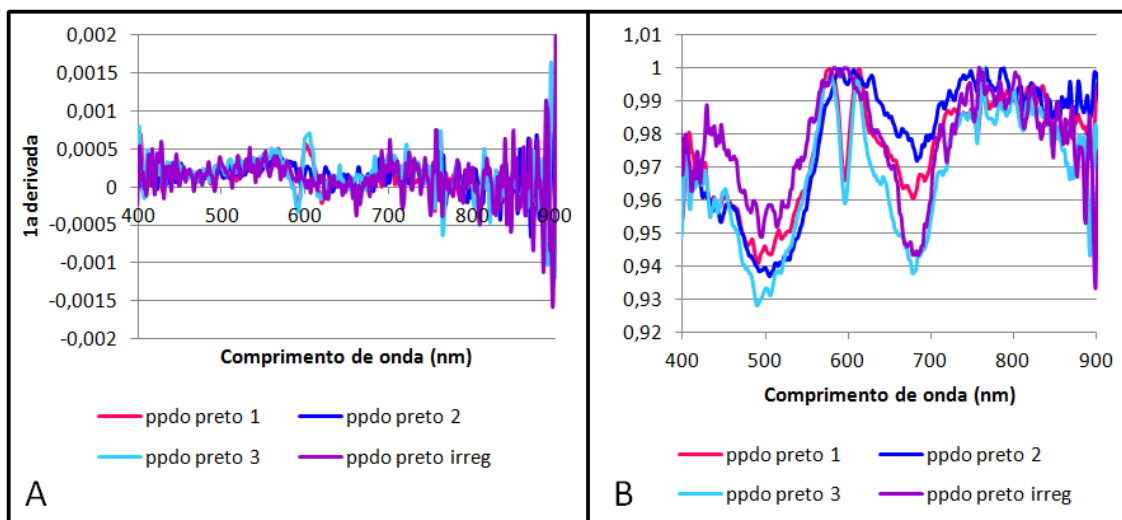


Figura 4.27. (A) 1a derivada das amostras do calçamento de paralelepípedo preto. (B) Remoção do contínuo das amostras do calçamento de paralelepípedo preto.

A Figura 4.27 B apresenta a remoção do contínuo para as amostras de paralelepípedo preto, que destaca para todos os casos duas feições de absorção, a primeira entre as bandas 488 até 503 nm e a segunda entre as bandas 676 até 682 nm, próximas às bandas identificadas no trabalho de Bolivar et al. (2013). No caso do paralelepípedo preto a rocha pode ser basalto, riolito ou dacito, segundo Mottana et al. (1977), MINEROPAR (1999). Conforme Meneses e Ferreira (2001), Almeida e Marques

(2010) e as bibliotecas espectrais do USGS e ASTER JPL, o mineral microclino dos feldspatos potássicos apresentam feições de absorção nos 500nm e, segundo a livraria espectral do USGS e ASTER JPL, a biotita tem feições de absorção entre 600 e 800 nm, o que pode explicar a profunda faixa de absorção nos 682 nm.

Os paralelepípedos estão assentados sobre uma base de areia ou brita fina cujo conteúdo mineralógico pode conter óxidos de ferro e ter relação com as faixas de absorção destes óxidos descritas nos trabalhos de Demattê et al. (1999), Ben-Dor et al. (2001), Meneses e Ferreira (2001), Madeira (2001), Roberts e Herold (2004), Sousa e Kux (2005), Heiden et al. (2007), Herold et al.(2008), Stein et al. (2009), Petrakis et al. (2010); Almeida e Marques (2010).

As variações de reflectância da brita 1 e 2 podem ser identificadas no gráfico 4.28 nas bandas 401, 564 e 762 nm. A reflectância do valor 752 nm, pode ter relação com a presença de restos de vegetação sobre a superfície do conjunto britado.

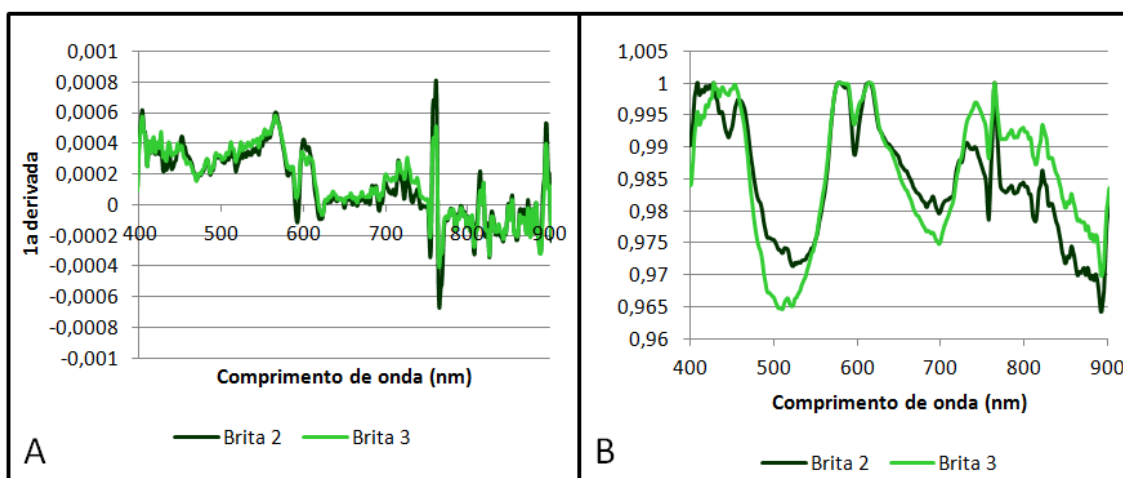


Figura 4.28. (A) 1ª derivada das amostras de brita. (B) Remoção do contínuo das amostras de brita.

Na Figura 4.28 B aprecia-se que a remoção do contínuo permitiu destacar, para os dois casos, três feições de absorção para as amostras de brita: a primeira nas bandas 519 e 505 nm para brita 2 e brita 3, respectivamente; a segunda na banda 694 nm e a terceira na banda 890 nm, para ambas amostras. As maiores profundidades de banda na feição de

absorção são: 0,034 na banda 890 nm da brita 2 e 0,035 na banda 505 nm da brita 3. A brita é um agregado gerado em muitos casos com resíduos de rochas como granito, basalto, gnaiss, riolito, dacito, arenito, entre outras; porém é difícil determinar o conteúdo mineralógico, pois este está relacionado com o conteúdo mineralógico das rochas que servem de matéria prima. De acordo com Demattê et al. (1999), Meneses e Ferreira (2001), Madeira (2001), Almeida e Marques, (2010) e as bibliotecas espectrais do USGS e ASTER JPL, a faixa de absorção deste material pode corresponder com a presença de óxidos de ferro, microclino e quartzo.

4.5 Resultados obtidos com a técnica de Mapeamento de ângulo espectral (SAM).

A aplicação da técnica *SAM* foi realizada com a utilização da média de espectros de referência obtidos a partir das próprias imagens GeoEye-1 e *HRG-1/SPOT 5*, sendo estas as amostras (classes) na classificação. Por causa da diferente resolução espacial entre as imagens (1,60 m versus 10 m), não foi possível discriminar nas imagens as mesmas classes dos alvos. Por exemplo, na seleção dos espectros de referência no caso de imagem GeoEye 1 foram identificadas as classes concreto novo, velho e pré-moldado, enquanto na imagem SPOT 5 se identificou apenas uma classe de concreto. A tabela 4.2 apresenta as amostras consideradas de acordo aos alvos identificados para a classificação.

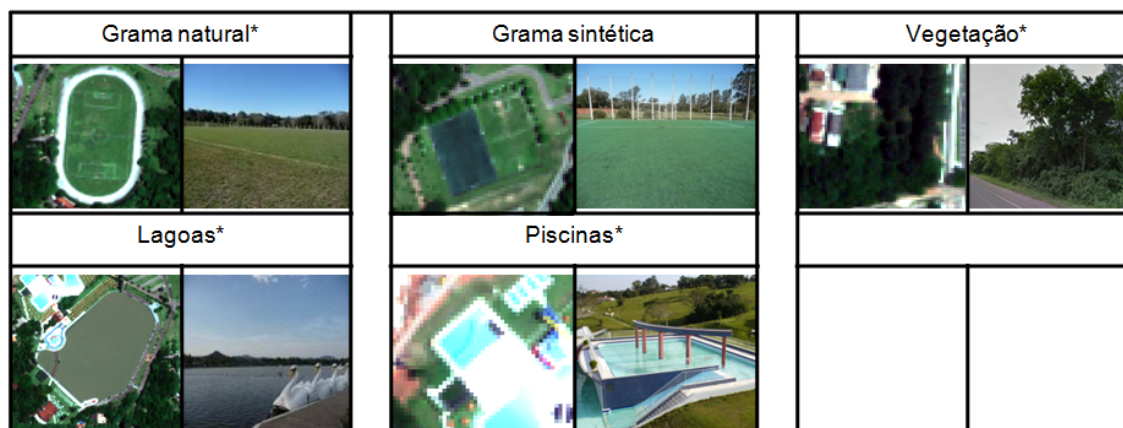
Tabela 4.2. Amostras de materiais urbanos (classes) utilizadas na aplicação da técnica de classificação SAM nas imagens GeoEye-1 e HRG-1/SPOT 5.

Imagem GeoEye-1	Imagem HRG-1/SPOT 5
Telha de amianto	Telha de amianto
Telha de ardósia	Telha de cerâmica
Telha de cerâmica coloração natural (nova e velha)	Telha de metal
Telha de aço	Asfalto
Telha de zinco	Concreto
Telha de concreto	Calçamento de paralelepípedo preto e rosa
Telha shingle	Estrada de chão
Lona de PVC azul	Quadra de saibro
Asfalto	Gramma natural
Blocos de concreto pré-moldado	Gramma sintética
Calçada de concreto novo	Corpos de água
Calçada de concreto velho	Vegetação
Calçamento de paralelepípedo rosa e preto	
Calçamento de pedra irregular	
Estradas de chão	
Camínierias de Brita comum e calcária	
Gramma natural e sintética	
Quadra de saibro	
Piscinas	
Corpos de água	
Vegetação natural	
Solo exposto	

A Figura 4.29 mostra as classes consideradas na classificação da imagem GeoEye-1 e na HRG-1/SPOT 5 aquelas sinalizadas com (*).



Figura 4.29. Classes de alvos considerados na classificação da imagem GeoEye-1 e na HRG-1/SPOT 5 (somente aquelas sinalizadas com (*)). Contínua...



Continua... Figura 4.29. Classes de alvos considerados na classificação da imagem GeoEye-1 e na SPOT 5 (somente aquelas sinalizadas com (*)).

As classes estabelecidas de acordo com a aplicação do método *SAM*, tiveram seus espectros de referência confrontados com os espectros de cada *pixel*, segundo seu distanciamento angular, sendo atribuído a cada *pixel* a classe que menos se distanciava. Finalmente foram geradas 27 amostras de alvos na imagem GeoEye-1 e 14 amostras na imagem SPOT 5, (tabela 4.2) utilizadas para o método *SAM*.

Nesta pesquisa, as classes não correspondem em todos os casos às amostras medidas com o espectrorradiômetro das amostras em campo.

O processamento *SAM* foi realizado considerando todos os alvos de uma só vez e os resultados foram avaliados sobre as imagens ângulo (*rule images*), utilizando fatiamentos de valores (*density slice*) em cores associadas a intervalos angulares específicos para cada espectro de referência, com limites entre 0 e 0,2 rad para a imagem GeoEye-1 e 0 e 0,15 rad. para a imagem SPOT 5.

Foram estabelecidos dois intervalos angulares por alvo devido a necessidade de estabelecer diferenças entre os alvos constituídos pelo mesmo material de interesse mas com características diferentes, que em alguns casos foram reconhecidos pelo classificador, além das confusões apresentadas com outros alvos.

Logo de determinar o fatiamento adequado para cada classe e comparadas com composições coloridas normais para a identificação dos alvos de referência na cena verificou-se boa separabilidade para alguns alvos e maior confusão entre outros.

4.5.1 Resultados da classificação SAM na imagem GeoEye-1.

Os telhados de amianto foram adequadamente identificados na respectiva imagem SAM, com ângulos até 0,039 rad, como pode ser observado no exemplo da Figura 4.30, onde um recorte da imagem GeoEye-1 é apresentado ao lado da imagem SAM. O recorte A corresponde a identificação adequada e o recorte B a identificação adequada (quadro rosa) além de outros alvos que causaram confusão (quadro amarelo) apresentando valores muito baixos na imagem SAM, confundindo-se no mesmo intervalo de valores com os pixels de sombras e calçamento de rocha preta irregular.

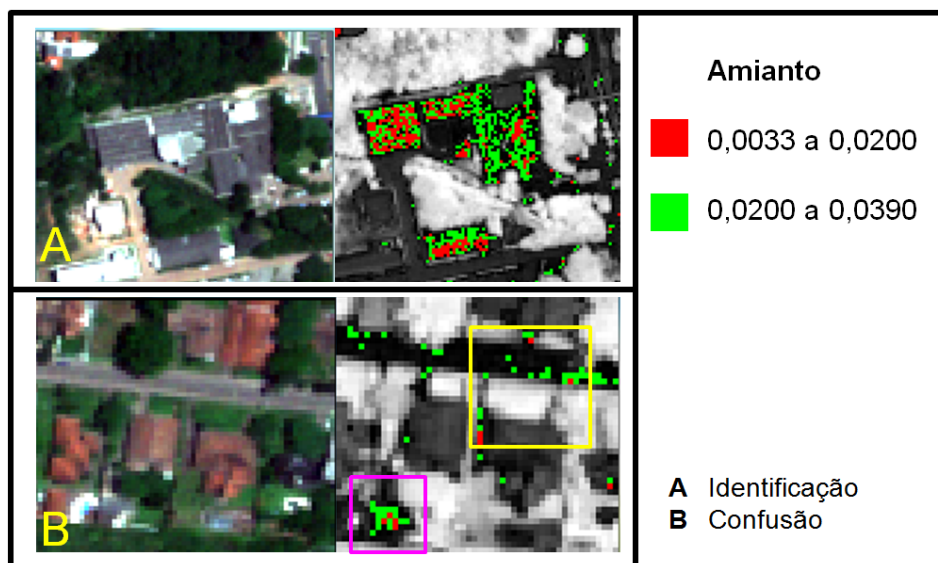


Figura 4.30. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para o telhado de amianto.

O telhado de ardósia não foi comum encontrá-lo, foi identificado com ângulo até 0,0300 rad. apresentando forte confusão com o calçamento de paralelepípedo e rocha preta irregular, assim como os telhados com cores escuras (marrom, negro). Na Figura 4.31, o recorte A corresponde à identificação adequada (quadro rosa) e o recorte B com alvos que causaram confusão (quadro amarelo). Observou-se

confusão média com telhas de amianto velho, o que pode ser explicado pela proximidade dos valores angulares entre os alvos identificados como amianto e ardósia.

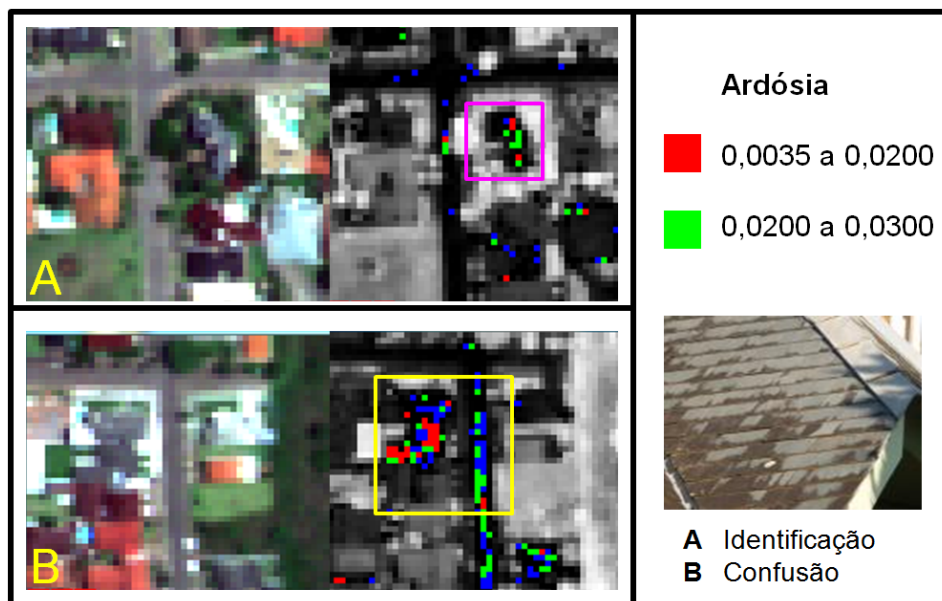


Figura 4.31. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para as telhas de ardósia.

As ruas de calçamento de rocha preta presentes na cidade são de tipo blocos regulares (peça de pedra chamada paralelepípedo) e de pedra irregular (com uma face plana para rolamento). Sendo do mesmo material basalto, esperou-se a mesma resposta espectral, só que a diferença da forma dos blocos, o tipo de uso do pavimento (rua, estacionamento) e a presença de poeira na superfície mostrou algumas diferenças em alguns setores da imagem ou forte confusão com ruas de asfalto. Por isso decidiu-se separar por tipo de bloco para testar diferentes valores angulares e verificar até que ponto são diferenciáveis estes calçamentos.

As ruas de calçamento de rocha preta irregular foram identificadas com ângulos entre 0,0610 e 0,0800 rad. Na Figura 4.32, o recorte A e B em dois locais diferentes correspondem à identificação adequada (quadro rosa) junto com outros alvos que causaram confusão (quadro amarelo). Embora sendo valores muito

baixos, mostram confusão com estradas de asfalto, telhados com pigmentação cinza natural ou artificial (telhas de cerâmica, concreto envelhecido, zinco), telhas de ardósia, sombras e amianto velho.

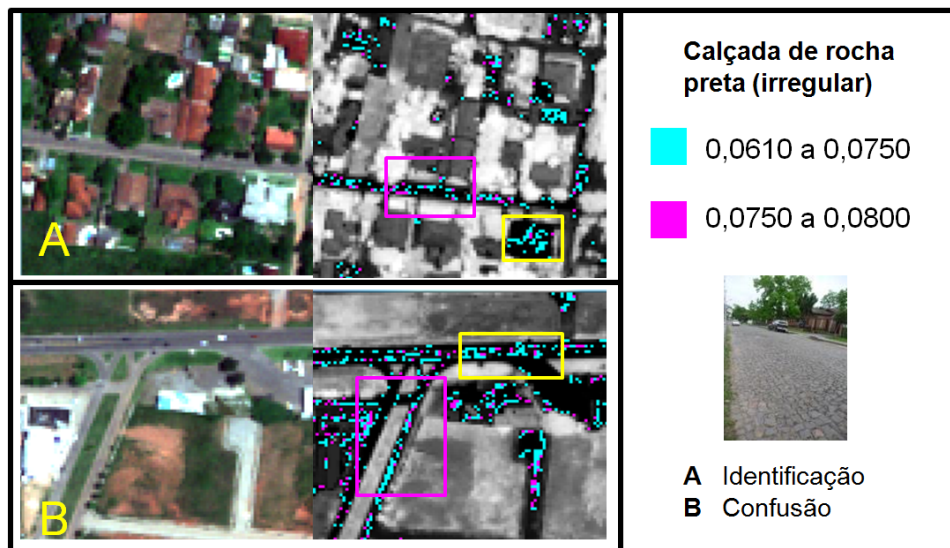


Figura 4.32. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para o calçamento de rocha preta irregular.

As ruas de calçamento de paralelepípedo preto regular foram identificadas com ângulos entre 0,0110 e 0,0300 rad. A identificação mostrou até as características lineais das estradas com este material de pavimentação (Figura 4.33). Em alguns setores da imagem o classificador discriminou do asfalto, no entanto em outras áreas apresentou confusão com ruas de asfalto, alguns telhados metálicos ou de tons claros além de concreto e em menor grau com telhas de amianto.

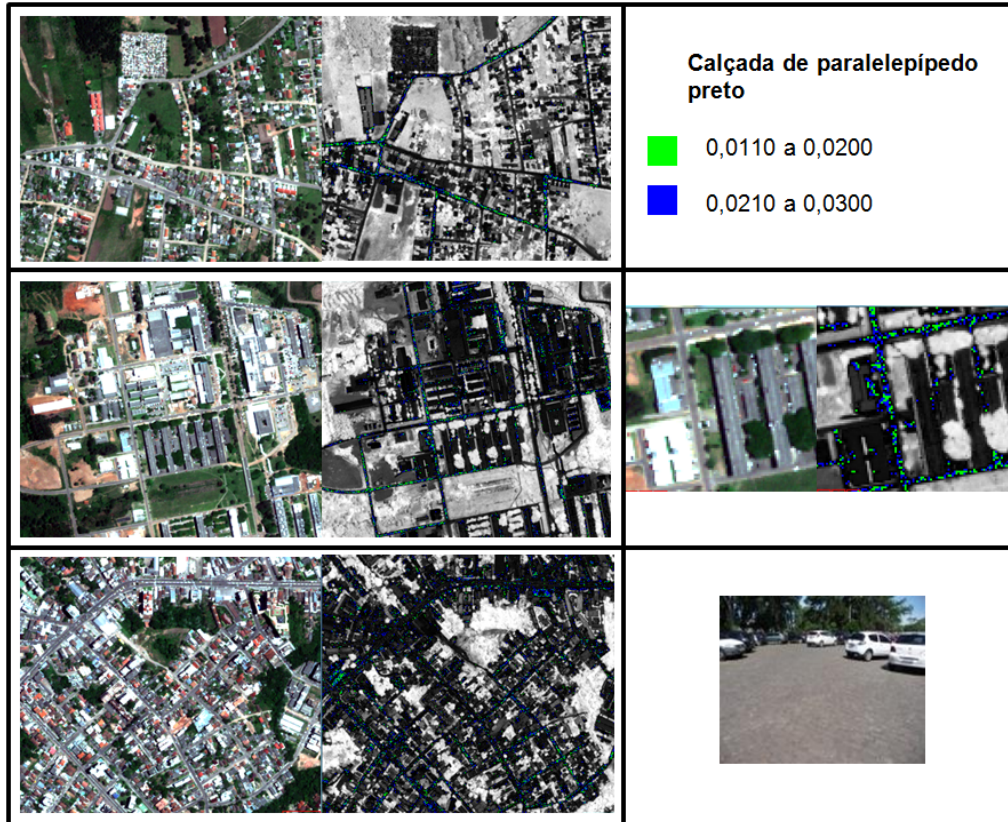


Figura 4.33. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para o calçamento de paralelepípedo preto.

As ruas de asfalto foram identificadas principalmente com ângulos entre 0,0043 e 0,0500 rad. A identificação mostrou até as características lineares das estradas com este material de pavimentação e discriminou as áreas de estacionamento. Na Figura 4.34, o recorte A e B em dois locais diferentes correspondem à identificação adequada (quadro rosa) junto com outros alvos que causaram confusão (quadro amarelo). Apresentou confusão com calçamento de paralelepípedo preto e rocha preta irregular, telha *shingle*, telhas da cor cinza, telha de zinco, áreas de sombra de telhas metálica e em menor grau com telhas de amianto.

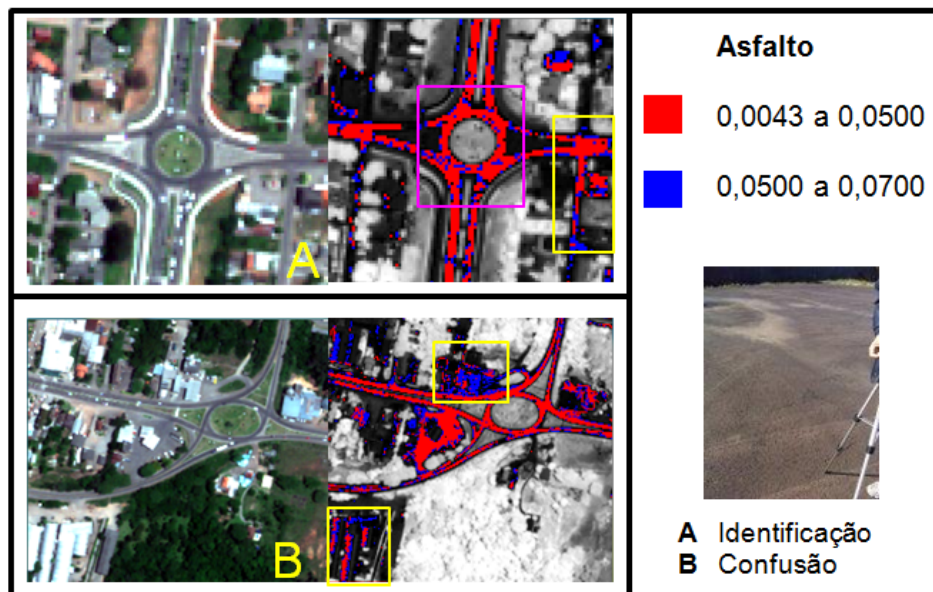


Figura 4.34. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para o asfalto.

O telhado *shingle*, não foi comum encontrá-lo, assim como as telhas de cerâmica vitrificadas, as quais oferecem variedade de cores. Um tipo de *shingle* de tom escuro foi identificado com ângulo até 0,0280 rad., no entanto outro tipo de *shingle* de tom mais claro foi identificado com ângulo entre 0,0600 até 0,0780 rad. Na Figura 4.35, o recorte A e B correspondem à identificação adequada de duas cores de telha (quadro rosa) em dois locais diferentes, mas junto com outros alvos causaram confusão (quadro amarelo). Houve forte confusão com asfalto, mas isso pode ser explicado pela base asfáltica constituinte da telha e a proximidade dos valores angulares entre o asfalto e a telha *shingle*. Também foi observada confusão com telhados de cores escuras (marrom, negro) e calçamento de paralelepípedo preto e rocha preta irregular.

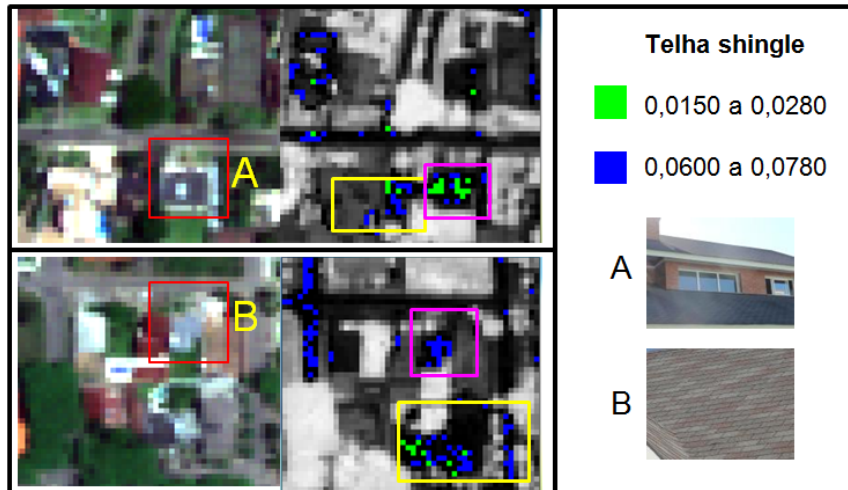


Figura 4.35. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para a telha *shingle*.

A Brita é um elemento agregado presente em muitos materiais, seja como parte dos componentes no caso do asfalto, ou como base dos blocos de concreto pré-moldados, nos calçamentos de paralelepípedo e rochas irregulares além de pistas de caminhada. A brita foi identificada com ângulos entre 0,0100 e 0,0250 rad. e 0,0400 e 0,0450 rad. Na Figura 4.36, o recorte A corresponde à identificação adequada de brita (quadro rosa) e os recortes B e C nos alvos onde o material está presente entre as juntas dos paralelepípedos (B) o como parte do processo de construção do pavimento de asfalto (C) (quadro amarelo).

O classificador identificou adequadamente o material nas pistas de caminhada, mas também em todos aqueles alvos onde a brita é utilizada como componente da base, porém pode-se dizer que isso explica a presença de certa confusão com estes alvos, além da proximidade dos valores angulares com alvos como asfalto e telha *shingle*. No caso do calçamento de paralelepípedo preto e rosa, assim como o calçamento de rocha preta irregular, é importante lembrar que a brita é produto do britado de rochas como granito e basalto, porém é esperado que o classificador reconheça esses materiais.

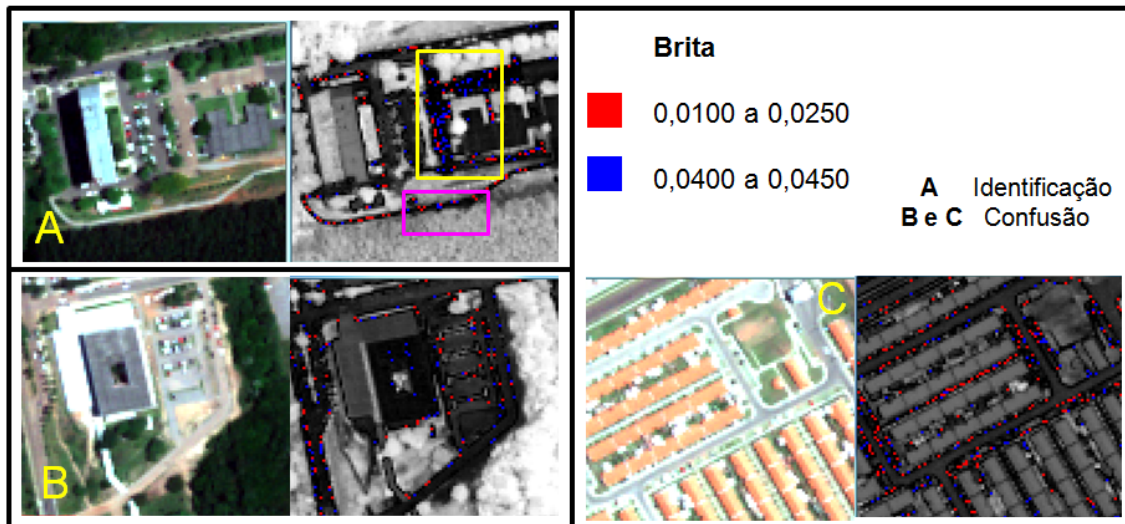


Figura 4.36. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para brita.

O calçamento de paralelepípedo rosa foi adequadamente identificado até 0,0400 rad. Na Figura 4.37, a imagem A mostra uma clara discriminação das estradas de paralelepípedo, mas mostra confusão com o solo exposto (quadro amarelo). A imagem B mostra a clara discriminação com o calçamento de paralelepípedo preto (quadro rosa). A imagem C mostra uma área de estacionamento com este pavimento e confusão com alguns alvos de concreto próximos (quadro amarelo). A classificação mostrou as características lineares das estradas com este material de pavimentação, diferenciando claramente do calçamento de paralelepípedo preto, sempre que este não esteja muito poluído com poeira do material dos solos adjacentes. Apresentou confusão com concreto e áreas de solo exposto.

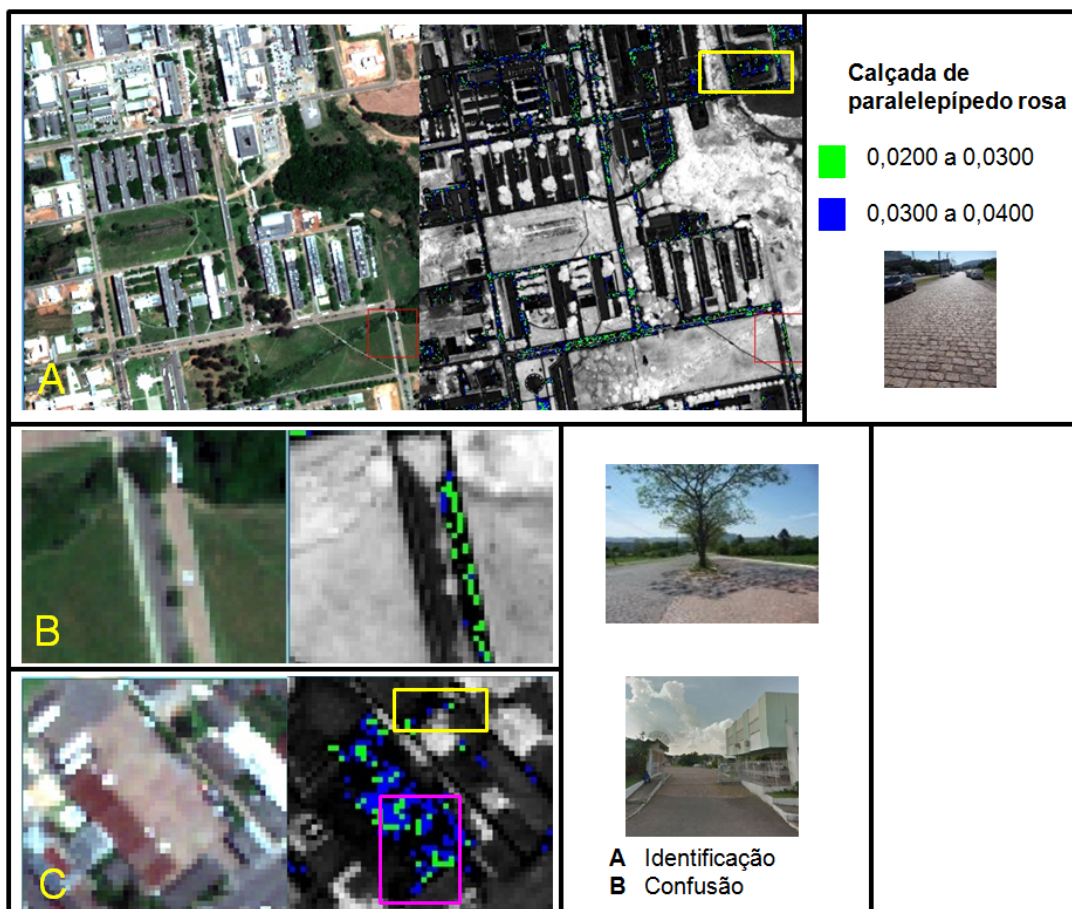


Figura 4.37. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para o calçamento de paralelepípedo rosa.

As estradas de terra e as áreas de solo expostos apresentam uma confusão que podem ser consideradas natural já que o material constituinte principal é o solo presente na área de estudo. De fato os valores angulares correspondentes a estes alvos são próximos até 0,0400 rad.

As estradas de terra foram identificadas até 0,0600 rad. Na Figura 4.38, a imagem A mostra a clara discriminação da estrada de terra. A imagem B identifica algumas estradas de terra (quadro rosa) e confusão com telhado de cerâmica das casas adjacentes (quadro amarelo). A imagem C, mostra confusão com telhado e demarcação cor de laranja da uma quadra de basquete (quadro amarelo). O solo exposto foi identificado até 0,0800 rad. (Figura 4.39).

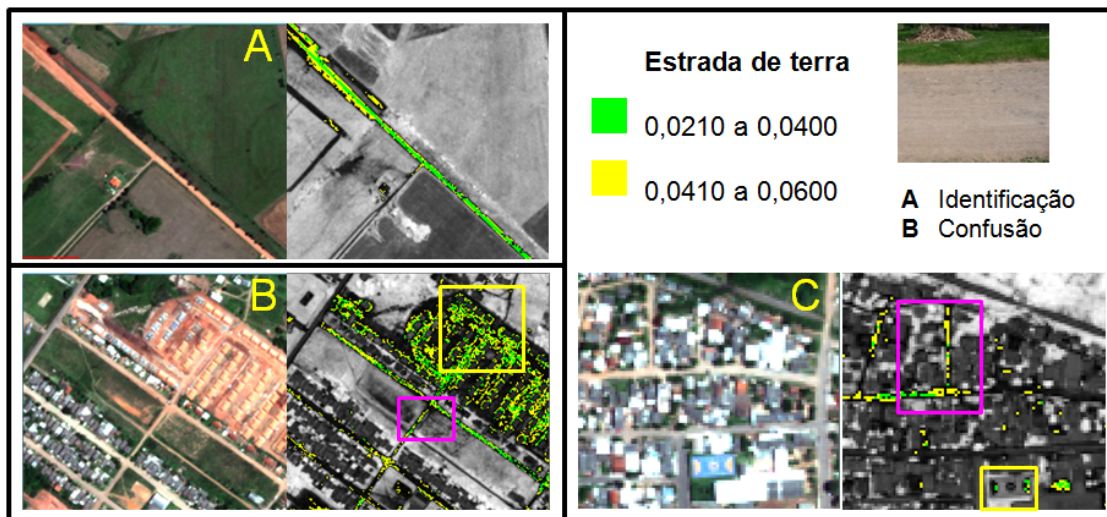


Figura 4.38. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para as estradas de terra.

Algumas variações na identificação das estradas de terra foram observadas em áreas onde muda o tom da cor laranja-avermelhada do solo, o que pode ter relação com baixa quantidade de água e/ou presença de cascalho para melhorar a superfície de rolamento. Neste caso, entre os valores angulares 0,0600 até 0,0800 rad. as estradas de terra visivelmente mais brilhantes assim como outras áreas de solo exposto, conseguem ser classificadas.

A presença de minerais de argila pode explicar a presença deste mineral nas estradas de terra e o solo exposto, assim como a confusão com as quadras de saibro e telhas de cerâmica natural, sejam novas ou velhas. Também foi observada confusão com uma área demarcada com a cor laranja em uma quadra de basquete.

As quadras de saibro utilizadas para jogos de tênis foram identificadas até o ângulo 0,0480 rad. Na Figura 4.40, a imagem A mostra a adequada identificação da quadra de saibro (quadro rosa), mas as imagens A e B mostram a confusão com telhas de cerâmica consideradas novas. (quadro amarelo). Entre os materiais constituintes estão argila e pó de telha, o que explica a confusão com materiais cujos valores angulares são próximos, tais como: estradas de terra, solo exposto e telhas novas.



Figura 4.39. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para as áreas de solo exposto. A imagem mostra a clara discriminação das áreas de solo exposto e confusão com estrada de terra.

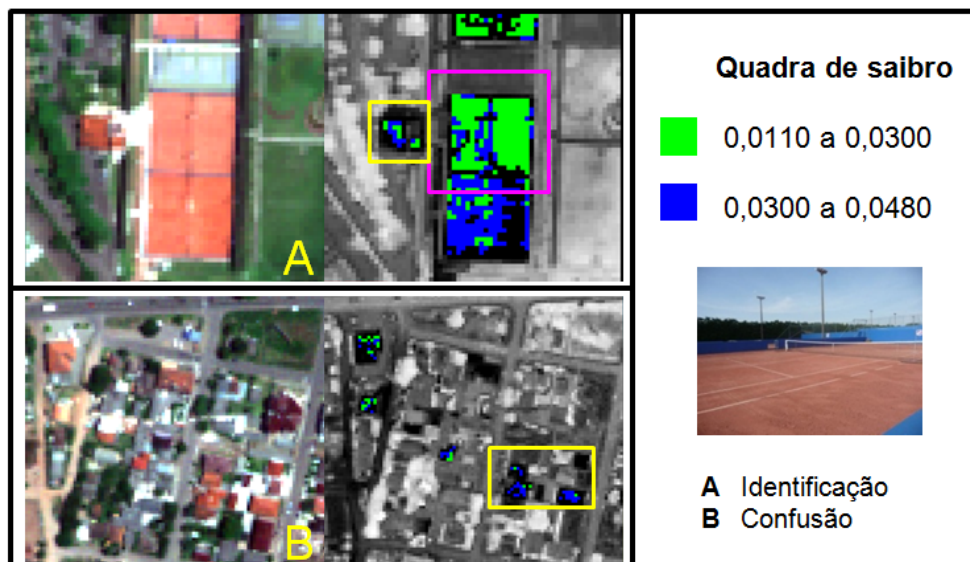


Figura 4.40. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para as quadras de saibro.

As telhas de cerâmica selecionadas para a classificação correspondem a aquelas de cor natural, apresentando-se algumas confusões na diferenciação de telhas novas e velhas. Observou-se uma tendência com relação às telhas da cor laranja mais claro e brilhante de ser consideradas como telhas “novas” ou com uma

superfície relativamente limpa sem sujeira e líquens. As telhas da cor laranja mais escuro e opaco foram consideradas telhas velhas, já que geralmente possuem uma camada visível de poeira, sujeira e líquens (Figura 4.41). As Figuras à direita com os valores angulares identificados permitiram diferenciar as telhas como novas ou velhas segundo sua condição com relação aos fatores ambientais. As áreas demarcadas com um quadro rosa correspondem à adequada identificação, enquanto os quadros amarelos correspondem com confusão com solo exposto e estradas de terra.

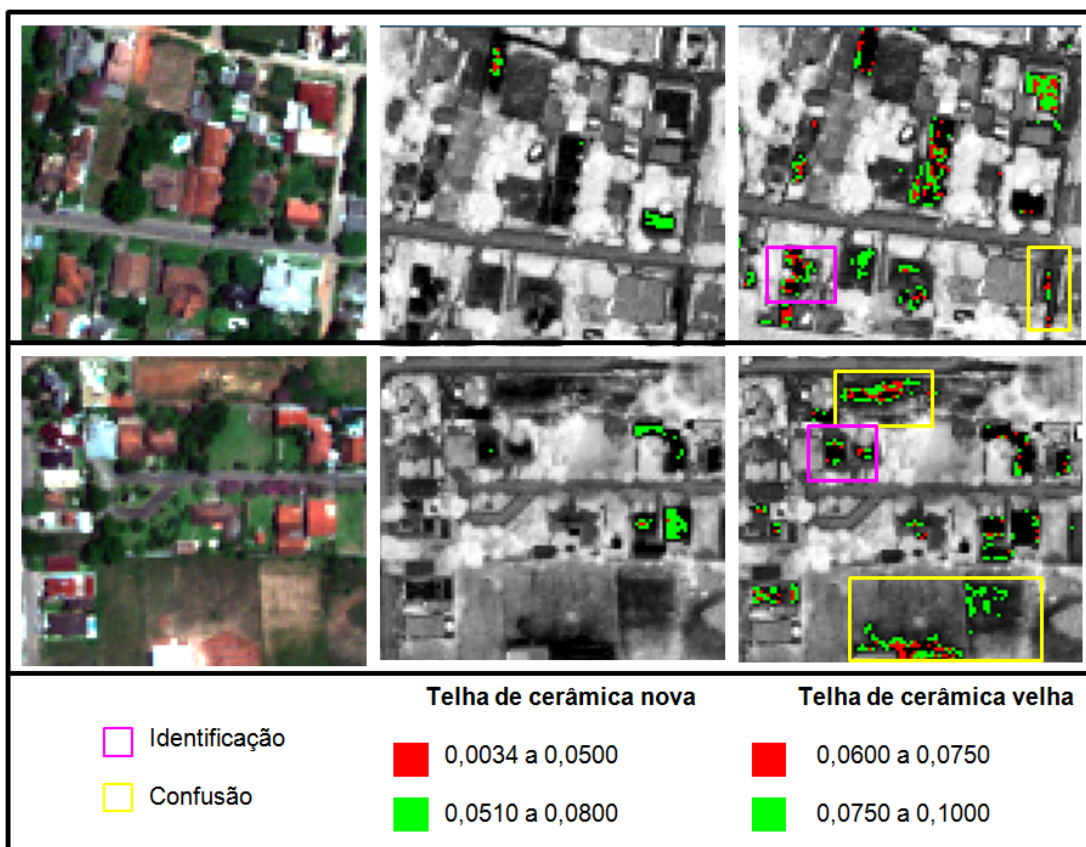


Figura 4.41. Duas amostras de áreas diferentes com composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, imagem SAM das telhas de cerâmica nova (ângulo) ao centro e imagem SAM das telhas de cerâmica velha (ângulo).

As telhas de cerâmica nova foram identificadas entre os ângulos 0,0510 e 0,0800 rad. As telhas de cerâmica velha foram identificadas entre os ângulos 0,0600

e 0,1000 rad. (Figura 4.41). As telhas de cerâmica nova apresentam forte confusão com a quadra de saibro e as telhas de cerâmica velha apresentam forte confusão com solo exposto.

A brita calcária foi adequadamente identificada até 0,0250 rad., mas sendo um material com alta reflectância, apresenta forte confusão com concreto (Figura 4.42), onde a imagem B mostra a confusão das jazidas do cemitério com algumas áreas de solo exposto de tonalidade clara.

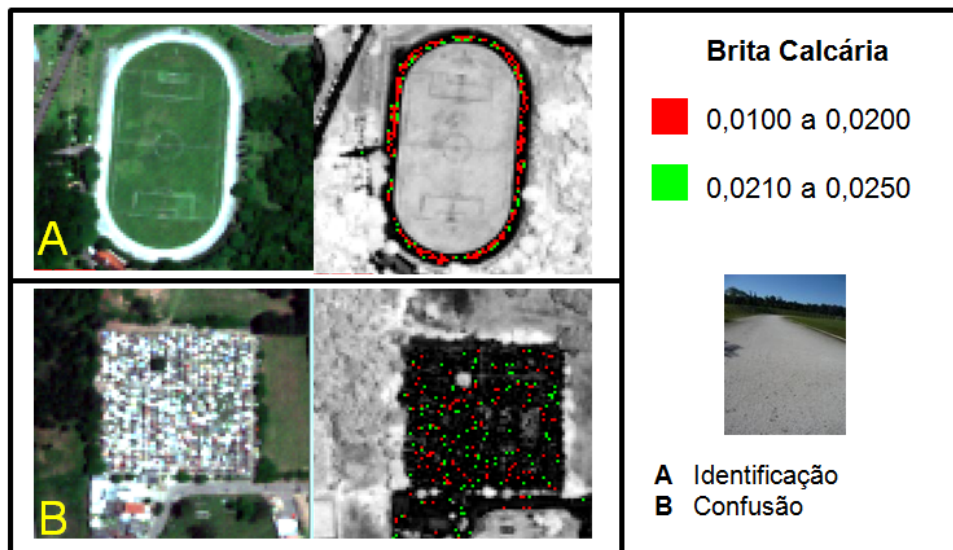


Figura 4.42. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para uma pista com brita calcária.

O concreto é um dos materiais mais comuns em um ambiente urbano, sendo utilizado para calçamentos de pedestre, de veículos em forma de blocos pré-moldados o com a superfície lisa, assim como para a cobertura de tetos externos de edificações e telhas. A exposição a fatores ambientais, afeta a superfície do concreto e pode mostrar uma aparência brilhante, opaca e até escura pela abundante presença de líquens. Ante a impossibilidade de conhecer com precisão o tempo de fabricação das superfícies encontradas e considerando as dificuldades do classificador para selecionar os alvos identificados dentro de uma mesma classe, tentou-se a discriminação no processo de classificação segundo: a aparência nova

ou envelhecida, superfícies de cobertura do teto de edificações e blocos pré-moldados com aparência nova ou envelhecida.

Os blocos de concreto pré-moldados novos e antigos embora fossem identificados em intervalos de valores angulares semelhantes, os blocos de concreto antigos, que mostram uma tonalidade cinza mais escuro foram identificados até 0,0250 rad. e os blocos de concreto novos com uma tonalidade cinza clara foram identificados até 0,0300 rad. Nas imagens 1 e 2 da Figura 4.43 e as correspondentes imagens A e B, o quadro rosa apresenta as identificações corretas das superfícies com blocos de concreto e o quadro amarelo mostra a confusão com telhas metálicas e asfalto com poeira na superfície.



Figura 4.43 Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para blocos de concreto pré-moldados antigos e novos.

Os alvos classificados como teto de concreto, telhas de concreto, concreto novo e velho, e mostram uma faixa de valores angulares comum entre 0,0350 e 0,0450 rad., mas podem ser discriminados entre eles. Na imagem 4.44 o concreto novo de superfície lisa que se observa com tonalidades brancas, foi identificado até 0,0450 rad., por enquanto o concreto velho com uma tonalidade cinza escura foi identificado até 0,0500 rad. Na imagem 4.44, a Figura 1 e 2, na imagem A e B mostra a identificação de alvos com concreto novo ou velho (quadro rosa). A imagem A1 mostra a confusão com telhas de cor clara, telhas metálicas, e calçamento de rocha irregular com poeira na superfície e a imagem B1 mostra a confusão com asfalto velho (quadro amarelo). A imagem A2 identifica um telhado de concreto velho (quadro rosa). A imagem B2 identifica uma cobertura de concreto velho (quadro rosa) e confusão com calçamento de paralelepípedo e telhas de amianto velho (quadro amarelo).

Na imagem 4.45 os tetos de concreto de superfície lisa que se observa com tonalidades brancas foram identificados até 0,0600 rad. As telhas de concreto foram identificadas até 0,0700 rad. As imagens A1, A2 e B2 das Figuras 1 e 2 mostram a identificação dos alvos (quadro rosa). A imagem B2 da Figura 2 mostra confusão com telhas de cor clara, telhas metálicas, e calçamento de paralelepípedo e rocha irregular com poeira na superfície. A imagem B1 da Figura 1 mostra confusão com asfalto e calçadas de concreto. As telhas de concreto apresentaram confusão em alguns casos com solo exposto, possivelmente pela semelhança das cores laranja-avermelhadas. (quadro amarelo B2).

Os materiais de concreto de forma geral apresentaram confusão com telhas de cor clara, telhas metálicas, telhas de amianto velho, asfalto e calçamento de paralelepípedo e rocha irregular com poeira na superfície, assim como com algumas calçadas de concreto velho.

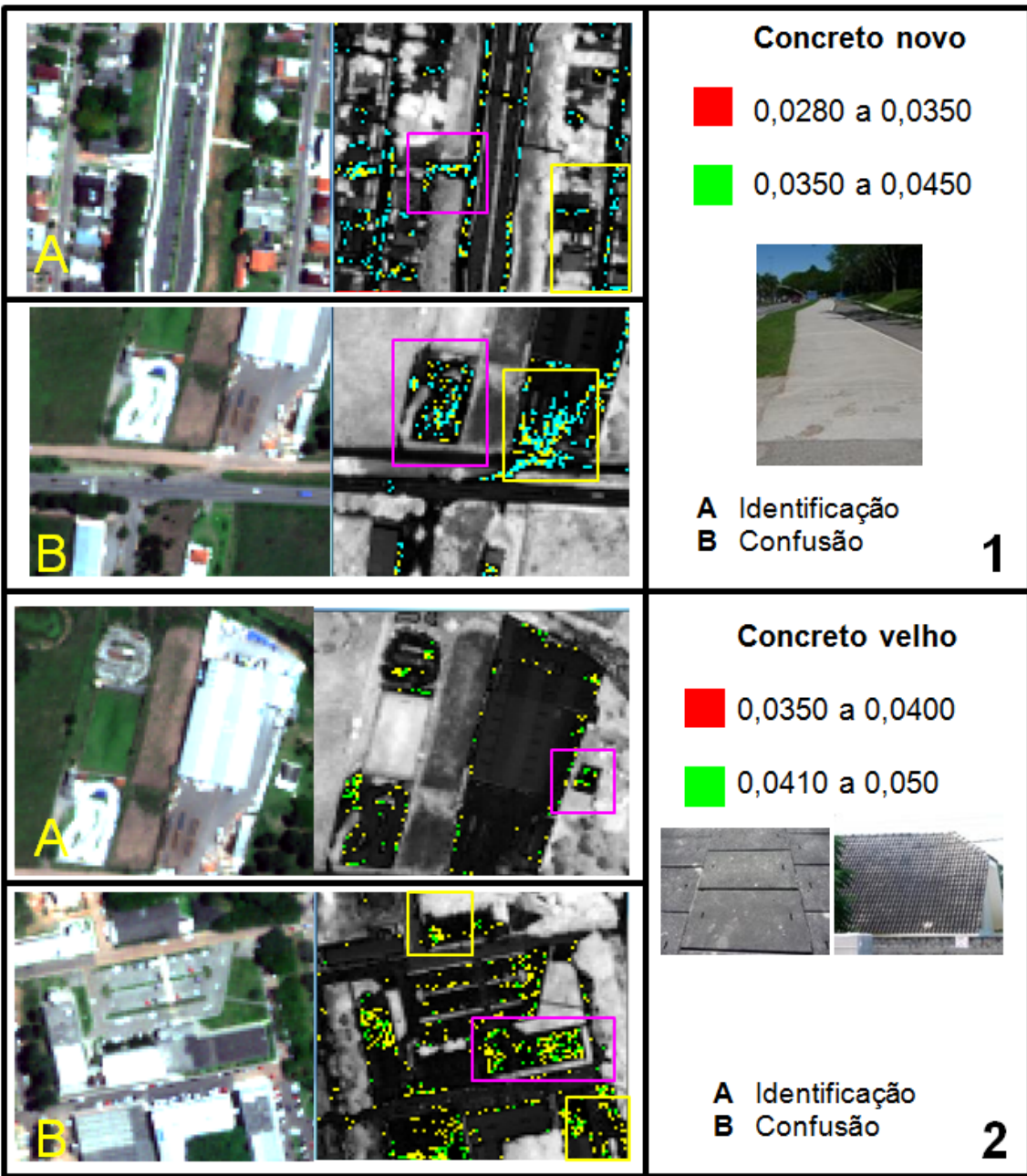


Figura 4.44 Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para concreto novo e velho.

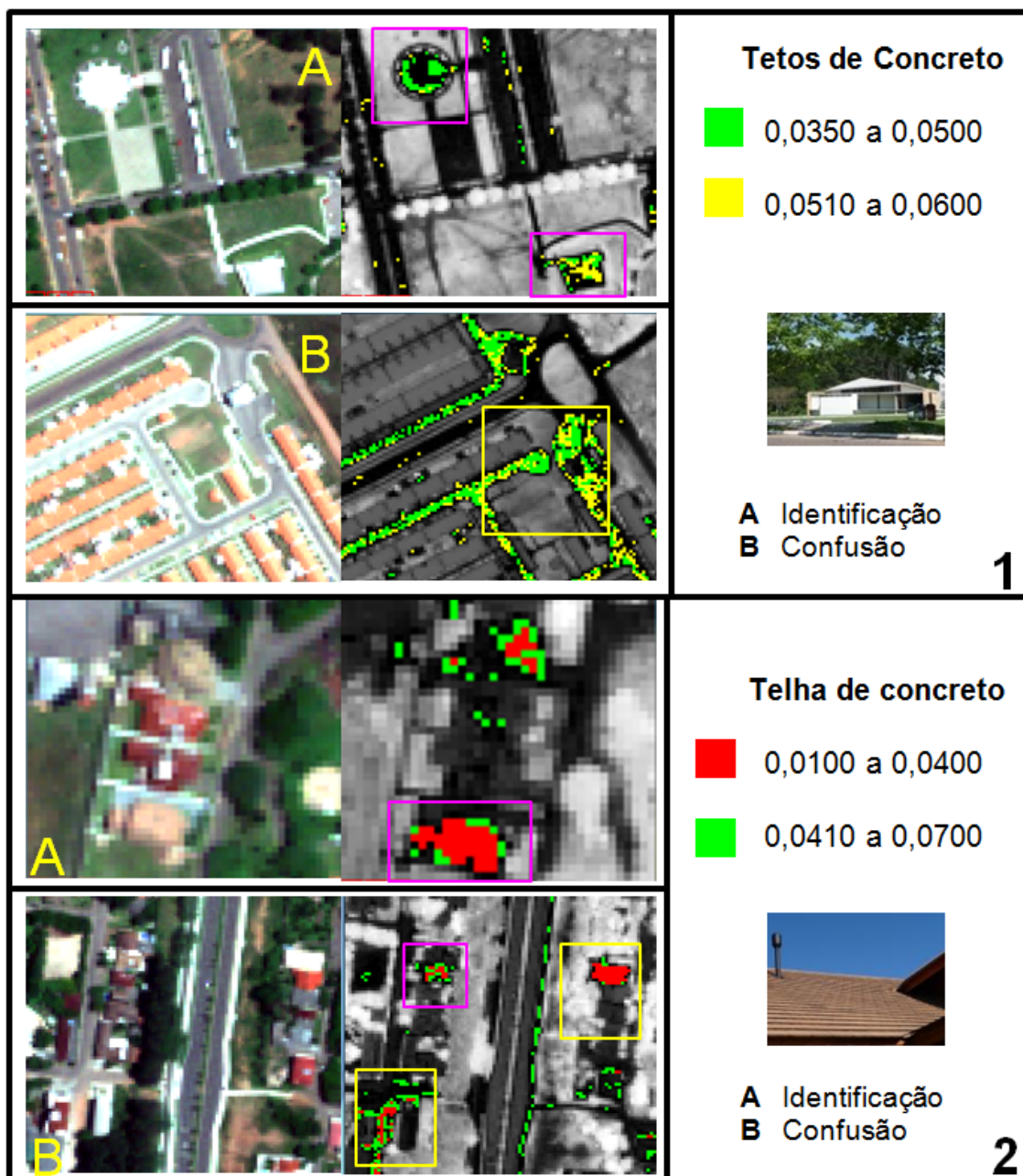


Figura 4.45 Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para tetos de concreto e telha de concreto.

As telhas metálicas são utilizadas principalmente para coberturas de áreas industriais ou uso comercial, além de coberturas de moradias em menor proporção. Foram identificadas telhas de aço e zinco, apesar de apresentar uma faixa de valores angulares comum entre 0,0100 e 0,0400 rad., foram discriminadas

adequadamente entre si. As telhas de aço foram identificadas até 0,0600 rad., por enquanto o as telhas de zinco foram identificadas até 0,0400 rad. Na Figura 4.46, as imagens A e B mostram a identificação e diferenciação de telhas de aço e zinco em um mesmo local. A imagem B2 mostra a identificação adequada (quadro rosa) e confusão do zinco com asfalto e calçamento de rocha irregular (quadro amarelo).

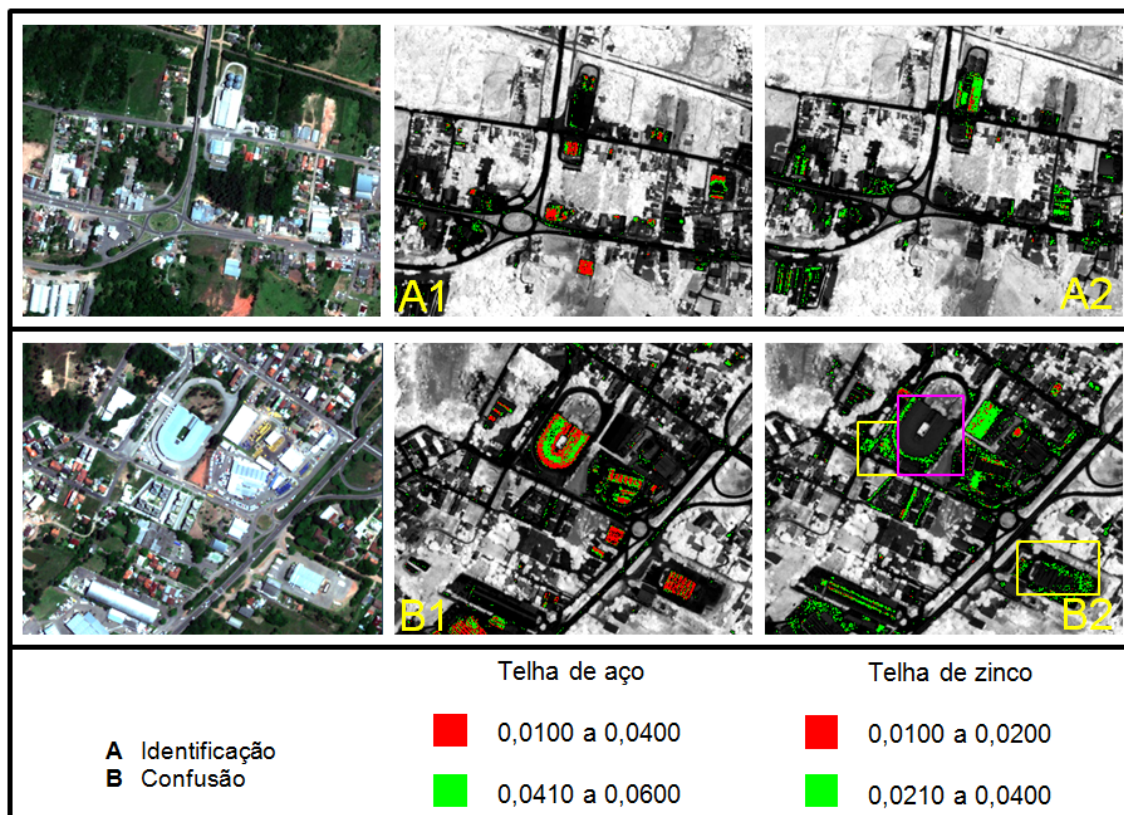


Figura 4.46. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) ao centro, com os valores angulares correspondentes para telhas de aço e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes a telha de zinco.

Pela alta reflectância das telhas de aço e zinco foi comum a confusão com concreto e asfalto velho, as áreas de sombra dos telhados foi comunmente confundida com asfalto.

Os corpos de água encontrados na área de estudo possuem diferentes proporções de materiais em suspensão e clorofila que causam as variações da cor

observadas na imagem GeoEye-1. Por causa disso foram criadas três classes para os corpos de água: classe A corresponde aos corpos de tonalidades mais escuras, classe B aqueles com água de uma cor verde marrom e classe C aqueles com água de uma cor mais verde (Figura 4.47).

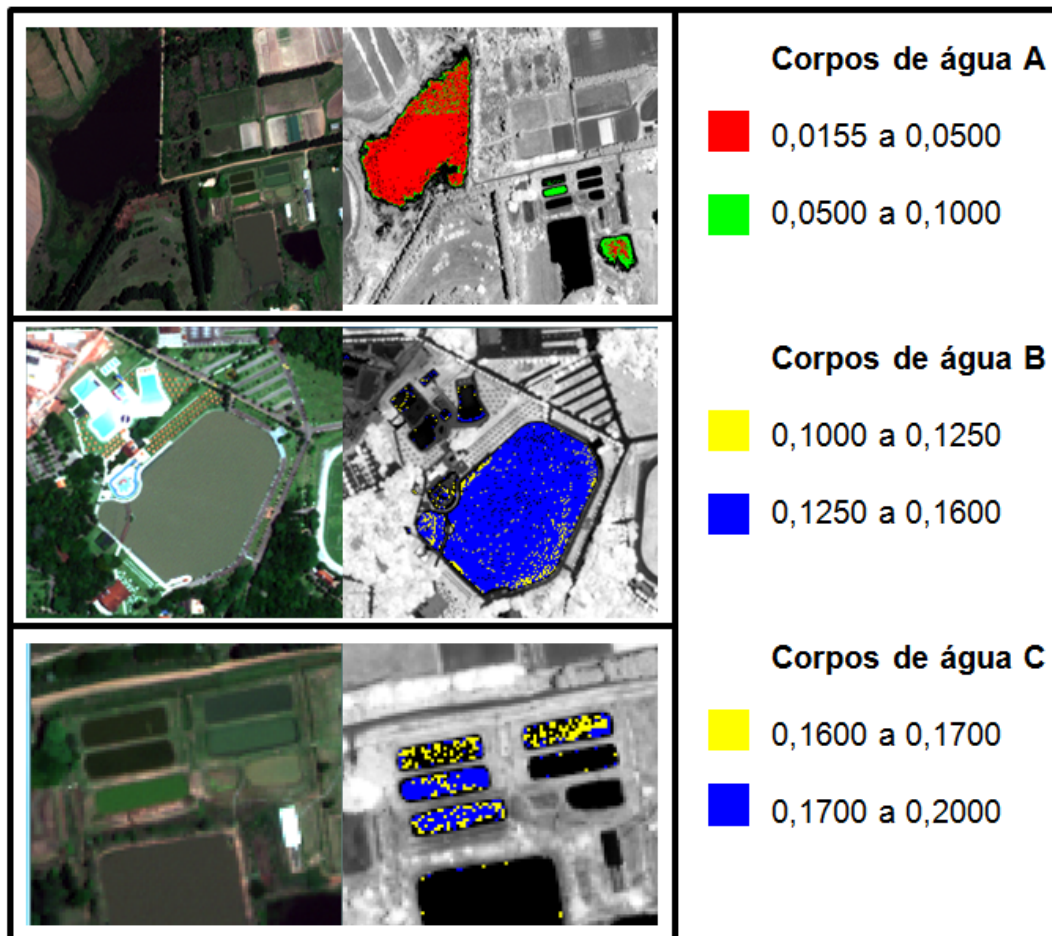


Figura 4.47. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para os corpos de água identificados. As imagens A e C mostram a identificação e diferenciação dos corpos de água de tonalidade marrom e verde.

Os corpos de água A foram identificados entre 0,0155 rad. até 0,1000; os corpos de água B foram identificados entre 0,1000 até 0,1600 rad. e os corpos de água C foram identificados entre 0,1600 até 0,200 rad. (Figura 4.47). Estes corpos de água identificados apresentam maiores valores angulares conforme aumenta a

proporção de materiais em suspensão e clorofila na água e não apresentam uma faixa comum de valores angulares.

No caso das piscinas, a cor dos azulejos, pintura e/ou profundidade dificultou a discriminação, mas foram identificadas entre 0,0376 até 0,1800 rad. (Figura 4.48), incluindo piscinas menores localizadas em residências e piscinas maiores localizadas em clubes. Algumas piscinas com pouca profundidade com pintura clara foram identificadas a partir dos 0,1000, mas mostraram confusão com telhas metálicas. Algumas piscinas de maior profundidade e de aparência azul - verde foram identificadas a partir dos 0,1500 e apresentaram confusão com os corpos de água B e C.

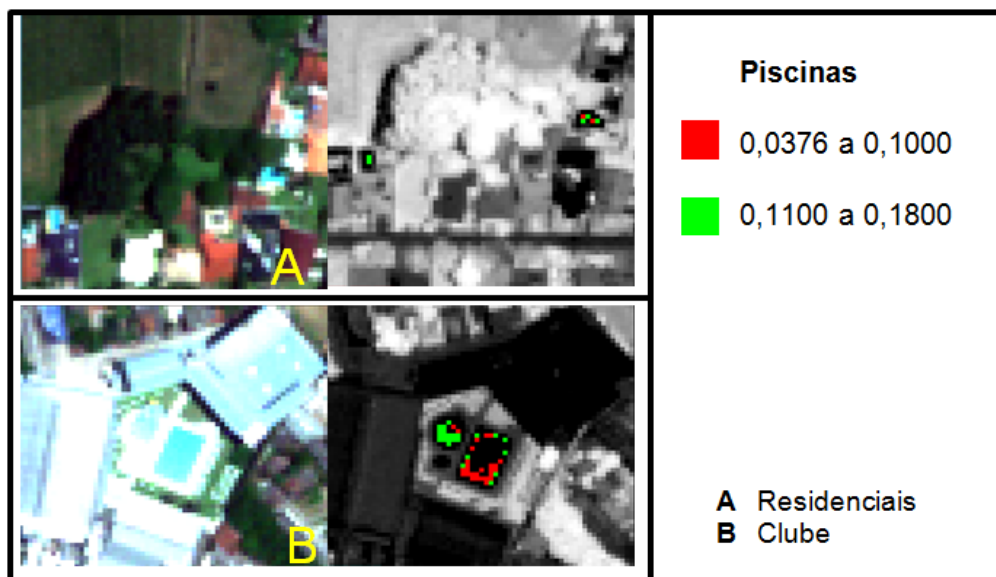


Figura 4.48. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para as piscinas identificadas. As imagens A e B mostram a identificação das piscinas residenciais e localizadas em clubes respectivamente.

As lonas de PVC embora não foi um alvo comumente encontrado, foram identificadas aquelas que correspondem à cor azul entre 0,0200 até 0,1300 rad. Na Figura 4.49, a imagem A mostra a identificação das lonas (quadro rosa) e a imagem B mostra a confusão com vagões do trem pintados de azul que geralmente são metálicos (quadro amarelo). Neste caso a resposta espectral tem relação com a cor

do material, o que pode explicar a confusão com alvos pintados de azul ou branco sejam de metal, cerâmica ou concreto.

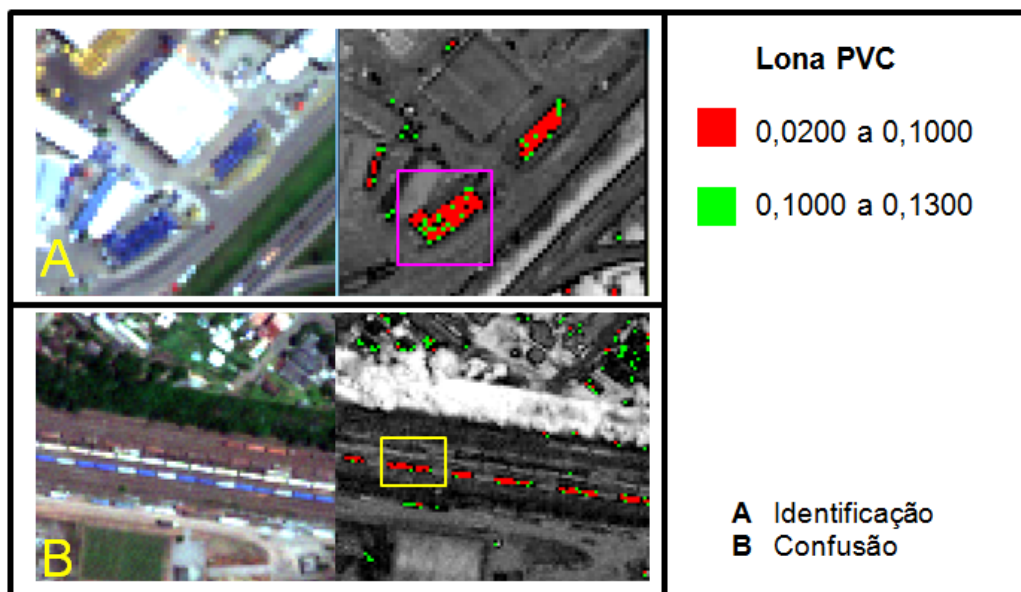


Figura 4.49. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para lonas de PVC identificadas.

A grama é uma cobertura natural vegetal que forma parte do ambiente urbano ao igual do que a vegetação arbustiva. As áreas com cobertura de grama foram identificadas entre 0,1000 até 0,0350 rad., enquanto as áreas com vegetação arbustiva foram identificadas entre 0,0018 até 0,1500 rad. Foi possível separar a grama da vegetação arbustiva, como se pode observar nas Figuras 4.50-1 e 4.50-2, além de ter sido dos elementos que não apresentaram confusão com outros alvos urbanos. A Figura 4.25-2B mostra como o classificador identifica e separa as concentrações das árvores dentro da rede urbana da cidade. A Figura 4.50-1B mostra total discriminação da grama natural com relação à grama sintética.

A grama sintética é fabricada com materiais derivados de plásticos e polímeros com a função de simular seu congênere natural. No espectro visível é observada de uma cor verde semelhante à grama natural, mas espectralmente é

bem discriminada pelo classificador. Como a cor da grama tem sua origem em pigmentos artificiais, observou-se confusão com telhados com pigmentos verdes.

Algumas áreas com cobertura de grama sintética foram identificadas entre 0,1000 até 0,0300 rad. e outras áreas entre 0,0450 até 0,0700 rad. A diferença entre as áreas pode ser explicada pelas variações das tonalidades de verde, tempo de uso e a presença de sujeira na superfície da grama. Na Figura 4.51, a imagem A mostra a adequada discriminação entre uma quadra de grama natural y uma sintética. A imagem B mostra a confusão com telhados com pigmentos verdes (quadro amarelo).

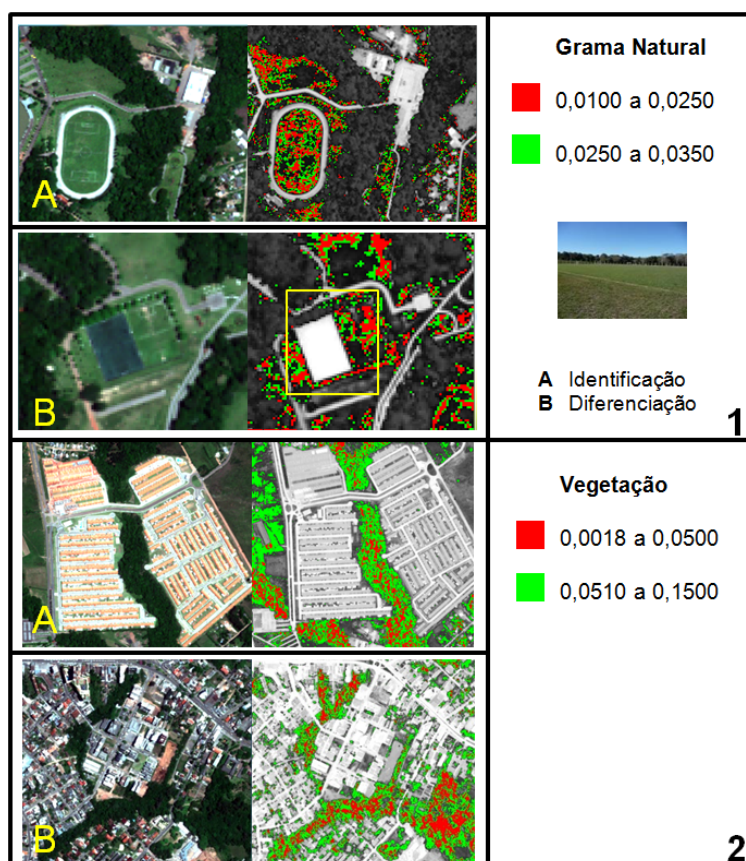


Figura 4.50. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para grama natural (Figura 4.50-1A e 4.50-1B) e vegetação (Figura 4.50-2A e 4.50-2B). A imagem 4.50-1B mostra a discriminação com uma quadra de grama sintética (quadro amarelo).

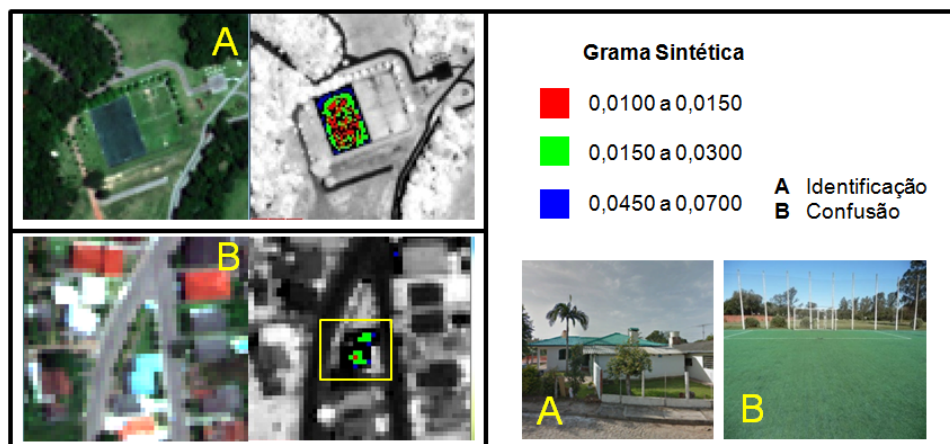


Figura 4.51. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda e imagem SAM (ângulo) à direita, com os valores angulares correspondentes para grama sintética.

A matriz de confusão aplicada aos resultados da classificação apresenta as porcentagens de confusão entre os alvos (Tabela 4.3), contribuindo com uma explicação quantitativa à apreciação qualitativa e de interpretação visual com informação de campo descrita anteriormente e aportando algumas relações entre os alvos.

Com relação aos telhados identificados tais como zinco, aço e amianto, foi identificada confusão das áreas menos iluminadas com outros alvos de tonalidades semelhantes. Para melhorar a discriminação dos alvos incluiu-se a classe sombra correspondente a cada um destes telhados. No caso dos telhados de amianto e aço as porcentagens de confusão entre o alvo e sombra não foram considerados confusão.

As telhas de amianto mostram um 43,3 % de acerto na classificação contra um 25,3 % de confusão com concreto velho. As telhas de ardósia apresentaram um 18,5 % de acerto na classificação contra um 25,9 % de confusão tanto com o calçamento de rocha irregular preto e a telha *shingle A*.

As telhas de ardósia não foram comuns na área de estudo, mas aquelas encontradas têm uma superfície com sujeira provavelmente similar a que possuem calçamento de rocha irregular preto e a telha *shingle A*. Este aspecto pode ter relação com a resposta espectral da telha e sua confusão com outros alvos cuja superfície encontra-se em estado semelhante.

Legenda da matriz de confusão a partir da classificação da imagem GeoEye-1

1	Telha de amianto	19	Tetos de concreto
2	Telha de amianto (sombra)	20	Telha de zinco
3	Telha de ardósia	21	Concreto
4	Asfalto	22	Concreto novo
5	Bloco de concreto pré-moldado antigo	23	Estrada de terra
6	Bloco de concreto pré-moldado novo	24	Calçada de paralelepípedo rosa
7	Brita calcária	25	Quadra de saibro
8	Brita	26	Telha <i>shingle</i> B
9	Concreto velho	27	Piscinas moradias
10	Gramma natural	28	Lagoas C
11	Gramma sintética	29	Lagoas B
12	Lagoas A	30	Telhas de Aço
13	Lona de PVC azul	31	Telhas de Aço (sombra)
14	Piscinas clubes	32	Telhas de concreto
15	Calçada de rocha irregular preto	33	Telha de cerâmica nova
16	Calçada de paralelepípedo preto	34	Vegetação
17	Telha <i>shingle</i> A	35	Telha de cerâmica velha
18	Solo Exposto	36	Telha de cerâmica velha (sombra)

Tabela 4.3. Matriz de confusão a partir da classificação da imagem GeoEye-1 (em porcentagem)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
1	36	13,3	0	0	0	0	0	17	0,99	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,6	
2	32	43,3	11,1	0	0	0	0	3,39	9,9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,3
3	4	6,67	18,5	0,88	0	0	0	0	29,7	0	0	0	0	0	0	20,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,33	0	0	0	4,35	5	0	0	0	2	0	0
4	0	0	3,7	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,35	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	
5	0	0	0	0,44	47	5,56	0	6,78	0	0	0	0	0	0	8,57	3	0	0	0	2,65	0	0	1	0	4,35	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	35	26,7	0	0	0	0	0	0	0	0	5,71	1	0	0	2,94	7,41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	2,67	0	0	0	0	1,11	94,6	10,2	7,92	0	0	0	0	0	8,57	0	0	0	0	0,53	14,9	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	1,11	5,36	45,8	0	0	0	0	0	0	1	0	2,53	0	0	16,8	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,6	
9	25,3	36,7	11,1	0	0	0	0	5,08	34,7	0	0	0	0	0	13	4,17	0	0	0	0	0	0	0	0	4,35	3,33	0	0	0	0	10	0	0	3	0	1,3	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19,5	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,33	0	14,3	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	3,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31,6	2,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0	0	25,9	18,4	0	0	0	0	9,9	0	6,85	47,4	32,6	17,1	59	4,17	0	0	0	0	0	0	0	0	8,7	50	7,21	29,5	0	13	0	0	0	1	0	0	
16	0	0	0	3,07	18	1,11	0	1,69	4,95	0	0	0	0	0	20	19	4,17	0	0	0	0	0	0	0	4,35	0	5,86	0	0	0	5	0	0	0	0	0	
17	0	0	25,9	1,32	0	0	0	0	0,99	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36,7	0	0	0	0	27,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,09	10,4	
19	0	0	0	0	0	12,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	8,99	19,8	0	0	0	0	0	0	9,38	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	38,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20,6	53,4	0	0	0	0	0	0	0	7,81	0	0	0	0	0	4	0	0	
21	0	0	0	0	0	10	1,69	0,99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,88	20,1	25,7	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,27	0	0	0	0	0	62,4	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	1,14	7,79	
23	0	0	0	0	0	0	8,47	0	9,02	0	0	15,8	0	2,86	0	0	3,48	2,94	0,53	17,8	3,55	83	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	21,9	0	20,5	10,4	
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87,5	0	0	0	0	0	0	5,08	0	0	12,5	3,9	0	
25	0	0	0	32,9	0	3,33	0	0	0	0	0	0	0	37,1	2	41,7	0	0	1,06	0	0	0	0	0	73,9	0	0	7,81	2,17	0	0	0	17	0	0		
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,85	0	9,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,67	18,9	56,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,26	0	0	0	0	0	0	4,23	0	0	0	0	0	0	5,86	0	57,8	47,8	0	0	0	18	0	0	0	
30	0	0	0	3,51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,56	13	0	0	0	0	9	0	0		
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17,7	0	4,95	4,96	1	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0		
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94,4	0	0	11,4	0	0	
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58,6	0	0	0	0	
34	0	0	0	0,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,06	0	0	0	0	0	0	0	15,6	19,6	0	0	0	0	40	0	0		
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,58	0	0	0	1,42	0	2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,51	0	0	40,9	15,6	
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,55	44,2	
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Porcentagem de correspondência das classes Porcentagem de confusão com outros alvos

O asfalto mostra um 39% de acerto na classificação contra um 32,9 % de confusão com *shingle* B. Neste caso a confusão pode ser explicada porque o material de base das telhas *shingle* é asfalto. Também observa-se um 18,4% de confusão com o calçamento de rocha irregular.

Os blocos de concreto pré-moldado antigo mostram um 47% de acerto contra um 35% de confusão com os blocos de concreto pré-moldados novos y 16% de confusão com o calçamento de paralelepípedo preto. Este aspecto pode ser explicado pela mesma natureza do material que constitui o concreto e pela sujeira na superfície do concreto envelhecido. Os blocos de concreto pré-moldado novo mostram um 26,7% de acerto contra um 38,9% de confusão com telhas de zinco, isto tem relação com a alta reflectância que estes alvos de tonalidades claras têm.

A brita calcária mostra 94,6% de acerto, por enquanto a brita normal mostra 45,8% de acerto contra 17% de confusão com amianto e 10,2% de confusão com concreto velho. A sujeira e/ou presença de pó de brita sobre a superfície do concreto e amianto escurece a superfície destes materiais em tonalidades semelhantes a correspondentes a brita, isto pode explicar a confusão.

O concreto velho mostra 34,7% de acerto contra 29,7% de confusão com ardósia e 9,9% de confusão com o calçamento de rocha irregular.

A grama sintética atingiu o 100 % de identificação, mas a análise qualitativa demonstrou que existe confusão com telhados de cor verde, é provável que o classificador não encontrasse erros por causa do pigmento verde, de composição artificial similar nestes objetos além de não serem identificados e separados telhados coloridos neste trabalho.

As lagoas mostraram as seguintes porcentagens de acerto: "A" 54,8 %, "B" 56,3 % e "C" 62,2 %. Destacam-se confusões entre 14 e 20% para estas classes, devido às diferenças de proporção de sedimentos em suspensão e clorofila em alguns corpos de água. Nas lagoas A e B apresentam confusão com o calçamento de rocha irregular preto entre 6 y 8 %, mas com as lagoas C a porcentagem sobe até 29,5 %. Esta situação pode ter relação com os materiais que cobrem a superfície destes calçamentos, também estão nos solos e estradas próximas as lagoas e são transportados pelo vento e água de chuva.

A lona de PVC azul foi um dos materiais que apresentam uma alta confusão com o calçamento de rocha irregular preto com 47,4 % e calçamento de paralelepípedo rosa com 15,8 %. Apresentou apenas um acerto de 31,6 %, que

pode ser explicado pelo menor tamanho das lonas encontradas na área de estudo e a proximidade aos outros alvos e materiais urbanos. Este resultado pode estar afetado pela mistura espectral dos pixels identificados como lonas de PVC.

As piscinas de clubes mostraram 55,8% de acerto, enquanto as piscinas em moradias mostraram apenas 20 % de acerto, contrastando com uma confusão entre 32 e 50% respectivamente com o calçamento de rocha irregular preto.

No caso das piscinas a cor dos azulejos, pintura e/ou profundidade podem causar variações na resposta espectral que não correspondem com o esperado. No caso das piscinas em moradias, o desenho é menos padronizado, o tamanho é menor e pelo fato de encontrar-se próximo a outros materiais urbanos pode estar afetado pela mistura espectral dos pixels.

Os calçamentos de rocha irregular preto e de paralelepípedo preto são de basalto, a diferença é a forma das rochas e sua configuração no calçamento. Apresentaram apenas entre 17 e 19 % de acerto na classificação e 59% de confusão entre estes calçamentos, resultado que sugere que de alguma forma este tipo de pavimento é diferenciado dos outros alvos. Também mostrou confusão com as telhas *shingle* B, asfalto e concreto velho, o que pode ser explicado pelos baixos valores de reflectância destes materiais e respostas espectrais semelhantes de forma geral.

As telhas *shingle* são fabricadas com uma camada de base asfáltica e compostas minerais granuladas na superfície que proporcionam a coloração das telhas. A telha *shingle* "A" é de tom cinza escuro e mostrou um acerto de 25 %, enquanto a amostra "B" é de tom cinza marrom mais claro mostrou um acerto de 73,9 %. A confusão da telha A com a B teve uma porcentagem de 41,7 % mostra a relação entre os materiais de constituição. Foram observadas porcentagens de confusão próximas aos 5 % com materiais como asfalto, concreto velho e calçamentos de rocha irregular preto.

O solo exposto, estradas de terra, quadra de saibro e telhas de cerâmica são alvos relacionados por uma característica em comum, o conteúdo de minerais de argila. Esta relação explica que as porcentagens de confusão encontram-se concentradas principalmente entre os alvos mencionados.

O solo exposto mostra um 36,7% de acerto contra um 54,4% de confusão com telha de cerâmica velha (sombra). A estrada de terra mostra um 62,4% de acerto contra um 27,7% de confusão com o solo exposto. Neste caso a base da

estrada de terra é o solo característico da área de estudo, mas condicionado para o trânsito de veículos, porém é natural a relativa confusão entre eles. Também o comportamento espectral do solo exposto, estrada de terra e telhas de cerâmica velhas é semelhante.

A quadra de saibro mostra 87,5% de acerto contra 10% de confusão com as telhas de cerâmica nova, enquanto as telhas de cerâmica nova mostra 94,4% de acerto contra 5,08% de confusão com a quadra de saibro. Um dos materiais da superfície da quadra de saibro é pó de telha, porém estes alvos possuem resposta espectral semelhante e foram adequadamente identificados e discriminados.

As telhas de cerâmica velhas e suas áreas de sombra mostraram entre 40 e 44,2 % de acerto contra uma confusão entre 10 e 20,5% com calçamento de paralelepípedo rosa. Apresentaram porcentagens menores de confusão com solo exposto, quadra de saibro e cerâmica nova.

As telhas de concreto identificadas apresentam coloração laranja – marrom – avermelhada causada pelo pigmento aplicado na argamassa da telha, este alvo mostra um 35% de acerto contra um 20% de confusão com as estradas de terra e 20% com o calçamento de paralelepípedo rosa, o que pode ser explicado pela natureza orgânica dos minerais de ferro do pigmento na argamassa e os fatores ambientais que afetam a superfície da telha.

Os tetos de concreto identificados na imagem observam-se brilhantes e com alta reflectância. Estes apresentaram uma forte confusão com o concreto novo e telhas metálicas como zinco e aço, dificultando a discriminação e separabilidade entre estes alvos e com relação a outros. Os tetos de concreto mostraram 50% de acerto, assim como 20,6 % de confusão com telha de zinco e 17,7 % com concreto novo.

O concreto novo apresentou 25,7 % de acerto e confusão distribuída entre: 19,8 % do teto de concreto; 16,8 % de brita e 14,9 % de brita calcária. O teto de concreto e o concreto novo são o mesmo material preparado de forma diferente segundo o uso, mas a mistura com os materiais agregados pode estar mostrando a presença de brita normal e/ou brita calcária.

As telhas de zinco e aço junto com suas respectivas classes de sombras mostram que estes alvos utilizados como cobertura de edificações podem ser discriminados, mas apresentam uma porcentagem de confusão entre eles. No caso das telhas de zinco mostram 53,4 % de acerto contra uma confusão de 20,1 % com

o concreto novo, mas as telhas de zinco (sombra) mostram um acerto de 40 % contra uma confusão de 18 % com o as telhas de aço.

As telhas de aço mostram 57,8 % de acerto e confusão de 15,6 e 19,6 % com telhas de zinco e sombra de telhas de zinco. Merece destaque a confusão das áreas de sombra das telhas de zinco e aço com materiais com base de asfalto como a telha *shingle* B.

A vegetação mostra um 57,8 % de acerto e confusões com o calçamento de paralelepípedo rosa e áreas com grama com 21,9 e 19,5 %, respectivamente. A grama natural mostra um 82,7% de acerto e confusões com o calçamento de paralelepípedo rosa e áreas com grama com 9,02 e 8,27 %, respectivamente. Este comportamento pode estar relacionado com a proximidade destes alvos com vegetação fotossinteticamente ativa, no caso do calçamento rosa é comum a presença de gramíneas entre as juntas dos paralelepípedos.

O resultado da classificação de forma geral teve um desempenho médio, obtendo uma exatidão global de 51,96 %. O valor do coeficiente de *Kappa* como parâmetro de avaliação dos resultados de classificação é de 0,5019, porém a classificação teve uma qualidade boa.

4.5.2 Resultados da classificação SAM na imagem SPOT 5.

Como pode ser observado no exemplo da Figura 4.52, onde um recorte da imagem SPOT 5 é apresentado ao lado da imagem SAM, os telhados de amianto foram identificados na respectiva imagem SAM, com ângulos até 0,0200 rad. Este alvo apresentou valores muito baixos na imagem SAM, confundindo-se com telhas de cerâmica e asfalto.

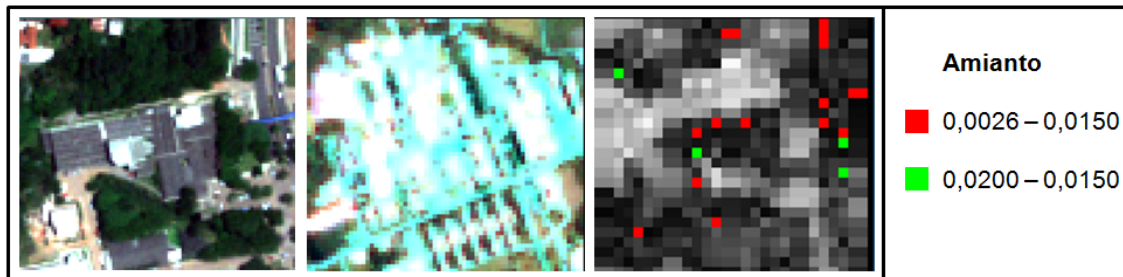


Figura 4.52. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G1-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para telha de amianto.

As ruas de asfalto foram identificadas principalmente com ângulos entre 0,0100 e 0,0300 rad. (Figura 4.53). A identificação mostrou até as características lineares das estradas com este material de pavimentação, só que pela resolução espacial o pixel mistura a resposta da pavimentação com asfalto e a calçada de concreto. Apresentou confusão com calçamento de paralelepípedo preto, alvos da cor cinza, telha metálicas, concreto e em menor grau com telhas de amianto.

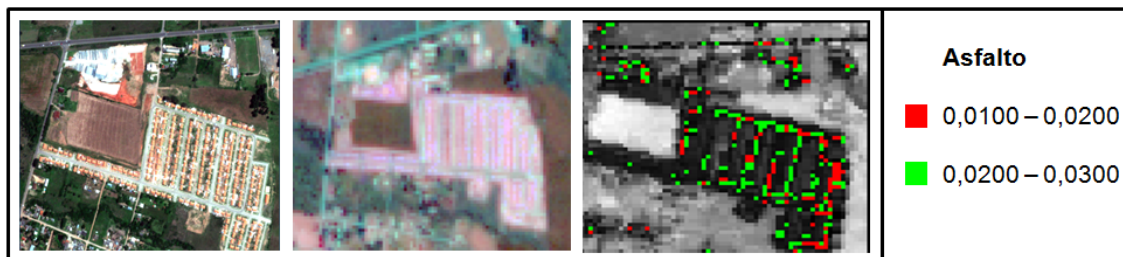


Figura 4.53. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G1-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para asfalto.

O concreto presente em alvos maiores, como por exemplo, construções com cobertura de concreto e calçadas amplas foram identificadas com ângulos entre 0,0250 e 0,0400 rad. (Figura 4.54). Apresentou confusão com calçamento de paralelepípedo rosa, telhas metálicas e áreas cuja superfície esteja com cobertura de poeira.

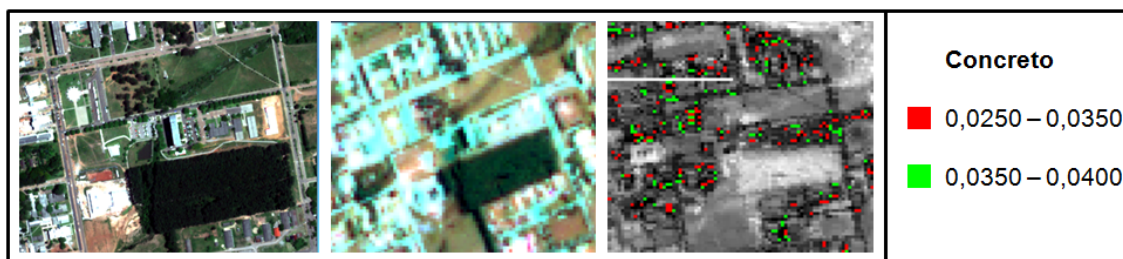


Figura 4.54. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G1-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para concreto.

As telhas metálicas são utilizadas principalmente para coberturas de áreas industriais ou uso comercial, além de coberturas de moradias em menor proporção. Não foi possível discriminar entre telhas de aço e zinco, mas foram identificadas telhas metálicas na faixa de valores angulares entre 0,0020 e 0,0400 rad. (Figura 4.55). Apresentam confusão com solo exposto, telhas de cerâmica novas, telhas de amianto e concreto.

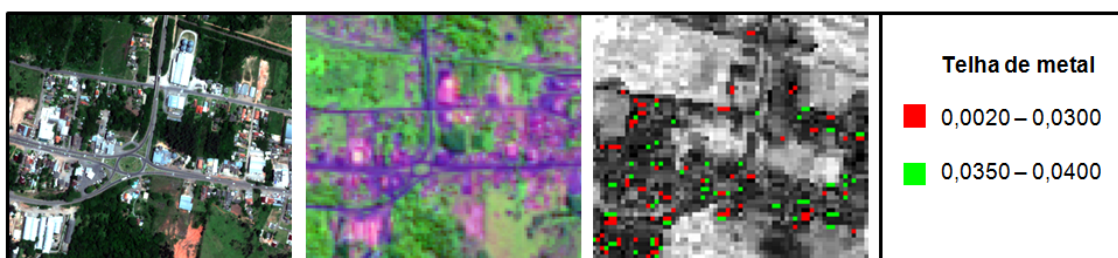


Figura 4.55. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G3-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para telha de metal.

Os corpos de água encontrados na área de estudo possuem diferentes proporções de materiais em suspensão e clorofila que causam as variações da cor observadas na imagem SPOT 5. Puderam ser identificados em uma única faixa de valores angulares entre 0,0100 e 0,1500 rad. (Figura 4.56). Algumas piscinas foram discriminadas pelo classificador, mas nesse caso possivelmente tinham tido

influência fatores como o tamanho, cor e profundidade da piscina. Não apresentam confusão com outros alvos.

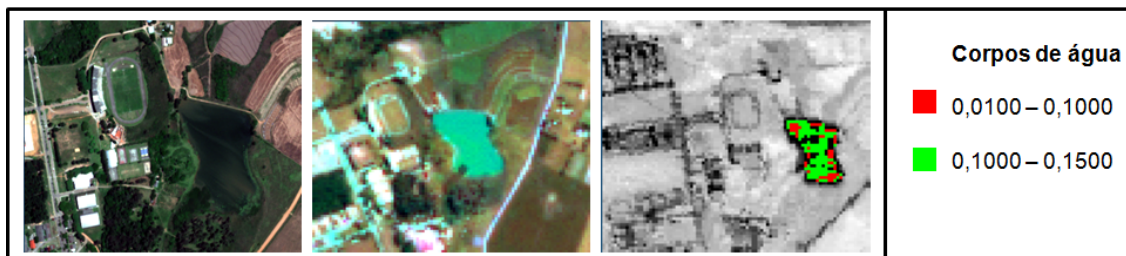


Figura 4.56. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G1-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para corpos de água.

A grama e a vegetação arbustiva são coberturas naturais vegetais que formam parte do ambiente urbano e puderam ser identificadas de forma separada. As áreas com cobertura de grama foram identificadas com ângulos entre 0,0007 até 0,0400 rad. (Figura 4.57). A vegetação arbustiva foi discriminada com ângulos entre 0,1500 até 0,3500 rad.

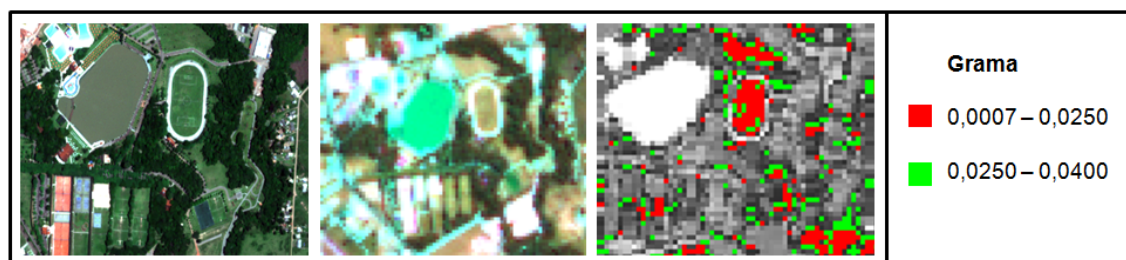


Figura 4.57. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G1-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para grama e separação da vegetação arbustiva.

As estradas de terra e as áreas de solo exposto apresentam uma confusão que pudesse ser considerada natural, já que o material constituinte principal é o solo

presente na área de estudo. Os valores angulares correspondentes a estes alvos encontram-se em uma faixa angular comum entre 0,0100 até 0,0400 rad.

As estradas de terra foram identificadas até o ângulo 0,0400 rad. (Figura 4.58) tendo semelhança com os valores angulares encontrados no solo exposto (Figura 4.59). As estradas de terra apresentam confusão com a calçada de paralelepípedo preto, solo exposto e telhas de cerâmica. Enquanto o solo exposto apresenta confusão com telhado de cerâmica e quadra de saibro.

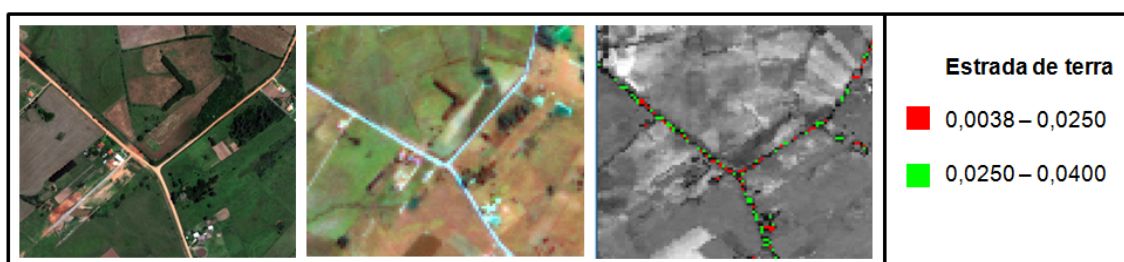


Figura 4.58. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G1-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para estradas de terra.

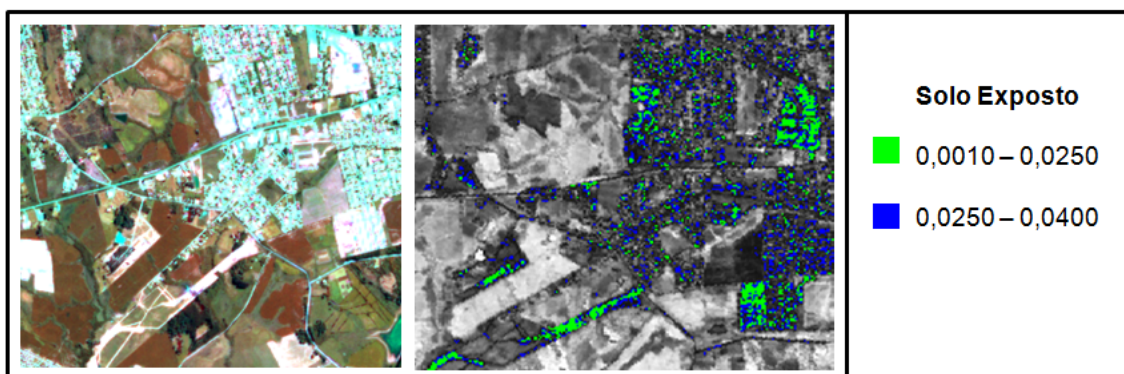


Figura 4.59. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G1-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para solo exposto.

As quadras de saibro utilizadas para jogos de tênis foram identificadas até o ângulo 0,0300 rad. (Figura 4.60). Entre os materiais constituintes estão argila e pó

de telha o que explica a confusão com materiais cujos valores angulares são próximos, tais como solo exposto e telhas de cerâmica.

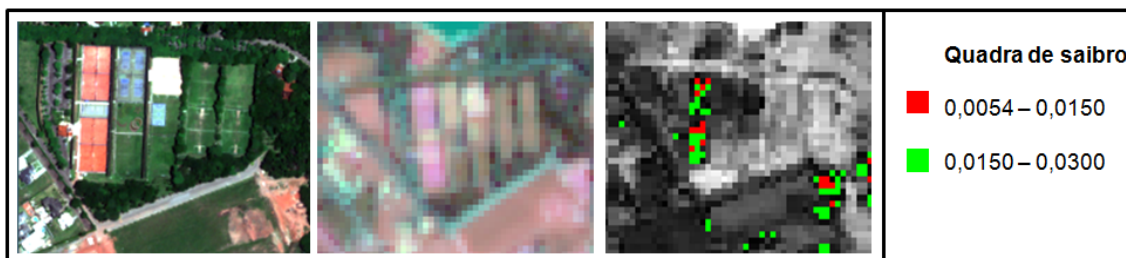


Figura 4.60. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G1-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para quadra de saibro.

As telhas de cerâmica selecionadas para a classificação correspondem a aquelas de cor natural e concentradas em urbanismos. As telhas de cerâmica foram identificadas entre os ângulos 0,0026 até 0,0300 rad. (Figura 4.61) e apresentaram confusão com solo exposto e quadra de saibro.

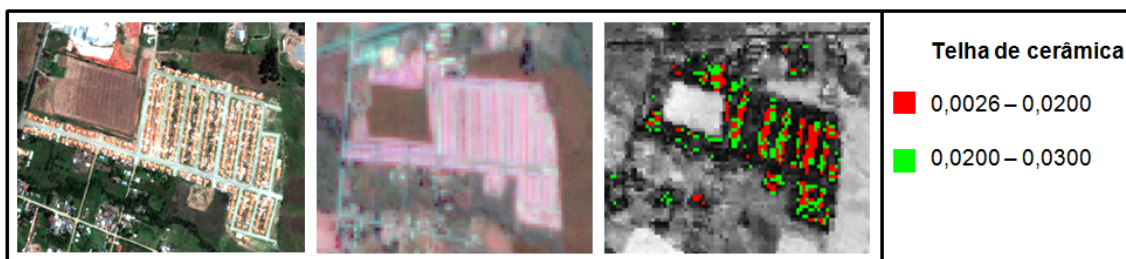


Figura 4.61. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G1-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para telha de cerâmica.

As ruas de calçamento de paralelepípedo preto foram identificadas pobremente com ângulos entre 0,0010 e 0,0230 rad. (Figura 4.62). Em alguns setores da imagem o classificador discriminou do asfalto, no entanto em outras

áreas apresentou confusão com asfalto, concreto e calçamento de paralelepípedo rosa.

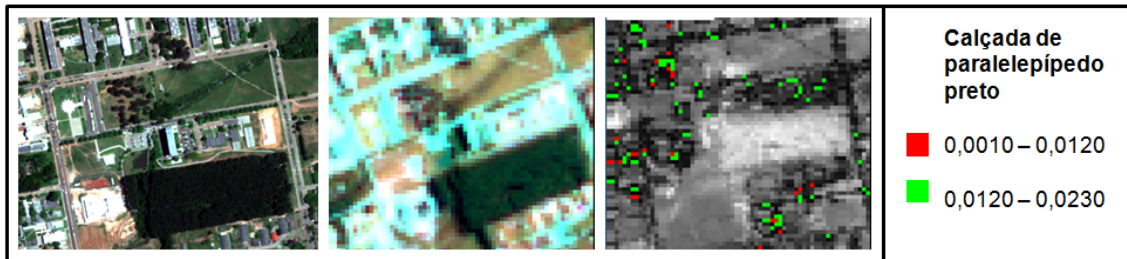


Figura 4.62. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G1-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para calçamento de paralelepípedo preto.

O calçamento de paralelepípedo rosa foi adequadamente identificado até 0,0400 rad. e a classificação mostrou as características lineais das estradas com este material de pavimentação. Foi observada diferenciação parcial do calçamento de paralelepípedo preto (Figura 4.63), sempre que não esteja muito poluído com poeira o material dos solos adjacentes. Apresentou confusão com telhas de amianto e asfalto.

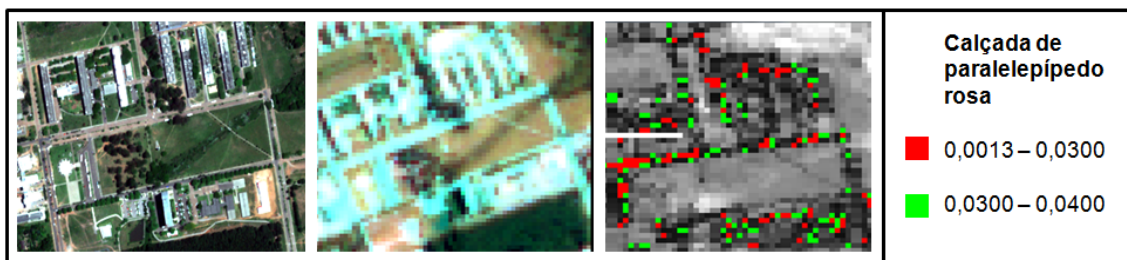


Figura 4.63. Composição colorida GeoEye-1 (R3-G2-B1) a esquerda, composição colorida SPOT 5 (R4-G1-B2) ao centro e imagem SAM (ângulo) a direita, com os valores angulares correspondentes para calçamento de paralelepípedo rosa.

A matriz de confusão (Tabela 4.4) aplicada aos resultados da classificação sobre a imagem SPOT 5 apresenta as porcentagens de confusão entre os alvos, mostrando algumas tendências observadas na imagem GeoEye-1 com relação a algumas relações entre os alvos. A generalização das classes por causa da resolução espacial, além da mistura espectral dos pixels teve como consequência uma discriminação pobre de alguns alvos.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Total
S/C	0	2,56	5,43	5,58	0	0	1,16	0,83	2,44	0	0	0	0	2,38	1,67
1	13,64	6,59	2,17	0	0	0	3,49	0	1,63	0	16,94	1,52	4,76	0	2,88
2	9,09	12,82	14,13	0	0	0	9,3	0	0	0	0	0,51	0	0	3,09
3	15,91	4,76	18,48	0	0	0	24,42	0	0	0	0	0	0	0	2,93
4	0	0	0	94,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,99
5	4,55	1,47	0	0	75,79	0	2,33	0,41	0,81	0	0	3,55	4,76	4,76	4,7
6	0	0	0	0	0	82,37	0	47,72	0	0	0,81	0	0	0	20,28
7	11,36	6,96	1,09	0	0	0	25,58	0	0	9,52	2,42	0	9,52	0	2,83
8	0	0,37	0	0	24,21	17,63	0	51,04	1,63	0	0,81	0	0	0	10,67
9	4,55	20,15	0	0	0	0	6,98	0	73,17	4,76	0,81	1,52	28,57	38,1	9,41
10	0	0	0	0	0	0	0	0	11,38	61,9	12,9	16,75	0	0	3,84
11	4,55	3,3	8,7	0	0	0	2,33	0	0	9,52	46,77	37,56	0	0	7,84
12	11,36	1,1	0	0	0	0	9,3	0	0,81	14,29	16,94	38,58	2,38	0	5,97
13	15,91	19,41	5,43	0	0	0	6,98	0	0,81	0	0,81	0	19,05	19,05	4,5
14	9,09	20,51	44,57	0	0	0	8,14	0	7,32	0	0,81	0	30,95	35,71	7,38
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabela 4.4. Matriz de confusão a partir da classificação da imagem HRG-1/SPOT 5 (em porcentagem).

Legenda matriz de confusão a partir da classificação da imagem SPOT 5

1	Telha de amianto	8	Vegetação
2	Asfalto	9	Estrada de terra
3	Concreto	10	Quadra de saibro
4	Corpos de água	11	Solo Exposto
5	Gramma A	12	Telha de cerâmica
6	Gramma B	13	Calçada de paralelepípedo preto
7	Telhas metálicas	14	Calçada de paralelepípedo rosa

As telhas de amianto apresentaram 13,64 % de acerto e confusões ambos os concreto e calçamentos de paralelepípedo preto com 15,91 %, assim como telhas metálicas com 11,36 %.

O asfalto mostra 12,82 % de acerto e a seguintes porcentagens de confusão: 20,15 % com estradas de terra, 20,51 % com calçamentos de paralelepípedo rosa e 19,41 % com calçamentos de paralelepípedo preto. Esse tipo de confusão pode ser explicado porque o material de base dos calçamentos dos paralelepípedos e as estradas de terra são levados pelos veículos, água e vento ao longo destes tipos de pavimentação.

O concreto mostra 18,48 % de acerto e confusões com os calçamentos de paralelepípedo rosa e asfalto com 44,57 e 14,13 %, respectivamente. As semelhanças com o concreto e o paralelepípedo rosa podem ter relação com o antigo do concreto e a presença de poeira ou sujeira na superfície.

Os corpos de água (naturais e piscinas) mostraram 94,42 % de acerto. Não apresentam confusão com algum outro alvo, apenas um 5,58 % que não foi classificado.

As coberturas naturais de grama e vegetação foram discriminadas dos outros alvos, mostrando confusão entre si. Foram encontradas áreas com concentração de gramíneas maior do que outras, por isso foram criadas duas classes de grama: grama A mostram 75,79 % de acerto e a grama B mostram 82,37 % de acerto.

As confusões com vegetação foram 24,42 % para grama A e 17,63 % para grama B. A vegetação mostra 51,04 % de acerto e confusão com grama B de 47,72 %. Neste caso a mistura espectral influenciou e nem sempre é possível discriminar entre arbustos e gramíneas.

As estradas de terra, quadra de saibro, solo exposto e telhas de cerâmica são alvos relacionados por uma característica em comum, o conteúdo de minerais de argila. Da mesma forma do que a imagem GeoEye-1, as porcentagens de confusão destes alvos se concentram principalmente entre os alvos mencionados.

A estrada de terra mostrou 73,17 % de acerto e 11,38 % de confusão com quadra de saibro. Enquanto a quadra de saibro apresentou 61,9 % de acerto contra um 14,29 % de confusão com a telha de cerâmica. O solo exposto teve 46,77 % de acerto contra 16,94 % de confusão tanto para telhas de cerâmica como para as telhas de amianto.

As telhas de cerâmica mostraram 38,58 % de acerto e confusão de 37,56 % com solo exposto e 16,75 % com a quadra de saibro.

A base da estrada de terra é o solo com conteúdo de argila característico da área de estudo, mas acondicionado para o trânsito de veículos. A superfície da quadra de saibro possui pó de telha. Neste sentido é esperado que o comportamento espectral do solo exposto, estrada de terra, quadra de saibro e telhas de cerâmica velhas seja semelhante.

As telhas metálicas mostraram 25,58 % de acerto e 24,42 % de confusão com concreto. Neste caso destaca que o restante 50 % da classificação apresenta confusão com o resto dos alvos, à exceção dos com corpos de água, grama, vegetação e quadra de saibro.

Os calçamentos de paralelepípedo rosa mostraram 35,71 % e confusão de 38,01 % com estradas de terra e 19,05 % com paralelepípedo preto.

Os calçamentos de paralelepípedo preto mostraram 19,05 % de acerto e confusões de 30,95 % com o paralelepípedo rosa e 28,57 % com as estradas de terra. A resolução espacial da imagem SPOT 5 dificultou a identificação e discriminação deste tipo de pavimentação de forma mais precisa, mas foi possível identificar alguns locais representativos destes materiais.

O resultado da classificação de forma geral teve um desempenho médio, obtendo uma exatidão global de 53,46 %. O valor do coeficiente de Kappa como parâmetro de avaliação dos resultados de classificação é de 0,4869, porém a classificação teve uma qualidade boa.

As matrizes de confusão aplicadas e o valor do coeficiente de Kappa mostram de forma geral uma qualidade boa da classificação nas imagens GeoEye-1 e HRG-1/SPOT 5. Estes parâmetros quantitativos de avaliação da precisão temática estão associados ao desempenho do classificador SAM para discriminar materiais urbanos.

Devido à área de abrangência das imagens e os detalhes da classificação os resultados são mostrados para algumas partes das imagens onde é possível verificar de forma visual a discriminação dos alvos, assim como as confusões.

Na imagem GeoEye-1 observa-se o nível de precisão do classificador para discriminar alguns objetos e padrões em algumas partes da imagem. Alguns exemplos apresentam-se nas Figuras 4.64 e 4.65 seguintes:

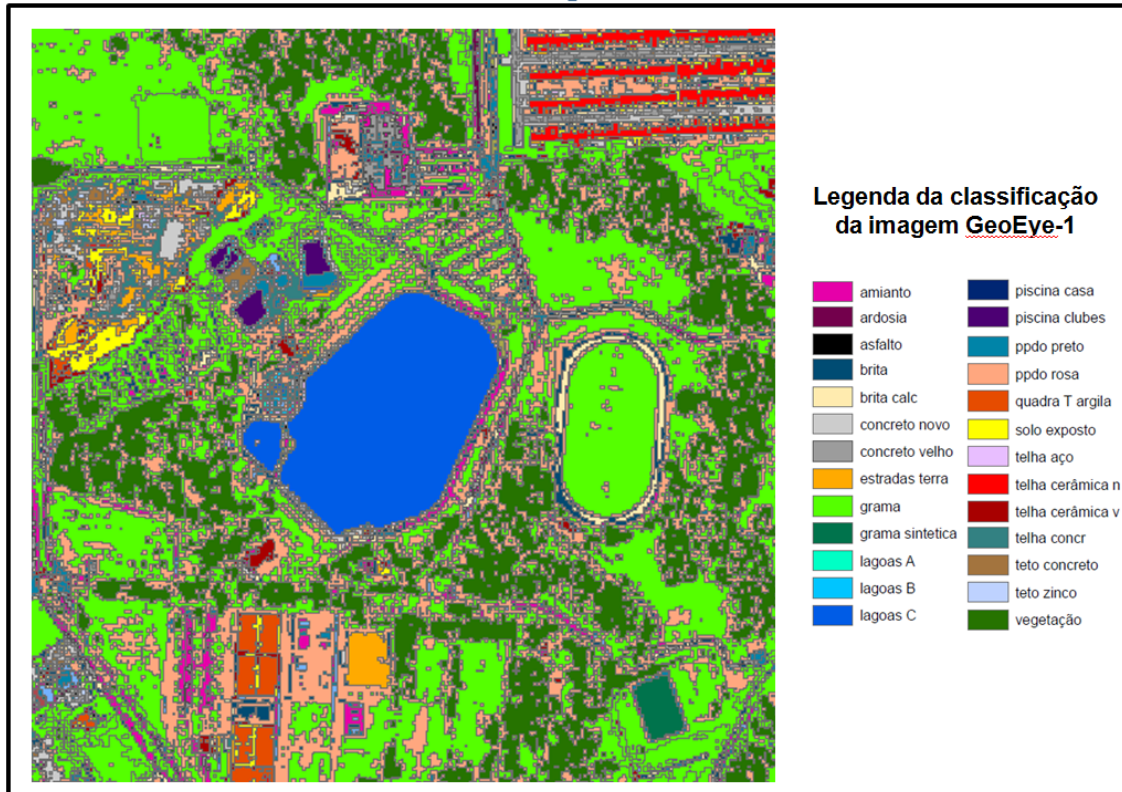


Figura 4.64. Identificação de corpos de água, piscinas, calçamentos de concreto e pedra irregular preto, solo exposto, quadra de tênis e futebol, telhas de cerâmica, grama e vegetação arbórea, aspectos que sugerem que se trata de uma área recreativa.

Considerando os critérios de interpretação visual: contexto, relações de vizinhança, dimensões, forma e textura, assim como a informação obtida em campo, pode-se dizer que a área da Figura 4.64 corresponde com uma área recreativa e a área da Figura 4.65 trata-se de condomínio fechado ou horizontal.

A Figura 4.65 apresenta o mesmo urbanismo, mas observa-se o resultado da aplicação do método com a imagem SPOT 5 (Figura 4.65 B), pouca discriminação de formas e uma grande mistura na resposta espectral dos alvos. Demonstra-se a limitação do sensor desde o ponto de vista espectral e espacial para discriminar padrões de ocupação. As duas imagens utilizadas permitiram discriminar alvos urbanos, mas a confusão entre as classes consideradas foi maior na imagem SPOT 5 do que na imagem GeoEye-1.

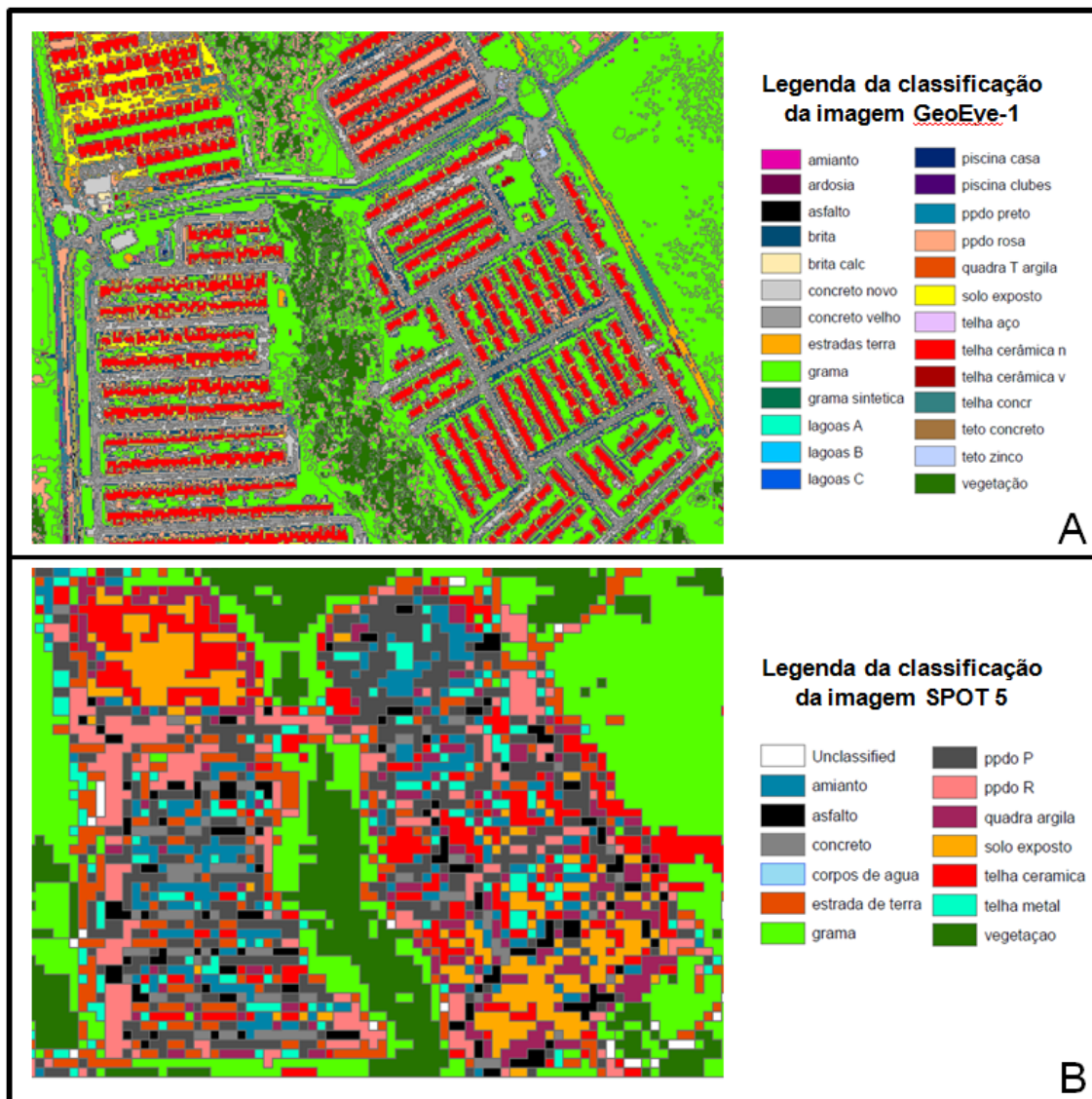


Figura 4.65. Na Figura 4.65- A, a identificação de diversos alvos na imagem GeoEye-1, sugere que se trata de um condomínio fechado ou horizontal. A Figura 4.65 B mostra a mesma área de urbanismo classificada na imagem SPOT 5, apenas foi possível discriminar adequadamente a cobertura natural (vegetação e grama).

Desde o ponto de vista da resolução espectral, os sensores GeoEye-1 e HRG-1/SPOT 5 possuem 4 bandas localizadas quase na mesma faixa espectral, que cobrem regiões grossas do espectro electromagnético se for comparados com sensores hiperespectrais, mas foram úteis para identificar os materiais encontrados na área de estudo.

Esta informação foi verificada com as curvas espectrais obtidas com o espectroradiômetro. Estas curvas permitiram avaliar de uma forma geral a certa correspondência entre os dados da imagem e de campo. Neste sentido estabeleceu-se o maior potencial dos dados hiperespectrais do que os multiespectrais para identificar de forma detalhada os diversos materiais urbanos.

A comparação entre os resultados da classificação não é direta. O Resultado apresenta o impacto de resoluções sub-métricas (GeoEye-1 = 1,60 m) e métricas (*HRG-1/SPOT 5* = 10 m) na classificação da área urbana. As diferenças da resolução espacial dos sensores permitem distinguir os resultados da classificação observados na Figura 4.65 e porque o número de classes consideradas na aplicação da técnica *SAM* não foram as mesmas para as duas imagens. Neste caso a resolução espacial da imagem GeoEye-1 permitiu discriminar de forma mais eficiente um padrão de ocupação do que a imagem *HRG-1/SPOT 5*.

Na Figura 4.65 B correspondente a classificação resultante da imagem *HRG-1/SPOT 5*, observou-se pouca discriminação de formas e uma grande mistura na resposta espectral dos alvos, apenas foi possível discriminar adequadamente a vegetação e grama. Outra forma de explicar a diferença entre os resultados é com o seguinte exemplo, os telhados de casas em uma imagem *HRG-1/SPOT 5* podem formar parte de um pixel de 10 m, enquanto vários pixels de 1,60 m de uma imagem GeoEye-1 podem conformar um telhado.

A pesar das limitações de resolução espectral das imagens pode-se considerar um resultado positivo o caso da imagem GeoEye -1, já que permitiu obter uma aproximação sobre um padrão de ocupação urbana que proporciona dados sobre uso e cobertura da terra.

4.6 Reamostragem das bandas espectrais

A reamostragem dos espectros medidos em campo e os associados às imagens GeoEye-1 e *HRG-1/SPOT 5* teve como finalidade observar a influência da resolução espectral sobre a discriminação dos alvos urbanos. Desta forma foi possível avaliar a precisão da classificação obtida para aquelas classes nas quais foi possível comparar as respostas espectrais em um mesmo local, tanto na imagem

como em campo, sendo considerada a média dos espectros associados a cada alvo urbano.

Dependendo do alvo a confusão entre os espectros torna-se mais evidente, quanto mais é degradada resolução espectral do sensor. Com este processo de reamostragem diminui-se o número de canais, porém aumenta a largura espectral e reduz-se a possibilidade de identificação e discriminação entre espectros.

Este impacto foi observado com o processo de reamostragem dos espectros obtidos em campo para simulação dos sensores GeoEye-1 e *HRG-1/SPOT 5*. Este processo possibilitou a relativa discriminação entre os espectros já que seu formato geral é preservado, embora o aumento da largura de bandas influencie a capacidade de identificação do material do alvo, em virtude da redução de detalhes.

No processo de reamostragem foram consideradas as regiões espectrais *VIS* e *NIR* considerando a Funções de Resposta Espectral (FRE) correspondentes para os sensores do GeoEye-1 (350 - 1000 nm) e SPOT 5 (450 - 950 nm), que são abrangidas pelo espectrorradiômetro (350 - 1045 nm). A imagem *HRG-1/SPOT 5* possui uma banda na região *SWIR*, mas não foi utilizada na reamostragem porque as faixas espectrais da imagem GeoEye-1 e do espectrorradiômetro não a possuem.

4.6.1 Reamostragem espectral para simulação do sensor GeoEye-1.

Analisando qualitativamente as Figuras 4.66 até 4.68 associadas aos alvos selecionados na imagem GeoEye-1 e as medições espectrorradiométricas de campo que cumpriam com a mesma localização espacial, fica evidente que a informação espectral dos alvos mostrada pelos sensores multiespectrais perde todo o refinamento da largura de bandas, mas foi possível identificar alguns padrões comuns entre materiais assim como algumas diferenças.

A Figura 4.66 corresponde a alvos que naturalmente possuem um baixo albedo e comportamento espectral sem variações expressivas ao longo da região do espectro *VIS* e *NIR*. A posição das curvas espectrais em termos de amplitude de reflectância absoluta encontram-se na mesma grandeza tanto na imagem como nas medições de campo, o que mostra que o baixo albedo é consistente nas fontes de dados.

Os padrões das curvas na Figura 4.66 apresentam algumas diferenças, por exemplo, a brita mostra um comportamento crescente, proporcional em ambos gráficos, mas a partir dos 650 nm o comportamento é inverso. A telha de amianto mostra diferenças em ambos gráficos na banda azul e logo o comportamento é crescente é até relativamente na mesma proporção com relação aos valores de reflectância. A telha *shingle* e o calçamento de paralelepípedo preto e de pedra irregular apresentam variação na banda azul e um comportamento inverso a partir dos 650 nm na imagem e nas medições de campo.

A Figura 4.67 corresponde a alvos que naturalmente possuem um alto albedo em condições que não estejam com muita poeira e/ou sujeira na superfície, sendo o comportamento espectral em alguns casos com variações expressivas ao longo da região do espectro *VIS* e *NIR*. A posição das curvas espectrais em termos de reflectância é semelhante na imagem e nas medições de campo, com exceção do teto de concreto considerado limpo e o teto de concreto sujo, cujas mudanças de reflectância variam em proporções diferentes e amplas com relação aos outros alvos.

Os padrões das curvas na Figura 4.67-A mostram algumas diferenças, por exemplo, a telha de concreto, calçada de concreto e calçamento de paralelepípedo rosa mostram um comportamento crescente, proporcional nas Figuras 4.67-A e 4.67-B, a partir dos 650 nm o comportamento muda e a reflectância aumenta na imagem e diminui segundo as medições espectrorradiométricas .

As amostras de teto de concreto, brita calcária e bloco de concreto pré-moldado mostram em ambos gráficos com relação a posição e forma, um comportamento semelhante mas as variações de reflectância não são proporcionais.

O teto de concreto sujo tem um comportamento similar aos alvos previamente descritos, apenas com uma diferença na banda azul da imagem (Figura 4.67-B)

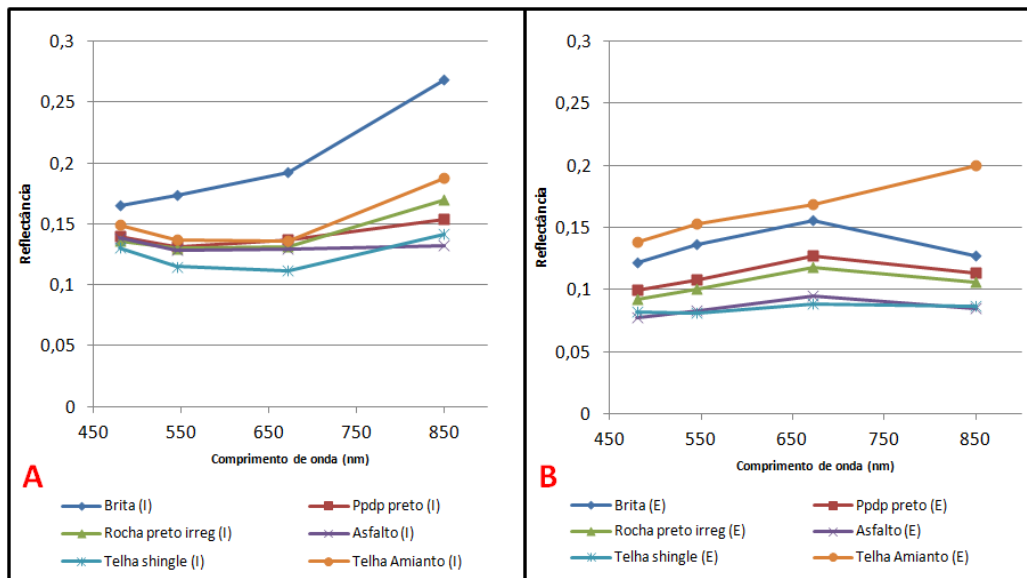


Figura 4.66. Reamostragem dos espectros obtidos em campo para simulação espectral do sensor GeoEye-1. A Figura 4.66-A corresponde às curvas espectrais dos alvos na imagem e a Figura 4.66-B correspondem às curvas espectrais obtidas com o espectroradiômetro. Os alvos considerados são: Brita, Calçamento de paralelepípedo e rocha irregular preta, Asfalto, Telha *shingle* e de amianto velho.

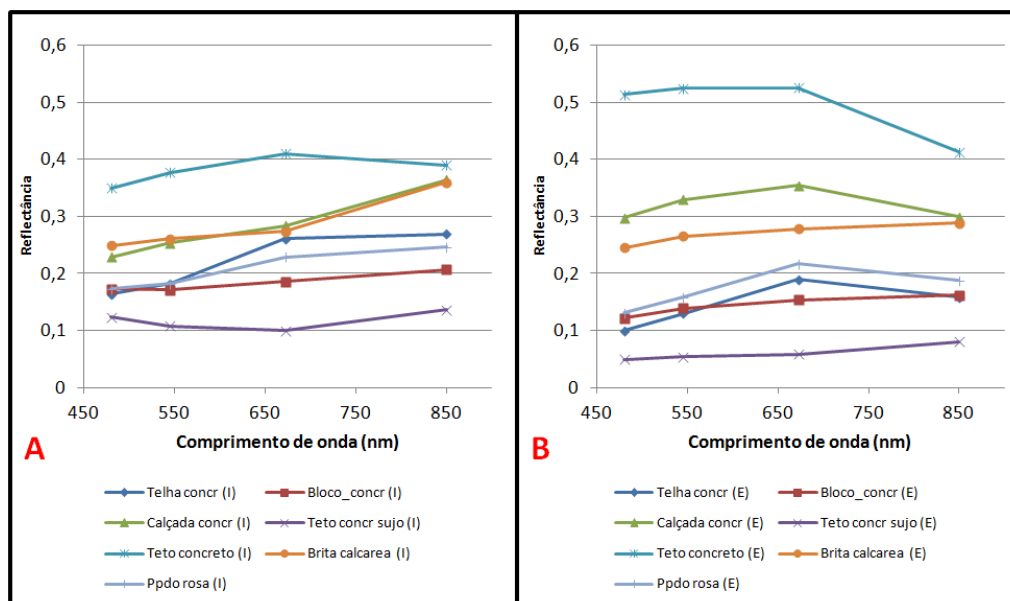


Figura 4.67. Reamostragem dos espectros obtidos em campo para simulação espectral do sensor GeoEye-1. A Figura 4.67-A corresponde às curvas espectrais dos alvos na imagem e a Figura 4.67-B corresponde às curvas espectrais obtidas com o espectroradiômetro. Os alvos considerados são concreto, calçamento de paralelepípedo rosa e brita calcária.

A Brita calcária mostra um comportamento crescente, proporcional em ambos gráficos no VIS, a partir da banda vermelha a reflectância aumenta na imagem mas não de forma proporcional.

A Figura 4.68 corresponde a alvos cuja variação de albedo coincide com os padrões e descrições na literatura, neste caso o comportamento espectral apresenta variações expressivas ao longo da região do espectro VIS e NIR. A posição e forma das curvas espectrais são de forma geral semelhantes na imagem e nas medições de campo, embora em termos de grandeza de reflectância absoluta sejam diferentes, um exemplo disso são a quadra de saibro seca e a grama natural que atingem valores máximos de reflectância próximos a 45%, enquanto nas medições de campo os valores estiveram na ordem de 25%.

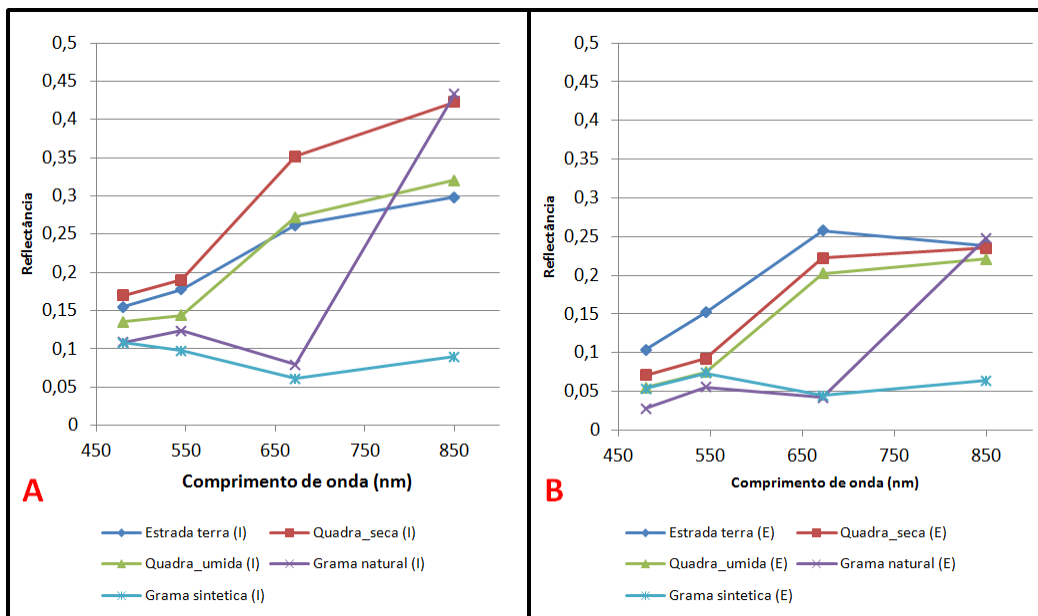


Figura 4.68. Reamostragem dos espectros obtidos em campo para simulação espectral do sensor GeoEye-1. A Figura 4.68-A corresponde às curvas espectrais dos alvos na imagem e a Figura 4.68-B corresponde às curvas espectrais obtidas com o espectroradiômetro. Os alvos considerados são estradas de terra, quadra de saibro (seca e úmida), grama natural e sintética.

A grama natural mostrou o comportamento associado à vegetação, que foi o esperado. A grama sintética apenas mostra diferenças na banda azul da imagem, mas mantém o comportamento espectral que a diferença da grama natural na região

do *NIR*. A estrada de terra mostra um aumento da reflectância quase linear na Figura 4.68-B e diminui levemente no *NIR*, por enquanto a variação na Figura 4.68-A é marcada em cada banda e aumenta conforme aumenta o comprimento de onda.

Merece destaque o comportamento espectral das estradas de terra e quadras de saibro em estado seco e úmido nas regiões espectrais *VIS* e *NIR* na Figura 4.68-B, as curvas espectrais mostram um padrão de resposta espectral semelhante e associado à presença de minerais de ferro, embora as medições originais destes alvos fossem realizadas gerando dados espectrais detalhados com o espectrorradiômetro, os alvos passam a ser diferenciados por pequenas diferenças de magnitude, porém, são susceptíveis a aspectos condicionantes do alvo no momento das medições o que causa confusão espectral.

4.6.2 Reamostragem espectral para simulação do sensor *HRG-1/SPOT 5*.

Analisando qualitativamente as Figuras 4.69 até 4.71, associadas aos alvos selecionados na imagem *SPOT 5* e as medições espectrorradiométricas de campo, com todo e a perda de todo o refinamento da largura de bandas, a resolução espacial menor do que imagem *GeoEye-1*, a mistura espectral e a dificuldade de achar alvos cumpriram com a mesma localização espacial, foi possível identificar alguns padrões comuns entre materiais assim como algumas diferenças.

Os intervalos de valores de reflectância da imagem e do espectrorradiômetro associados aos alvos objeto de estudo não coincidem, indicando que a amplitude de reflectância absoluta não se encontra na mesma grandeza o que permite fazer alguma comparação pela forma da curva que descreve o comportamento espectral de cada alvo. Isto pode ser explicado pela resolução espacial e espectral que incide na poluição espectral dos pixels da imagem *SPOT 5*, que afeta a resposta espectral dos alvos, mais ainda quando são de menor tamanho. Também foi observado que a ausência da banda azul não prejudica a discriminação entre os espectros simulados.

A Figura 4.69 corresponde a alvos que naturalmente possuem um baixo albedo, mas neste caso foram observadas algumas variações expressivas ao longo da região do espectro *VIS* e *NIR* da imagem (Figura 4.69-B), enquanto nas medições espectrorradiométricas apenas mostram aumento da reflectância

conforme aumenta o comprimento de onda. A forma das curvas espectrais em termos de reflectância é relativamente semelhante na imagem e nas medições de campo, o que mostra que o baixo albedo é consistente nas fontes de dados, mas as magnitudes de reflectância absoluta não encontram-se na mesma grandeza, porém não se acertam na mesma proporção.

O calçamento de rocha irregular preto mostra variações expressivas no *VIS* e *NIR* na imagem (Figura 4.69-B), enquanto nas medições espectrorradiométricas tem um comportamento constante na banda vermelha e infravermelha (Figura 4.69-A).

As telhas de amianto velho mostram albedos notavelmente maior nas medições espectrorradiométrica do que na imagem (Figura 4.69).

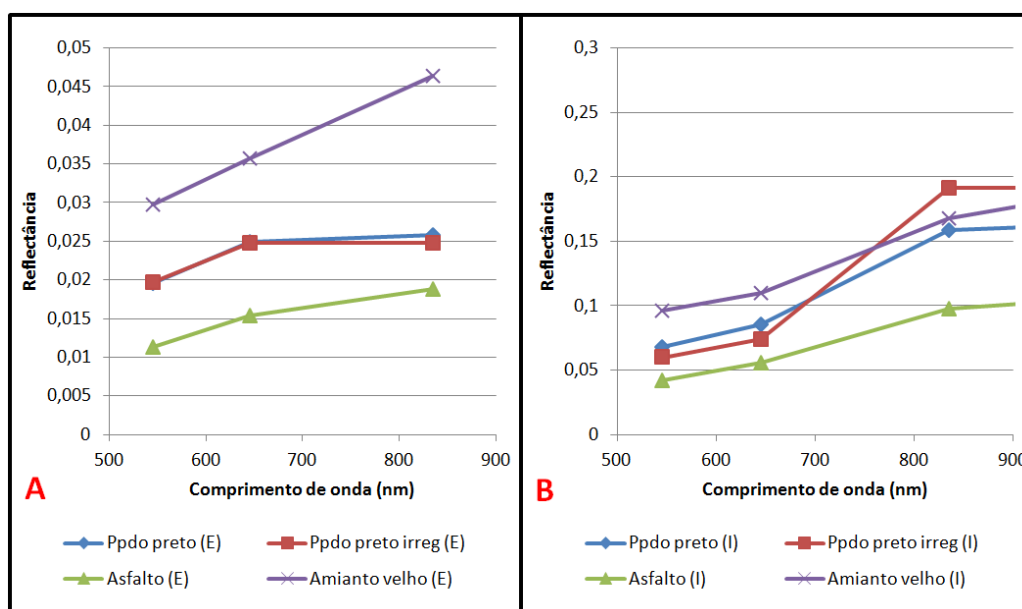


Figura 4.69. Reamostragem dos espectros obtidos em campo para simulação espectral do sensor *HRG-1/SPOT 5*. A Figura 4.69-A corresponde às curvas espectrais dos alvos na imagem e a Figura 4.69-B corresponde às curvas espectrais obtidas com o espectrorradiômetro. Os alvos considerados são: Calçamento de paralelepípedo e rocha irregular preto, asfalto e telhas de amianto velho.

Alvos tais como asfalto, calçamento de paralelepípedo e de rocha irregular preto tanto na imagem como nas medições espectrorradiométricas, passam a ser diferenciados por pequenas diferenças de magnitude, porém, são susceptíveis a aspectos condicionantes do alvo no momento das medições o que causa confusão espectral.

A Figura 4.70 corresponde a alvos que naturalmente possuem um alto albedo apresentando em alguns casos variações expressivas ao longo da região do espectro *VIS* e *NIR* da imagem, enquanto nas medições espectrorradiométricas apenas mostram aumento da reflectância conforme aumenta o comprimento de onda. A forma das curvas espectrais em termos de reflectância é relativamente semelhante na imagem e nas medições de campo, mas não se acertam na mesma proporção.

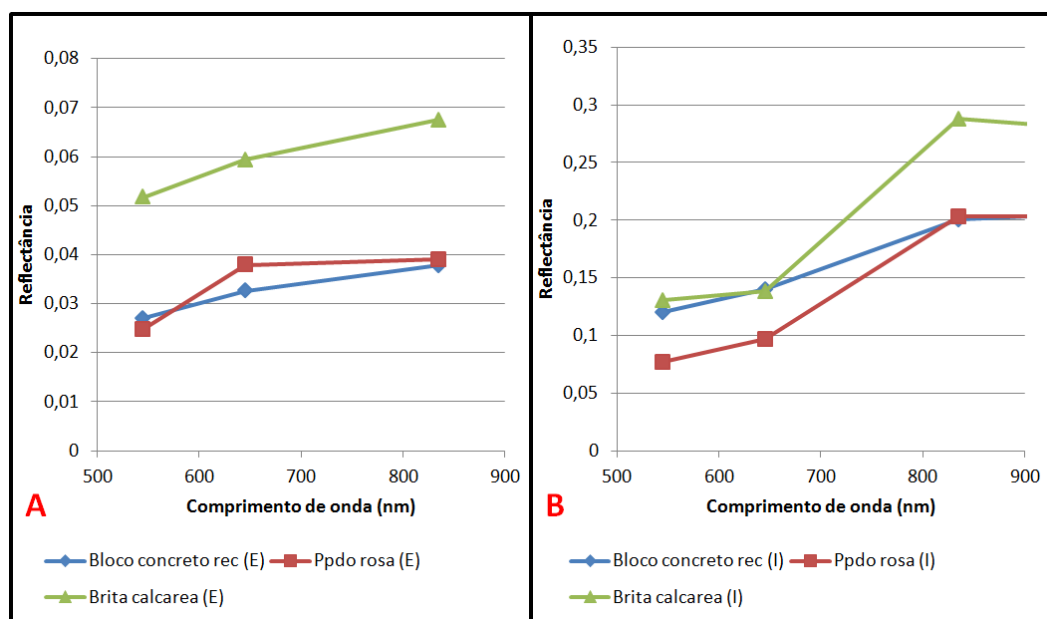


Figura 4.70. Reamostragem dos espectros obtidos em campo para simulação espectral do sensor *HRG-1/SPOT 5*. A Figura 4.70-A corresponde às curvas espectrais dos alvos na imagem e a Figura 4.70-B corresponde às curvas espectrais obtidas com o espectroradiômetro. Os alvos considerados são: Concreto, Calçamento de paralelepípedo rosa, asfalto e brita calcária.

A brita calcária mostra um albedo notavelmente maior nas medições espectrorradiométrica do que na imagem. O bloco de concreto⁸ e a brita calcária mostram uns comportamentos bem próximos e semelhantes na banda verde na imagem (Figura 4.70-B), a partir da banda vermelho muda a forma da curva

⁸ Na imagem SPOT 5 não foi possível discriminar entre varias formas de concreto, mas no local de onde foi possível comparar a resposta espectral do concreto da imagem e as medições obtidas com o espectro radiômetro, a forma do concreto corresponde a blocos de concreto pré-moldados.

permitindo a diferenciação. No caso do calçamento de paralelepípedo rosa e o bloco de concreto mostram comportamentos bem próximos no *VIS* e *NIR* (Figura 4.70-A), mas na imagem mostram esse comportamento só a partir do *NIR* (Figura 4.70-B).

A Figura 4.71 apresenta alvos cuja variação de albedo coincide com os padrões e descrições na literatura, neste caso o comportamento espectral apresenta algumas variações expressivas ao longo da região do espectro *VIS* e *NIR*. A posição e forma das curvas espectrais de forma geral em termos de reflectância são semelhantes na imagem e nas medições de campo, embora não variem na mesma proporção.

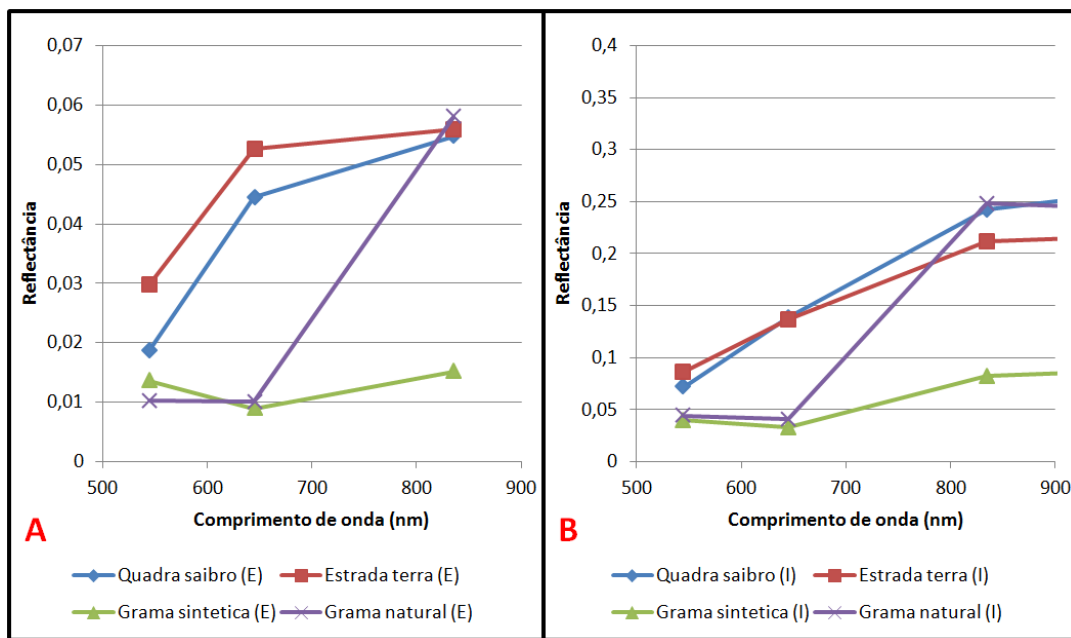


Figura 4.71. Reamostragem dos espectros obtidos em campo para simulação espectral do sensor *HRG-1/SPOT 5*. A Figura 4.71-A corresponde às curvas espectrais dos alvos na imagem e a Figura 4.71-B corresponde às curvas espectrais obtidas com o espectroradiômetro. Os alvos considerados são: Quadra de saibro, Estrada de terra, Grama natural e sintética.

A quadra de saibro⁹ e a estrada de terra mostram variação de reflectância a partir da banda vermelha nas medições espectrorradiométricas (Figura 4.71-A), enquanto na imagem a variação se observa a partir do *NIR* (Figura 4.71-B).

A grama natural e a sintética apresentam um padrão semelhante, que é consistente nas medições radiométricas e na imagem, alias permite discriminá-las entre si (Figura 4.71).

Para corroborar as informações descritivas associadas à reamostragem espectral para simulação dos sensores GeoEye-1 e *HRG-1/SPOT 5*, uma análise de correlação foi realizada entre os valores de reflectância média das curvas espectrais obtidas com o espectrorradiômetro reamostradas de acordo com a abrangência espectral dos sensores GeoEye-1 e *HRG-1/SPOT 5*, com as curvas de reflectância média dos alvos nas imagens.

A Tabela 4.5, apresenta os valores de coeficientes de correlação entre os alvos urbanos selecionados para cada um dos sensores GeoEye-1 e *HRG-1/SPOT 5*. Como resultado da reamostragem o número de amostras reduziu-se podendo não mostrar que efetivamente existe uma correlação entre os valores de reflectância de um mesmo alvo, mas medido por dos sensores diferentes. Para verificar esta condição foi aplicado um teste de hipóteses para avaliar a significância do coeficiente de correlação calculado.

No caso da imagem GeoEye-1, o coeficiente de correlação mostrou algumas correlações muito fortes (Telhas de concreto, estradas de terra, quadra de saibro seca e úmida, grama natural) e outras fracas (calçadas de concreto, tetos de concreto, brita, calçamentos de paralelepípedo e rocha preto, asfalto, telha *shingle*). Neste sentido as telhas de concreto, estrada de terra, quadra de saibro seca - úmida e grama natural mostraram uma correlação significativa.

No caso da imagem *HRG-1/SPOT 5* embora o coeficiente de correlação mostrou uma forte correlação para todos os valores de reflectância comparados, apenas os correspondentes as telhas de amianto e grama natural apresentam uma correlação significativa.

Embora alguns alvos urbanos atingiram valores de correlação muito altos, apenas a grama natural mostrou correlação significativa tanto na imagem GeoEye-1

⁹ Na imagem SPOT 5 não foi possível discriminar entre as quadras de saibro seca ou úmida, mas no local de onde foi possível comparar a resposta espectral do concreto da imagem e as medições obtidas com o espectro radiômetro, corresponde à localização da quadra de saibro e foi escolhida a curva espectral associada ao alvo em estado seco.

como na *HRG-1/SPOT 5*, o resto de alvos deram uma correlação significativa para uma das imagens mas não para a outra. Isto pode ser explicado pelo fato da grama natural, ser um alvo com uma característica espectral bem definida e diferenciada dos alvos urbanos, enquanto o resto dos alvos alguns apresentam respostas espectrais semelhantes que podem gerar confusão entre as classes.

Tabela 4.5. Coeficientes de correlação (r) associados às amostras medidas com o espectrorradiômetro e as imagens GeoEye-1 e *HRG-1/SPOT 5*. Em negrito os alvos com correlação significativa.

Espectrorradiômetro vs Imagem GeoEye-1		Espectrorradiômetro vs Imagem <i>HRG-1/SPOT 5</i>	
Alvos	r	Alvos	r
Telha de concreto	0,903		
Bloco de concreto pré-moldado	0,844	Bloco de concreto pré-moldado	0,953
Calçada de concreto	-0,150		
Teto concreto sujo	0,624		
Teto de concreto	-0,120		
Brita calcária	0,808	Brita calcária (E)	0,894
Calçada paralelepípedo rosa	0,838	Calçada paralelepípedo rosa	0,677
Estrada terra	0,936	Estrada terra	0,867
Quadra de saibro seca	0,983	Quadra de saibro seca	0,933
Quadra de saibro úmida	0,990		
Brita	-0,128		
Calçada paralelepípedo preto	0,054	Calçada paralelepípedo preto	0,742
Rocha preto irregular	0,018	Rocha preto irregular	0,586
Asfalto	-0,683	Asfalto	0,944
Telha shingle	0,011		
Telha de amianto velho	0,758	Telha de amianto velho	0,984
Grama natural	0,991	Grama natural	0,999
Grama sintética	0,568	Grama sintética	0,781

No resto das amostras consideradas tanto nas imagens GeoEye-1 como na *HRG-1/SPOT 5* existe correlação, mas nesta avaliação não foi possível mostrar esta associação provavelmente por causa do pequeno número de bandas consideradas, pelas diferenças das condições de aquisição dos dados e/ou estado da superfície dos alvos ao momento das medições, o que poderia ter gerado um valor de coeficiente de correlação (r) casual.

De forma geral o aumento da largura de bandas influencia a capacidade de identificação do material dos alvos, em virtude da redução de detalhes, mas não é o único fator que limita a possibilidade de discriminação entre eles, já que para varias amostras é preservado o formato geral dos espectros. Por isso para a identificação espectral de alvos urbanos, em caráter geral, é importante e necessário o refinamento da largura de bandas e a abrangência da região do *SWIR*, onde alguns destes alvos mostram outras feições que ajudam no processo de discriminação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização integrada de dados obtidos em campo através de medições com o espectrorradiômetro e de imagens de sensoriamento remoto possibilitou atingir o objetivo geral da pesquisa estabelecido: “Caracterizar o comportamento espectral de alvos urbanos obtido a partir de dados espectrorradiométricos de campo e imagens dos sensores GeoEye-1 e HRG-1/SPOT 5 e na área urbana de Santa Maria”.

Em linhas gerais, verificou-se que a maioria das superfícies urbanas é agregada de vários componentes, e as condições de uso da superfície conforme a exposição ao meio ambiente ao longo do tempo, incidem fortemente nas respostas espectrais dos alvos, causando variabilidade espectral em um mesmo alvo.

Os métodos utilizados nesta pesquisa estiveram focados na análise de feições de absorção espectral para derivar características detalhadas dos materiais, mas cada um destes materiais só pode ser diferenciado desde o ponto de vista espectral sempre que não tenham alguma camada colorida na superfície, e os sensores utilizados possuam a resolução espacial e espectral adequada.

Observou-se que alguns alvos urbanos possuem características semelhantes enquanto a características tais como cor e/ou constituição, que permitem agrupá-los para efeitos de análise sobre variações de reflectância e feições de absorção. Mas essas semelhanças dificultam uma boa discriminação entre estes alvos em imagens multiespectrais, aspecto que é verificado nos resultados da classificação com os valores de confusão nas classes.

Em relação aos objetivos específicos obtiveram-se as seguintes considerações:

1° Objetivo específico: *Identificar e comparar os comportamentos espectrais dos alvos urbanos utilizando uma biblioteca espectral de medidas espectrorradiométricas de campo e a resposta espectral nas imagens dos sensores multiespectrais GeoEye-1 e HRG-1/SPOT 5.*

As medições espectrais de alvos urbanos em campo com espectrorradiômetro revelou o potencial da alta resolução espectral para detalhar e discriminar materiais urbanos de acordo com as condições da superfície. Em alguns casos a diferenciação entre alvos foi por apenas pequenas diferenças de magnitude nos

valores de reflectância, como foi o caso dos materiais: asfalto, calçamento de paralelepípedo e rocha irregular preto, telhas *shingle*, telha de amianto velho, brita, concreto velho. Estes mesmos alvos apresentaram curvas de comportamento espectral semelhantes nas imagens, fato que gerou confusão espectral no posterior processo de classificação.

As medições de campo foram realizadas com um espectrorradiômetro cuja faixa espectral atinge a região do visível e parcialmente o *NIR* (325 até 1075 nm), sendo isto uma limitante na análise de alvos tais como asfalto, solo exposto, telhas metálicas e calçamentos de paralelepípedo, que possuem feições de absorção características associadas a hidrocarbonetos, conteúdo de óxidos de ferro, entre outros minerais característicos, que estão documentadas na literatura e se apresentam no *SWIR*. Neste sentido, é recomendável o uso de um espectrorradiômetro cuja abrangência espectral seja até os 2500 nm.

A aplicação das técnicas de análise derivativa e remoção do contínuo ressaltou algumas características espectrais para cada alvo. Para as telhas vitrificadas e de concreto com coloração, as respostas espectrais foram consistentes com as cores de tintas comerciais na região espectral do *VIS*. Algumas cores apresentaram uma resposta espectral semelhante a materiais urbanos, por exemplo, as telhas da cor cinza eram semelhantes com o concreto, as verdes com a vegetação, as vermelhas e marrons com as estradas de terra. Esta informação refere-se à resposta da coloração mas não sobre o tipo de material.

Materiais como telhas de cerâmica vermelha, estradas de terra e quadras de saibro preservam as propriedades de reflectância de argilominerais e junto com paralelepípedo de granito apresentaram semelhança espectral na região do visível, devido às feições dos óxidos e íons de ferro presentes em suas composições, porém foram facilmente diferenciáveis dos outros alvos urbanos, mas são susceptíveis a confusão entre eles. A remoção do contínuo permitiu identificar uma faixa de absorção comum para estes alvos entre os 480 e 550 nm.

Os alvos fabricados com concreto, telhas de amianto, telha *shingle*, asfalto, brita, calçamentos de paralelepípedo e rochas irregulares pretos, telha de aço e zinco, sempre que não possuam alguma camada de tinta na superfície, apresentam de forma geral curvas espectrais sem feições bem definidas que permitam uma diferenciação clara, mas seu albedo muda conforme a superfície destes materiais se encontrem nova ou velha.

Os materiais fabricados com concreto e as telhas de amianto apresentam uma alta reflectância quando novos, que diminui conforme seu envelhecimento, são visivelmente afetados pela aderência de liquens.

O asfalto e telhas *shingle*, pelo fato de ter uma base asfáltica mostram um comportamento espectral semelhante, apresentam uma baixa reflectância quando novos e conforme vão envelhecendo podem aumentar a reflectância.

Com relação aos calçamentos de paralelepípedos e rochas irregulares pretos, se apresenta uma situação semelhante ao asfalto e telha *shingle*, mas pela presença de poeira, sujeira, borracha, óleo na superfície destes materiais, levados pelo vento, chuva e/ou pneus de carros.

Merece destaque que para os objetos de concreto, telhas de amianto, telha *shingle*, asfalto, brita, calçamentos de paralelepípedo e rochas irregulares pretas, telha de aço e zinco, a remoção do contínuo mostrou as feições de absorção em comum associadas à presença de óxidos de ferro, que na maioria dos casos explica-se pela poeira e sujeira na superfície.

No caso dos alvos fabricados com materiais sintéticos, tais como grama artificial (sintética), fibra de vidro e plástico, o comportamento espectral está associado à cor que os diferencia no VIS. Estes materiais são fornecidos em variadas cores e não oferecem informação precisa sobre a natureza dos materiais de que são confeccionados. O caso particular das telhas de fibra de vidro está associado a objetos de menores dimensões, que no caso da área de estudo não são representativos na caracterização de alvos urbanos.

As ações do intemperismo sobre os alvos urbanos afetam a resposta espectral dos materiais. No caso desta pesquisa as medições com o espectrorradiômetro não foram realizadas em datas próximas à data de tomada das imagens. Além disso, as condições de iluminação causadas pela geometria dos alvos (ainda mais no caso dos telhados), o ângulo zenital e azimutal do sol, albedo e superfície dos materiais não foram as mesmas. As condições mencionadas podem explicar as diferenças observadas entre os espectros de campo e das imagens, assim como mostrar que os alvos são susceptíveis a aspectos condicionantes do alvo no momento das medições.

A resolução espacial da imagem GeoEye-1 permitiu identificar e discriminar vários tipos de estradas, telhados, quadra de saibro, grama natural e sintética, desde o ponto de vista de características da superfície. No caso da imagem SPOT 5, a

resolução espacial limitou a identificação e discriminação detalhada de alvos, apenas foi possível identificar conjuntos de alvos com as mesmas características que puderam ser considerados como representativos do material urbano.

2° Objetivo específico: *Verificar o potencial de identificação de materiais urbanos nas imagens GeoEye-1 e HRG-1/SPOT 5, utilizando espectros de referência das imagens e a técnica Mapeador de Ângulo Espectral (SAM).*

A potencialidade de aplicação da técnica SAM em imagens multiespectrais tem algumas limitações. Desde o ponto de vista espectral, o algoritmo tem boa capacidade de identificação espectral e de discriminação de alvos em diferentes condições (velho e antigo, corpos d'água com diferentes tons). Embora a literatura mencione que o método é relativamente insensível às variações na iluminação do alvo, nesta pesquisa observou-se confusão das áreas menos iluminadas dos telhados de zinco e aço com outros alvos, geralmente, de baixa reflectância como concreto velho, asfalto velho, telhas de amianto velho. Este caso também foi identificado com as coberturas de concreto novo que foram classificadas como solo exposto.

Devido as diferentes resoluções espaciais das imagens GeoEye-1 e HRG-1/SPOT 5 não foi possível estabelecer o mesmo tipo nem o mesmo número de classes para classificação. Os espectros de referência no caso da imagem GeoEye-1 discriminaram as classes de acordo com o tipo de alvo, por exemplo: concreto novo e velho, tetos e telhas de concreto, calçada de concreto e calçadas de concreto pré-moldado. A imagem HRG-1/SPOT 5 apenas permitiu identificar de forma geral as superfícies de concreto.

A maioria dos alvos foram confundidos entre si, resultando em solapamento de intervalos de valores angulares nas imagens SAM tanto na imagem GeoEye-1 como na HRG-1/SPOT 5. Um dos alvos bem discriminado refere-se à telha de cerâmica, embora apresentasse confusão com as estradas de terra, quadras de saibro e solo exposto pela mencionada presença de óxidos de ferro, foi possível diferenciá-la.

Os corpos d'água apresentaram valores angulares maiores do que o resto de alvos urbanos, aspecto que possibilitou o mapeamento adequado com espectros mais diferenciados em cada uma das imagens.

No caso dos alvos fabricados com materiais sintéticos, tais como lona de PVC e grama artificial, a discriminação destes alvos na imagem GeoEye-1 esteve associada à cor do alvo, prova disso é a identificação de telhados verdes como grama sintética e vagões metálicos do trem com lonas de PVC.

Os resultados da classificação para as imagens GeoEye-1 e HRG-1/SPOT 5 de forma geral tiveram um desempenho médio obtendo uma exatidão global de 51,96% e 53,46%, respectivamente. O valor do coeficiente de Kappa como parâmetro de avaliação dos resultados de classificação foi 0,5019 para imagem GeoEye-1 e 0,4869 para imagem SPOT 5, porém as classificações tiveram uma boa qualidade.

Considerando a avaliação qualitativa realizada sobre os resultados da classificação, foi possível estabelecer os intervalos angulares adequados para cada imagem ângulo, é interessante observar o nível de precisão do classificador para discriminar alguns objetos e padrões em algumas partes da imagem, como por exemplo, a identificação dos telhados de cerâmica, calçadas de concreto, estrada de asfalto e grama dentro de um condomínio fechado, sendo este um resultado positivo que descreve um padrão apesar das confusões com outros alvos.

A técnica de Mapeamento de ângulo Espectral (SAM) embora tenha sido desenhada para identificar espectros em imagens hiperespectrais, pode ser aplicada em imagens multiespectrais, mas os resultados podem ser restritivos para grandes áreas, mostrando as limitações sobre a discriminação dos alvos que neste caso estão associadas à baixa resolução espectral destas imagens.

3° Objetivo específico: *Comparar as curvas espectrais dos alvos urbanos obtidas por medições espectrorradiométricas e por imagens GeoEye-1 e HRG-1/SPOT 5, por meio de reamostragem espectral para verificar a precisão da classificação e a influência da resolução espectral sobre a discriminação de alvos urbanos.*

As curvas espectrais associadas a cada um dos alvos identificados nas imagens GeoEye-1 e HRG-1/SPOT 5 carecem de detalhes que ajudariam na separação e discriminação de materiais aparentemente semelhantes.

Para comparar as curvas espectrais foi necessária a reamostragem das curvas obtidas nas medições de campo. Para isso, foram utilizadas as Funções de Resposta Espectral correspondentes aos sensores do GeoEye-1 e HRG-1/SPOT 5. O processo de reamostragem mostrou que a forma dos espectros é preservada, mas

o aumento da largura de bandas influencia a capacidade de identificação do material do alvo, em virtude da redução de detalhes.

As regiões espectrais *VIS – NIR* que abrangem os sensores GeoEye-1 (350 - 1000 nm), *HRG-1/SPOT 5* (450 - 950 nm) e pelo espectrorradiômetro (350 - 1045 nm), permitem a comparação entre curvas espectrais por encontrar-se dentro de uma mesma faixa espectral. A banda na região *SWIR* da imagem SPOT 5 não foi utilizada na reamostragem porque as faixas espectrais da imagem GeoEye-1 e do espectrorradiômetro não a possuem.

A correlação entre os valores de reflectância das medições espectrorradiométricas reamostrados de acordo com a abrangência espectral dos sensores GeoEye-1 e *HRG-1/SPOT 5*, mostrou que poucos alvos tinham uma correlação significativa ($>0,93$), mas com algumas características comuns entre eles: feições associadas a conteúdo de óxidos de ferro e argilominerais (estradas de terra, telhas de concreto vermelha, quadra de saibro). A vegetação como componente natural foi bem diferenciado dos alvos artificiais que conformam o espaço urbano.

A análise espectral das curvas espectrorradiométricas, considerando as características dos materiais citados na literatura, mostrou que pode existir correlação entre as amostras espectrais obtidas no trabalho de campo e as consideradas nas imagens GeoEye-1 e *HRG-1/SPOT 5*. No entanto, neste trabalho não foi possível mostrar essa relação, possivelmente porque o número de amostras associadas ao número de bandas das imagens tem interferido tanto no valor de correlação como o de significância. Entre outras causas estão as diferenças nas condições de aquisição dos dados e/ou estado da superfície dos alvos ao momento das medições, o que poderia ter contribuído em gerar um valor de coeficiente de correlação (r) casual.

Considerando as limitações com as resoluções espacial e radiométrica das imagens com relação às medições espectrorradiométricas que foram realizadas em campo, recomenda-se que a resolução espacial e espectral das imagens seja da mesma magnitude do que aquela que oferece o espectrorradiômetro para que as curvas espectrais de alvos urbanos sejam efetivamente comparáveis.

A grande frequência de pixels heterogêneos no ambiente urbano já representa uma das dificuldades na utilização da classificação digital, porém esta pesquisa mostrou que a análise de alvos urbanos não pode ser abordada só do ponto de vista dos padrões de reflectância dos diferentes tipos de materiais que a

compõem. As áreas urbanas são compostas de objetos com diferentes formas e materiais, porém a tendência para extrair de forma mais precisa informação heterogênea de cenas urbanas e discriminação de tipos de cobertura natural e artificial, seria explorar a possibilidade de utilizar informações intrínsecas extraídas dos objetos, como a resposta espectral média, variância e características não espectrais associadas à forma dos alvos urbanos, tais como contexto, relações de vizinhança, dimensões, forma e textura.

A utilização de classificadores não paramétricos, cuja família de algoritmos associados à mineração de dados (*data mining*) pode ser aplicada para: agrupamento - separação de dados com características semelhantes, descoberta de padrões sequenciais ou associações para se estabelecer afinidades ocultas e modelagem preditiva.

Estas técnicas poderiam ser uma alternativa para que dados como os gerados nesta dissertação possam ser utilizados e contribuam em uma análise orientada à discriminação e delimitação de áreas e padrões intraurbanos. O estudo do comportamento espectral de alvos urbanos pode ser fonte de informação que aporte dados na caracterização dos tipos de ocupação, tais como: residencial (uni ou multifamiliar), industrial, com o objetivo de obter informação que permita avançar na compreensão da própria dinâmica urbana.

REFERÊNCIAS

ADJORLOLO, C.; MUTANGA, O.; CHO, M. A.; ISMAIL, R. Spectral resampling based on user-defined inter-band correlation filter: C3 and C4 grass species classification. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. n. 21, 2013, p. 535–544.

ADS. HandHeld 2 Portable Spectroradiometer. **Technical Specifications. 2014**. Disponível em: <<http://www.asdi.com/products>>. Acesso em: 12.Jun.2014.

ASTER (Advanced Spaceborne Thermal and Reflection Radiometer). Disponível em: <<http://asterweb.jpl.nasa.gov/>>. Acesso em: 12 nov. 2012.

ALMEIDA, H.o; MARQUES, M. **Agregados para a Construção Civil. Departamento Nacional de Produção Mineral**. Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil (ANEPAC). São Paulo. 2010.

ARAI, E.; PEREIRA, G.; OLIVEIRA, L.; MORAES, E.; SHIMABUKURO, Y. Avaliação da concordância entre a reflectância estimada pelo sensor MODIS/Terra e a obtida in situ. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p. 6315-6322.

ARAÚJO, E. H. G. **Análise multi-temporal de cenas do satélite quickbird usando um novo paradigma de classificação de imagens e inferências espaciais: estudo de caso-Belo horizonte, MG / São José dos Campos**. 2006. 175f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos, 2006.

ABCP (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND). **Manual de placas de concreto: Passeio público**. Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, São Paulo, 2009. 32p.

BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto da dinâmica da circulação da água do sistema planície de Curuai /Rio Amazonas**. 2005. 255 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos, 2005.

BELEM, J. **História do município de Santa Maria: 1797 – 1983**. Santa Maria: Edições UFSM. 1989. 277 p.

BEN-DOR, E.; LEVIN, N.; SAARONI H. A spectral based recognition of the urban environment using the visible and near-infrared spectral region (0.4-1.1 m): a case study over Tel-Aviv. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 11, 2001. p. 2193-2218.

BOLFE, S. A. **A Expansão Urbana de Santa Maria, RS: Uma Avaliação da Adequabilidade do Uso do Solo**. 1997. 156p. Dissertação (Mestrado em geografia) – Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 1997.

BOLIVAR, G.; PRADO, D.; PEREIRA, W. Caracterização da reflectância espectral de materiais urbanos com uso de espectrorradiômetro. In: Anais XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. p. 8893 - 8900.

BORENGASSER, M.; HUNGATE, W. S.; WATKINS, R. **Hyperspectral Remote Sensing. Principles and Applications**. USA: Taylor & Francis Group, LLC. 2008.

BROWN, L. R.; PLYMATE, C. Experimental Line Parameters of the Oxygen A Band at 760 nm . **Journal of Molecular Spectroscopy**. 199, 2000, p.166–179. Disponível em: <<http://www.idealibrary.com>>. Acesso em: 13 nov. 2012.

BOWKER, D. E.; DAVIS, R. E.; MYRICK, D. L.; STACY, K.; JONES, W. T. Spectral Reflectances of Natural Targets for Use in Remote Sensing Studies Reference. Publication 1139. **National Aeronautics and Space Administration (NASA)**. Virginia, 1985.

BRANCO, P. de M.. **Minerais Argilosos**. Canal Escola – Minerais e rochas do CPRM – Serviço geológico do Brasil, 2014. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1255&sid=129>> Acesso em: 10 Jun. 2014

BROOK, A.; BEN-DOR, E. Reflectance spectroscopy as a tool to assess the quality of concrete in situ. **Journal of Civil Engineering and Construction Technology** Vol. 2(8), 2011, p. 169-188. Disponível em: <<http://www.academicjournals.org/jcect>>. Acesso em: 11 Jul. 2014

CASTRO, A.; LABAKI, L.; CARAM, R.; BASSO, A.; FERNANDES, M.. Medidas de reflectância de cores de tintas através de análise espectral. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, abr./jun. 2003, p. 69-76.

CNES (CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES). **SPOT Image quality permormances**. n° DCT/SI / QI 2007. C443-NT-0-296-CN. Ed 3. (s.l.) CNES. Abril 2007.

CHANDER, G.; HEWISON, T.J.; FOX, N.; WU, X.; XIONG, X.; BLACKWELL, W. Overview of Intercalibration of Satellite Instruments. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing**, v.51, n.3, 2013, p. 1056-1080.

CHAVEZ, P. S. An Improved Dark-Object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral Data. **Remote Sensing of Enviroment** n. 24, 1988, p. 459-479.

CHUVIECO, E. **Fundamentos de Teledetección Espacial**. Tercera Edición. Madrid: Ediciones Rialp, S.A. 1996.

CLARK, R.N.; ROUSH, T.L. Reflectance spectroscopy: quantitative analysis techniques for remote sensing applications. **J. Geophys. Res**, n.89, 1984, p. 6329-6340.

CLARK, R. N. Spectroscopy of Rocks and Minerals and Principles of Spectroscopy. In: RENCZ A. N. **Remote Sensing for the Earth sciences**. New York: John Wiley & Sons,v. 3, n.1, p. 3-59, 1999.

CLARK, R.N. et al. **Environmental studies of Word Trade Center area after the September 11, 2001 attack**. U.S. Geological Survey Open File Report (OFR-01-0429). 2001. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/of/2001/ofr-01-0429>>. Acesso em: 05 dec. 2013

CONGALTON, R.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. Boca Raton, Florida: CRC/Lewis Press, 1999. 137 p.

CONGEDO, L.; MUNAFÒ, M. (2012) **Development of a Methodology for Land Cover Classification in Dar es Salaam using SPOT Imagery**. Rome: Sapienza University. Disponível em: <<http://www.planning4adaptation.eu/>>. Acesso em: 01 dec. 2013.

DA SILVA, C.; DA SILVA, J. C. **Dossiê Técnico: Louças e porcelanas de uso doméstico**. Instituto de Tecnologia do Paraná. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – SBRT. TECPAR. Paraná, 2007.

DELL'ACQUA, F.; GAMBA, P.; TRIANNI, G. A preliminary study on separability of paving materials in shadowed hyperspectral pixels from a central urban area. In: Joint Symposia URBAN – URS, 8., 2005, Tempe, AZ, USA. **Anais...** Tempe, AZ, USA. ISPRS Archives - Volume XXXVI-8 / W27 de 2005. Disponível em: <<http://www.isprs.org/proceedings/xxxvi/8-w27/>>. Acesso em: 05 may. 2014.

DEMATTÊ, J.; NORONHA, N.; CLEMENTE, C.; ARARY, O. **Alexandre Reflectância Espectral de Diabásio e Argilito da Região de Piracicaba-Sp e de Riolito da Região de Palmas - PR**. Scientia Agrícola. Vol. 56. N. 2. 1999, Piracicaba. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>>. Acesso em: 11 nov. 2012.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Influência das tintas imobiliárias sobre o desempenho térmico e energético de edificações. In: Congresso Internacional de Tintas, 10., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRAFATI, 2007.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Brasília: 1999. 412 p.

ENNES, R. **Potencial das Imagens Hiperespectrais Orbitais na Detecção de Componentes Ópticamente Ativos no Reservatório de Itupararanga**. 2008. 122 f. Dissertação (mestrado em Ciências Cartográficas) - Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente. São Paulo, 2008.

ENNES, R.; GALO, M. Simulação Espectral de Dados Multiespectrais do Comportamento Espectral de um Corpo D'água a Partir de Dados Hiperespectrais. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3., 2010. Recife. **Anais...** Recife, 2010. p. 001 – 006.

ESPINOZA, J. **Caracterização espectral das rochas constituintes dos rejeitos de garimpo de pedra ametista – região de ametista do sul, rio grande do sul**. 2006. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2006.

ESPOSITO, E.; KRUG, T.; GREEN, R.. Simulação das bandas espectrais das câmaras CCD e WFI (CBERS), geradas a partir das imagens do sensor hiperespectral AVIRIS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., 1998, Santos. **Anais...** Santos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998, p. 1365-1376.

FORSTER, B. C. Principle and rotated components analysis of urban surface reflectance. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 51, n. 4, 1985, 475 – 477.

GEOEYE. **Geoeye-1: The World's Highest Resolution Commercial Earth-Imaging Satellite**. GeoEye-1 Fact Sheet. 2008. In: <http://launch.geoeye.com/LaunchSite/assets/documents/geoeye1_factsheet_v8.pdf>. Acesso em: 30 set. 2013.

GLCF (GLOBAL LAND COVER FACILITY) **Goddard Space Flight Center (GSFC) (2011), Landsat Surface Reflectance , Landsat TM & ETM+**, Global Land Cover Facility. University of Maryland, College Park.

GOODIN, D. G. et al. Analysis of suspended solids in water using remotely sensed high resolution derivate spectra. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. Manhattan, v. 59, n. 4, 1993, p. 505-510.

GOUVEIA-MATOS, J. A. de M. **Mudança nas cores dos extratos de Flores e do repolho roxo. Química nova na escola**. Mudanças de Cores e Indicadores. Conceitos científicos em destaque. N° 10, Novembro 1999.

HAMBURGER, D. S.; VIEIRA, I. M. Estudo do comportamento espectral de alvos urbanos para discriminação de áreas residenciais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6., 1990, Manaus. **Anais...** Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009, p. 383-390.

HEIDEN, U.; SEGL, K.; ROESSNER, S.; KAUFMANN, H.. Determination of robust spectral features for identification of urban surface materials in hyperspectral remote sensing data. **Remote Sensing of Environment**. n. 111, 2007, p. 537–552.

HEROLD, M.; GARDNER, M.; ROBERTS, D. **Spectral Resolution Requirements for Mapping Urban Areas**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. V. 41, No. 9. 2003a, p. 1907 – 1919.

HEROLD, M., GARDNER, M., NORONHA, V., ROBERTS, D. Spectrometry and Hyperspectral Remote Sensing of Urban Road Infrastructure. **Online Journal of Space Communications**, n. 3, 2003b. Disponível em: <<http://satjournal.tcom.ohiou.edu/issue03/applications.html>>. Acesso em: 30 set. 2012.

HEROLD, M.; ROBERTS, D.; GARDNER, M.; DENNISON, P. Spectrometry for urban area remote sensing—Development and analysis of a spectral library from 350 to 2400 nm. **Remote Sensing of Environment**. n. 91, 2004, p. 304–319.

HEROLD, M.; ROBERTS, D. Spectral characteristics of asphalt road aging and deterioration: implications for remote-sensing applications. **Applied Optics**. v. 44, n. 20, 2005, p. 4327 - 4334.

HEROLD, M.; ROBERTS, D.; NORONHA, V.; SMADI, O. Imaging spectrometry and asphalt road surveys. **Transportation Research Part C**. n. 16, 2008, p. 153–166.

HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W.; LENHOFF, C. J. Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: III. Oxides and Hidroxides. **Modern Geology**. n. 2, 1971, p. 195-205.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Dados Gerais do Município Santa Maria – Censo 2010**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=431690&search=rio-grande-do-sul|santa-maria|infograficos:-dados-gerais-do-municipio>> . Acesso em: 30 set. 2013.

INPE (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS). **Introdução ao sensoriamento remoto**. Divisão de Processamento de Imagens. INPE. São José dos Campos, 2001.

JACQUES, S. **Bioestatística: Princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed Editora. 2003. 255 p.

JENSEN, J. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese Editora. 2009. p 598.

KRUSE, F. **Spectral-feature-based analysis of reflectance and emission spectral libraries and imaging spectrometer data**. Proc. SPIE 8390, Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery, 2012.

KURKDJIAN, M. L. N. O. **Um método para identificação e análise de setores residenciais urbanos homogêneos, através de dados de sensoriamento remoto com vistas ao planejamento urbano**. São Paulo, 1986. 158f. Tese (Doutorado em Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.

MACHADO, A. **O uso de polinômios racionais na ortorretificação de imagens de satélite.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007, p. 1289-1295.

MADEIRA, J. **Comportamento Espectral dos solos.** In: MENESES, Paulo Roberto; MADEIRA, José, SILVA, José (Org.). Sensoriamento Remoto. Reflectância dos alvos naturais. Brasília, DF: Editora Universidade de Brasília - UnB, Embrapa Cerrados, 2001. cap. 1, p. 15-39.

MAILLARD, P. **Introdução ao sensoriamento remoto.** Geoprocessamento 2000. Universidade Federal de Minas Gerais. 2000.

MACIEL FILHO, C. L. **Carta Geotécnica de Santa Maria.** Santa Maria: Ed. UFSM, 1990, 22 p.

MARTINS, E. **Definição da erosividade da chuva em Santa Maria / RS – Determinação e representação cartográfica das ocorrências de inundações, alagamentos e deslizamentos.** 2004. Monografia (Especialização em Geociências) – Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Santa Maria, 2004.

MATHER, P. M. **Computer Processing of Remotely-Sensed Images.** An Introduction. Third Edition. England: John Wiley & Sons Ltd, 2004.

MENESES, P. **Fundamentos de Radiometria Óptica Espectral.** In: MENESES, P. R.; MADEIRA, J., SILVA, J. (Org.). Sensoriamento Remoto. Reflectância dos alvos naturais. Brasília, DF: Editora Universidade de Brasília - UnB, Embrapa Cerrados, 2001. cap. 1, p. 15-39.

MENESES, P.; ALMEIDA, T.. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Brasília: Unb - Cnpq. 2012.

MENESES, P.; FERREIRA, L. **Comportamento Espectral de Minerais e Rochas.** In: MENESES, P. R.; MADEIRA, J., SILVA, J. (Org.). Sensoriamento Remoto. Reflectância dos alvos naturais. Brasília, DF: Editora Universidade de Brasília - UnB, Embrapa Cerrados, 2001. cap. 1, p. 15-39.

MINEROPAR. **Paralelepípedos e alvenaria poliédrica. Manual de utilização.** Minerais do Paraná. Gerencia de Fomento e Economia Mineral. Secretaria de estado da indústria e do comércio. Governo do Estado do Paraná, 1983.

MILTON, E. J. Principles of Field Spectroscopy. **Int. J. Remote Sensing**, v.8, n.12, 1987, 1807-1827.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: Editora UFV, 2005. 320 p.

MOREIRA, R. **Estudo Espectral de Alvos Urbanos com Imagens do Sensor Hss (Hyperspectral Scanner System)**. 2008. 237 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São Jose dos Campos, 2008.

MOREIRA, R.; GALVÃO, L.; CASTRO, R. Caracterização da reflectância espectral de materiais urbanos com imagens do sensor HSS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianopolis. **Anais...** Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007, p. 6489-6496.

MORI, M.; IWATA, T.; MINAMI, Y.; KATO, S.; AKAMATSU, Y. **Spectral analysis of building materials used in japan**. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B8. Beijing 2008

MOTTANA, A.; CRESPI, R.; LIBORIO, G.. **Guia de minerales y rocas**. Barcelona: Ediciones Grijalbo,S.A., 1977. p. 605.

MURCRAY, F. J. **Balloon.01.report**. NASA Balloon Program, 2011. Disponível em: <http://eosps0.gsfc.nasa.gov/ftp_docs/validation/Murcraey.balloon.01.report.pdf> . Acesso em: 13 nov. 2012.

MUSTARD, J. F.; SUNSHINE, J. M. **Spectral analysis for earth investigations using remote sensing data**. In: RENCZ, A. N. (ed). Remote sensing for the earth sciences: manual of remote sensing. 3.ed. New York: John Wiley and Sons, 1999. v. 3. p. 251-306.

MUTANGA, O.; SKIDMORE A. D. Integrating imaging spectroscopy and neural networks to map grass quality in the Kruger National Park, South Africa. **Remote Sensing of Environment**. v.90, 2003, p. 104-115.

MYINT, S. W; MESEV, V.; LAM, N. Urban Textural Analysis from Remote Sensor Data: Lacunarity Measurements Based on the Differential Box Counting Method. **Geographical Analysis**. The Ohio State University. n. 38, 2006, p. 371–390.

NASARUDIN, N. E. M.; SHAFRI, H. Z. M.. Development and utilization of urban spectral library for remote sensing of urban environment. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, v. 5, n. 1, 2011, pp. 44-56.

NOVO, E. M. L. De M.. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Editora Blucher, 2008.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, 1977, p. 159-174.

LOGSDON, N. D. **Estruturas de madeira para coberturas, sob a ótica da NBR 7190/1997**. Faculdade de Engenharia Florestal. Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2002.

LOMBARDO, M.; MACHADO, R. **Aplicação das técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas nos estudos urbanos**. 2011. Disponível em: <<http://citrus.uspnet.usp.br/rdg/ojs/index.php/rdg/article/viewFile/192/172>>. Acesso em: 15 jul. 2013.

LUBENOW, A.; OLIVEIRA, P. Fluxograma para Reconhecimento de Padrões de Uso e Cobertura da Terra em Tecido Urbano e Periurbano. **UEPG Ci. Exatas Terra, Ci. Agr. Eng.**, Ponta Grossa, v. 17, n. 2, 2011, p. 111-118.

OLIVEIRA, M. C. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmicas branca e de revestimentos**. CETESB - São Paulo. 2006. 84p. (Série P + L). Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 13 ago. 2012.

PASCUCCI, S.; BASSANI, C.; PALOMBO, A.; POSCOLIERI, M.; CAVALLI, R. Road Asphalt Pavements Analyzed by Airborne Thermal Remote Sensing: Preliminary Results of the Venice Highway. **Sensors**. n.8, 2008, p. 1278-1296.

PASCUCCI, S.; BASSANI, C.; CAVALLI, R. M.; FUSILLI, L.; PALOMBO, A.; PIGNATTI, S.; SANTINI, F. Hyperspectral remote sensing capability for mapping near-surface asbestos deposits and pollutants dispersion in soils. In: Hyperspectral 2010 Workshop, 2010, Frascati, Italy. **Anais...** Frascati: ESA SP-683, 2010.

PEDRON, F. de A.; MIGUEL, P.; RODRIGUES, R. B. **Variabilidade e a aptidão agrícola de Argissolos na Depressão Central do Rio Grande do Sul**. In: Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo, 5., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: 2004a, p. 4. CD-ROM.

PEDRON, F. de A.; RODRIGUES, R. B.; MIGUEL, P. **Potencial e situação de uso agrícola de Alissolos na Depressão Central do Rio Grande do Sul.** In: Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo, 5., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: 2004b, p. 4. CD-ROM

PEDRON, F. de A. **Classificação do Potencial de Uso das Terras no Perímetro Urbano de Santa Maria – RS.** 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, 2005.

PHILIPP, R. P.; CAMPOS, R. Controles Geológicos das Jazidas de Granitos Ornamentais da Região de Encruzilhada do Sul, RS: Origem das Variedades Comerciais do Granito Encruzilhada do Sul. **Geociências**, v. 32. n.1, 2005, p. 37-49. Disponível em: <<http://www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br/3201/04-3201.pdf>>. Acesso em: 15.nov.2012.

PEREIRA, G.; MORAES, E. C.; ARAI, E.; OLIVEIRA, L. G. L. . **Estudo preliminar da comparação entre a reflectância obtida in situ e a estimada pelo satélite MODIS/Terra.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006.

PETRAKIS, G. H.; MOTOKI, A.; SICHEL, S. E. Geologia de Jazidas de Brita e Areia Artificial de Qualidade Especial: Exemplos do Álcali Sienito de Nova Iguaçu, RJ, e Riolito de Nova Prata, RS. **Geociência**. São Paulo, Vol.29, No.1, P.21-32. 2010.

PINHEIRO, A. **Levantamento e análise do processo de ocupação irregular do solo urbano nos últimos 30 anos (1970 – 2000) em Santa Maria – RS.** 2002. Trabalho de graduação (Curso de Geografia). Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. 2002. Santa Maria, RS.

PINHO, C. **Análise Orientada a Objetos de Imagens de Satélites de Alta Resolução Espacial Aplicada a Classificação de Cobertura do Solo no Espaço Intra-Urbano: O Caso de São Jose dos Campos – SP.** 2006. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São Jose dos Campos. 2006.

PINHO, C. M. D. et al. **Influência de Diferentes padrões de ocupação do solo urbano na qualidade de mapeamentos de cobertura do solo em imagens de alta resolução espacial: estudo de caso de São Jose dos Campos (SP)** In: BLASCHEKE, T., KUX, H. (Org.). Sensoriamento remoto e SIG avançados. São Paulo: Oficinas de Textos, 2007. p.198-226.

PINHO, C.; UMMUS, M.; NOVACK, T.. Simulação do comportamento espectral de alvos urbanos em sensores multiespectrais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009, p. 803-810.

PINHO, C.; UMMUS, M.; NOVACK, T.. Extração de Feições Urbanas em Imagens de Alta Resolução Espacial a Partir do Estudo do Comportamento Espectral dos Alvos. **Revista Brasileira de Cartografia**. N. 63/04, 2011, p. 619 – 627.

PINTO, C. T.; SILVA, M. L.; MELO, M. C.; ANDRADE, L. L.; CASTRO, R. M. Caracterização espectral parcial do sensor SISIMI. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009, p. 7639-7646.

PINTO, C. T.; PONZONI, F. J.; CASTRO, R.M. **Calibração cruzada de sensores de observação da terra**. Relatório de Pesquisa em Calibração Radiométrica de Sensores Eletro-ópticos. INPE. São José dos Campos. 2013.

PODGER, N. E.; COLWELL, W. B.; TAYLOR, M. H. **GeoEye-1 Radiance at Aperture and Planetary Reflectance**. GeoEye, 2011.

PONZONI, F.; SHIMABUKURO, Y.; KUPLICH, T. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2ª Edição. São Paulo: Oficina de Textos. 2012. p. 160.

QUARESMA, L. F. **Produto 22. Agregados para construção civil. Relatório Técnico 30: perfil de brita para construção civil**. Projeto Estal - Projeto de Assistência Técnica ao Setor de Energia. Ministério De Minas E Energia – Mme. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral-Sgm. 2009.

RAMOS, F. R. **Análise Espacial de Estruturas Intra-Urbanas: O Caso de São Paulo**. 2002. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São José dos Campos. 2002.

RIVARD, B.; FENG, J.; GALLIE, A.; SANCHEZ-AZOFEIFA, A. Continuous wavelets for the improved use of spectral libraries and hyperspectral data. **Remote Sensing of Environment**. n.112, 2008, p. 2850–2862.

ROBERTS, D. A.; HEROLD, M. Imaging spectrometry of urban materials. In: KING, P., Ramsey, M.S.and G. Swayze, (eds.), **Infrared Spectroscopy in Geochemistry, Exploration and Remote Sensing, Mineral Association of Canada, Short Course Series**. London, Ontario, v. 33, 2004, pp. 155-181.

ROSSETTO, C.; TURRILLAS, X. **Avaliação da Composição Mineralógica de Clínqueres e Cimentos Portland por Técnicas de Difração**. Boletim Técnico da FATEC – SP - BT/22 – pág.34 a 39 – Julho / 2007.

ROSSINI, C. **A Segregação na Distribuição dos Equipamentos de Infra-Estrutura Urbana, na Cidade de Santa Maria/RS**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2005.

RUDORFF, C. M. **Estudo da composição das águas da planície amazônica por meio de dados de reflectância do sensor Hyperion/EO-1 e de espectrorradiômetro de campo visando à compreensão da variação temporal dos seus constituintes opticamente ativos**. 2006. 138 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos.

SARTORI, P. L.; RUEGG, N. R. - O Complexo Granítico De São Sepé, Rio Grande Do Sul E A Evolução Das Rochas Graníticas Da Região Orogênica Do Sudeste - **Bol. IG., Instituto de Geociências, USP**. V. 10, 1979, p. 69 - 78.

SAURIM, E. **Crescimento urbano simulado para Santa Maria – RS**. 2005. 140f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional). Universidade Federal de Rio Grande do Sul -UFRGS, Porto Alegre, 2005.

SCHAEPMAN-STRUB, G.; SCHAEPMAN, M. E.; PAINTER, T. H.; DANGEL, S.; MARTONCHIK, J. V. Reflectance quantities in optical remote sensing—definitions and case studies. **Remote Sensing of Environment**. n.103, 2006, p. 27–42.

SCHOTT, J. R. **Remote Sensing: The Image Chain Approach**. 2nd Edition. New York: Oxford University Press. 2007.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing**. Third Edition. USA: Elsevier Inc. 2007.

SEGL, K.; HEIDEN, U.; MÜLLER, M.; KAUFMANN, H. **Endmember detection in urban environments using hyperspectral HyMap data**. 3rd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy, p 140 - 145 , Herrsching, 13-16 May 2003

SEMA-RS/UFSM. **Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul**. Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul - Universidade Federal de Santa Maria (SEMA-RS - UFSM). 2001.

SILVA, M.; ANDRADE, A. Geração de Imagens de Reflectância no Topo da Atmosfera e na Superfície de um Ponto de Vista Geométrico. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013, p. 8238-8245.

SLATER, P. N. **Remote sensing: optics and optical systems**. New York: Addison-Wesley, 1980. 515p.

SMALL, C. High spatial resolution spectral mixture analysis of urban reflectance. **Remote Sensing of Environment**. n.88, 2003, p.170–186.

SOUDANI, K.; FRANÇOIS, C.; LE MAIRE, G.; LE DANTEC, V.; DUFRÊNE, E. Comparative analysis of IKONOS, SPOT, and ETM+ data for leaf area index estimation in temperate coniferous and deciduous forest stands. **Remote Sensing of Environment**. n.102, 2006, p.161–175.

SOUZA, C. **Teste de hipóteses Aula 06**. Centro de Tecnologia Universidade Federal de Alagoas 2012. Disponível em: <www.ctec.ufal.br/professor/cfs>. Acesso em: 20.set.2014.

SOUSA, R.; KUX, H. Comportamento Espectral e Alvos Urbanos: simulação com as bandas espectrais do satélite CBERS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005, p. 1099-1106.

SPOT IMAGE. **Ficha Técnica SPOT Image. Resolución y modos espectrales. 2009**. Disponível em: <http://www2.astriumgeo.com/files/pmedia/public/r1996_9_resolucion_modos_espectrales__esp_sept2010.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2013.

STEIN, E.; BACHMANN, M.; HELDENs, W.; MÜLLER, A.; SCHMULLIUS, C. **A spectral feature based classification algorithm for characterization of urban surfaces in Munich**. 6th EARSeL-SIG-IS, 16.-18. 2009. Disponível em: <http://elib.dlr.de/61560/1/Stein_09.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2014.

TC SHINGLE. **O que é uma telha shingle**. Informações técnicas. TC Shingle do Brasil. 2004. In:< <http://www.tcshingle.com.br/faq.asp?id=5>> Acesso em: Jun. 2014

TEILLET, P. M.; FEDOSEJEVS, G.; THOME, K. J.; BARKER, J. L. Impacts of spectral band difference effects on radiometric cross-calibration between satellite sensors in the solar-reflective spectral domain. **Remote Sensing of Environment**. v.110, n.3, 2007, p.393-409.

TELHAS-SUL (2010). **Matéria prima – aço galvanizado**. Telhas –Sul. In: <http://www.telhasulrs.com.br/?menu=acogalvanizado> Acesso em: Jun. 2014

TSAI F., PHILPOT W. Derivative Analyses of Hyperspectral Data. **Remote sensing Environment**, v.66, 1998, p. 41–51.

USGS (UNITED STATE GEOLOGICAL SURVEY). Digital Spectral Library. Disponível em: <<http://speclab.cr.usgs.gov>>. Acesso em: 12 nov. 2012.

UFSM (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA). **Princípios Físicos em Sensoriamento Remoto**. Universidade Federal de Santa Maria) - Centro de Ciências Rurais. UFSM, 2004.

VIALI, L. **SÉRIE: Estatística Básica**. Texto v: Correlação e Regressão. Material didático. Apostila 5. 2013. Disponível em: <http://www.mat.pucrs.br/~lori/http://www.pucrs.br/famat/viali/graduacao/engenharias/material/apostilas/Apostila_5.pdf>. Acesso em: 12 oct. 2014.

VILLAÇA, F. **Espaço Intra-Urbano no Brasil**. São Paulo: Studio Nobel, 1998.

YUHARA, C.; LUCHIARI, A.; SILVA, D. Identificação das Unidades Residenciais Intra-Urbanas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cocaia - Área de Proteção aos Mananciais da represa Billings, SP – utilizando Dados Orbitais de Alta Resolução Espacial. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007, p. 695-702.

ZANINI, A.; BURIN, E.; MARION, F.; FERREIRA, J.; FERRARI, R.; PEREIRA, R. Avaliação do Comportamento Espectral de Alvos Urbanos com a Utilização de Espectrorradiômetro e sua Relação com as Bandas Espectrais do Sensor Aster. **Geografia, Rio Claro**, v. 35, n. 2, 2010, p. 435-445.