



Universidade de Brasília – UnB
Instituto de Geociências Aplicadas - IG



Avaliação dos Processamentos de Correção Atmosférica e de *Crosstalk* em
Dados ASTER para Identificação de Relação Mineralógica
Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) em Solos Tropicais.

Daniella Dias Vivaldi

Dissertação de Mestrado

Nº 53

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista

Brasília – DF
2013



Universidade de Brasília – UnB
Instituto de Geociências Aplicadas - IG



Avaliação dos Processamentos de Correção Atmosférica e de *Crosstalk* em
Dados ASTER para Identificação de Relação Mineralógica
Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) em Solos Tropicais.

Daniella Dias Vivaldi

Dissertação de Mestrado apresentada as
Instituto de Geociências Aplicadas da
Universidade de Brasília - UnB, como
requisito para obtenção de título de
Mestre em Geociências.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista

Brasília – DF
2013



Universidade de Brasília – UnB
Instituto de Geociências Aplicadas - IG



Avaliação dos Processamentos de Correção Atmosférica e de *Crosstalk* em
Dados ASTER para Identificação de Relação Mineralógica
Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) em Solos Tropicais.

Daniella Dias Vivaldi

Banca examinadora:

Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista (IG – UnB)

Prof. Dr. Paulo Roberto Meneses (IG – UnB)

Prof. Dr. Antonio Roberto Formaggio (INPE)

Brasília – DF
2013

"... Em ciência não existe experiência
fracassada. Ter descoberto que o que eu
estava testando simplesmente não funciona é
na verdade um sucesso."

Will Arntz

Sou uma pessoa abençoada e iluminada. Minha caminhada tem sido de muito trabalho e dedicação rumo aos meus sonhos e só tenho a agradecer pela força e pela energia em cada passo dado.

Ao autor da minha fé, por me dar vida, energia e força necessárias e fundamentais para a realização e conclusão desse trabalho e por iluminar meu caminho, me protegendo e me guiando pela vereda da justiça.

À minha família pelo carinho, amor e apoio em todos os momentos da minha vida. As orações me deram força para não desistir. E pela paciência e compreensão em entender a ausência em momentos de confraternização. Mãe, pai, irmão, gatos. Obrigada!

Ao SeuBem que até hoje não entende o tema da minha dissertação, mas que sempre me apoiou e apóia e torce por mim. Com muito amor e paciência, aguentou os momentos cansativos, noites em claro e a ausência para a dedicação ao mestrado.

Ao meu orientador Prof. Gustavo Baptista que teve muita paciência e por ter acreditado e confiado em mim. Obrigada por tudo Prof., pelos grandes ensinamentos e conselhos.

Aos professores do Instituto de Geociências Aplicadas e do Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais pela dedicação e paciência. Em especial ao professor Lúcio Vivaldi do Departamento de Estatística pelos conselhos e orientações.

Aos queridos amigos que ficavam chateados quando eu dizia que não podia sair porque tinha que estudar para o mestrado, mas que no fundo estavam felizes por mim, pelas realizações e pela dedicação aos meus sonhos. Obrigada amigos.

À minha irmã, companheira e melhor amiga, parceira de vida, de luta, de sofrimentos, de alegria, de hiperatividade, a qual sempre esteve segurando minha mão e que um dia me disse “...**Eu te carrego no colo se precisar : “Não é pesado; é minha irmã!”**

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVO GERAL.....	3
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1. Histórico do sensoriamento remoto.....	4
2.2. Espectrorradiometria e o sensoriamento remoto	6
2.3. Correção atmosférica.....	9
2.4. Janelas atmosféricas	10
2.5. Sensor <i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer</i> – ASTER.....	12
2.6. Efeito <i>crosstalk</i>	15
2.7. Comportamento espectral dos solos e minerais.....	17
2.8. Relação Caulinita/Gibbsita.....	23
3. ÁREAS E ESTUDO.....	29
3.1. Localização e caracterização socioeconômica das áreas de estudo.....	29
3.2. Geologia	30
3.3. Geomorfologia.....	33
3.4. Solos	34
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	35
4.1. Material	35
4.1.1. Imagens ASTER - SWIR.....	35
4.1.2. Environment for Visualizing Images - ENVI.....	36
4.1.3. <i>Crosstalk Correction</i> - CRSTK 30.....	41
4.1.4. Índice RCGb _{scale}	41
4.1.5. Análise estatística não paramétrica de <i>Mann-Whitney</i>	42
4.2. Métodos.....	42
4.2.1. Processamento 1: Imagem de radiância L1A (dados brutos) ASTER-SWIR, sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica	43
4.2.2. Processamento 2: Imagem de radiância L1B (radiância no nível do sensor) ASTER-SWIR, sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica	44
4.2.3. Processamento 3: Imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, por meio do módulo <i>Flat Field</i> , sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica.....	46

4.2.4. Processamento 4: Imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, por meio do módulo <i>Flat Field</i> , com correção <i>crosstalk</i> , por meio do programa CRSTK30 e sem correção atmosférica.....	47
4.2.5. Processamentos 5 e 6: Imagem L1A ASTER-SWIR convertida para reflectância, sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica, por meio dos módulos FLAASH e QUAC... 49	
4.2.6. Processamentos 7 e 8: Imagem de reflectância convertida a partir dos dados L1B ASTER-SWIR com correção <i>crosstalk</i> , por meio do programa CRSTK30 e com correção atmosférica, por meio da aplicação dos módulos FLAASH e QUAC	50
4.2.7. Processamento 9: produto sob demanda ASTER AST-07 – imagem de reflectância sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica.....	52
4.2.8. Processamento 10: Produto sob demanda ASTER AST-07XT – imagem de reflectância com correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica.....	53
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5.1. Aplicação do Índice Espectral $RCGb_{scale}$ em imagens ASTER-SWIR do município de Niquelândia – GO.....	56
5.1.1. Processamento 1: Imagem de radiância L1A (dados brutos) ASTER-SWIR, sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica	57
5.1.2. Processamento 2: Imagem de radiância L1B (radiância no nível do sensor) ASTER-SWIR, sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica.....	62
5.1.3. Processamento 3: Imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância por meio do <i>Flat Field</i> , sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica.....	66
5.1.6. Processamentos 5 e 6: Imagem L1A ASTER-SWIR convertido para reflectância (FLAASH e QUAC) sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica	73
5.1.7. Processamentos 7 e 8: Imagem de reflectância convertida a partir dos dados L1B ASTER-SWIR, com correção <i>crosstalk</i> , por meio do programa CRSTK30 e com correção atmosférica por meio da aplicação dos algoritmos FLAASH e QUAC	81
5.1.8. Processamento 9: produto sob demanda ASTER AST_07 – imagem de reflectância, sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica.....	87
5.1.9. Processamento 10: Produto sob demanda AST_07XT – imagem de reflectância com correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica.....	90
5.2. Aplicação do Índice Espectral $RCGb_{scale}$ em imagens ASTER-SWIR do município de São João d'Aliança – GO.....	95
5.2.1. Processamento 1: Imagem de radiância L1A (dados brutos) ASTER-SWIR, sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica	96
5.2.2. Processamento 2: Imagem de radiância L1B (radiância no nível do sensor) ASTER-SWIR, sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica.....	100
5.2.3. Processamento 3: Imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância por meio do <i>Flat Field</i> , sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica.....	104
5.2.4. Processamento 4: Imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (<i>Flat Field</i>) com correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica	108

5.2.5. Processamentos 5 e 6: Imagem L1A ATER-SWIR convertida para reflectância (FLAASH e QUAC) sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica	112
5.2.6. Processamentos 7 e 8: Imagem de reflectância convertida a partir dos dados L1B com correção <i>crosstalk</i> , por meio do <i>programa</i> CRSTK30 e com correção atmosférica por meio da aplicação dos algoritmos FLAASH e QUAC.....	119
5.2.7. Processamento 9: produto sob demanda ASTER AST_07 – imagem de reflectância sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica.....	125
5.2.8. Processamento 10: Produto sob demanda AST_07XT – imagem de reflectância com correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica.....	128
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	135
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	139

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: interação da radiação solar com a atmosfera terrestre.....	10
Figura 2.2: espectro eletromagnético, transmissividade atmosférica e comprimentos de onda usados em sensoriamento remoto.....	13
Figura 2.3: bandas espectrais do sensor ASTER.....	14
Figura 2.4: efeito <i>crosstalk</i> nos detectores do ASTER-SWIR.....	19
Figura 2.5: espectros da caulinita e da gibbsita referentes ao ponto 13 do transecto da área de São João d’Aliança, extraídos da imagem L1B ASTER-SWIR, com o efeito <i>crosstalk</i> e da imagem AVIRIS reamostrado (BAPTISTA e colaboradores, 2011).....	20
Figura 2.6: Espectros de solos reamostrados para os sensores VNIR e SWIR - ASTER...23	
Figura 2.7: assinaturas espectrais dos minerais <i>Kaolinite Well-Ordered PS-1A</i> e <i>Gibbsite Synthetic OH-3A</i> da biblioteca espectral do JPL para o sensor ASTER.....	25
Figura 2.8: mapeamento quantitativo da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita).....	30
Figura 3.1: mapa de localização e vias de acesso às áreas de estudo.....	32
Figura 3.2: esboço geológico do município de São João d’Aliança realizado por José Eloi G. Campos (1998).....	34
Figura 3.3: esboço geológico do Complexo de Niquelândia.....	35
Figura 5.1: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem de radiância L1A (dados brutos) ASTER-SWIR, sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica do município de Niquelândia; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$	61
Figura 5.2: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem de radiância L1A (dados brutos) ASTER-SWIR, sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica e $RCGb_{ATG}$	63
Figura 5.3: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem de radiância L1B (no nível do sensor) ASTER-SWIR, sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica do município de Niquelândia; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$	66
Figura 5.4: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem de radiância L1B (no nível do sensor) ASTER-SWIR, sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$	67
Figura 5.5: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (<i>Flat Field</i>), sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica do município de Niquelândia; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$	70
Figura 5.6: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (<i>Flat Field</i>), sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$	71
Figura 5.7: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (<i>Flat Field</i>), com correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica do município de Niquelândia; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$	75

Figura 5.8: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (<i>Flat Field</i>), com correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$	76
Figura 5.9: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem L1A ASTER-SWIR convertida para reflectância (FLAASH), sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica do município de Niquelândia; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$	79
Figura 5.10: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem L1A ASTER-SWIR convertida para reflectância (QUAC), sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica do município de Niquelândia; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$	80
Figura 5.11: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem L1A ASTER-SWIR convertida para reflectância, sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica (FLAASH) e do $RCGb_{ATG}$	82
Figura 5.12: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem L1A ASTER-SWIR convertida para reflectância, sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica (QUAC) e do $RCGb_{ATG}$	82
Figura 5.13: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem L1B de reflectância ASTER-SWIR, com correção <i>crosstalk</i> (CRSTK30) e com correção atmosférica (FLAASH), do município de Niquelândia; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$	86
Figura 5.14: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem L1B de reflectância ASTER-SWIR, com correção <i>crosstalk</i> (CRSTK30) e com correção atmosférica (QUAC), do município de Niquelândia; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$	87
Figura 5.15: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, com correção <i>crosstalk</i> (CRSTK30) e com correção atmosférica (FLAASH) e do $RCGb_{ATG}$	88
Figura 5.16: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, com correção <i>crosstalk</i> (CRSTK30) e com correção atmosférica (QUAC) e do $RCGb_{ATG}$	89
Figura 5.17: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ sobre o produto sob demanda ASTER AST-07 – imagem de reflectância, sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica do município de Niquelândia; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$	92
Figura 5.18: transectos do $RCGb_{scale}$ do Produto sob demanda AST_07, sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$	93
Figura 5.19: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ sobre o produto sob demanda ASTER AST-07XT – imagem de reflectância, sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica do município de Niquelândia; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$	96
Figura 5.20: transectos do $RCGb_{scale}$ do Produto sob demanda AST_07, sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$	97

Figura 5.21: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem de radiância L1A (dados brutos) ASTER-SWIR, sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica do município de São João d' Aliança; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$	100
Figura 5.22: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem de radiância L1A (dados brutos) ASTER-SWIR, sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica e $RCGb_{ATG}$	101
Figura 5.23: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem de radiância L1B (no nível do sensor) ASTER-SWIR, sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica do município de São João d' Aliança; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$	104
Figura 5.23: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem de radiância L1B (no nível do sensor) ASTER-SWIR, sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$	105
Figura 5.25: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (<i>Flat Field</i>), sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica do município de São João d' Aliança; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$	108
Figura 5.26: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (<i>Flat Field</i>), sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$	109
Figura 5.27: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (<i>Flat Field</i>), com correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica do município de São João d' Aliança; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$	112
Figura 5.28: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (<i>Flat Field</i>), sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$	114
Figura 5.29: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem L1A ASTER-SWIR convertida para reflectância (FLAASH), sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica do município de São João d' Aliança; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$	116
Figura 5.30: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem L1A ASTER-SWIR convertida para reflectância (QUAC) sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica do município de São João d' Aliança; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$	117
Figura 5.31: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem L1A ASTER-SWIR convertida para reflectância, sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica (FLAASH) e do $RCGb_{ATG}$	119
Figura 5.32: transectos do $RCGb_{scale}$ em imagem L1A ASTER-SWIR convertida para reflectância, sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica (QUAC) e do $RCGb_{ATG}$	119
Figura 5.33: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem L1B de reflectância ASTER-SWIR, com correção <i>crosstalk</i> (CRSTK30) e com correção atmosférica (FLAASH), do município de São João d' Aliança; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$	123

Figura 5.34: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem L1B de reflectância ASTER-SWIR, com correção *crosstalk* (CRSTK30) e com correção atmosférica (QUAC), do município de São João d’Aliança; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$ 124

Figura 5.35: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, com correção *crosstalk* (CRSTK30) e com correção atmosférica (FLAASH) e do $RCGb_{ATG}$ 126

Figura 5.36: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, com correção *crosstalk* (CRSTK30) e com correção atmosférica (QUAC) e do $RCGb_{ATG}$126

Figura 5.37: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ sobre o produto sob demanda ASTER AST-07 – imagem de reflectância, sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica do município de São João d’Aliança; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$ 129

Figura 5.38: transectos do $RCGb_{scale}$ do Produto sob demanda AST_07, sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$ 130

Figura 5.39: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ sobre o produto sob demanda ASTER AST-07XT – imagem de reflectância com correção *crosstalk* e com correção atmosférica do município de São João d’Aliança; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$132

Figura 5.40: transectos do $RCGb_{scale}$ do Produto sob demanda AST_07XT, com correção *crosstalk* e com correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$ 133

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Constituintes gasosos da atmosfera.....	11
Tabela 2.2: características dos subsistemas do sensor ASTER.....	16
Tabela 4.1: Parâmetros dos produtos ASTER utilizados no estudo.....	39
Tabela 4.2: valores de ATG para São João d'Aliança e Niquelândia (BAPTISTA, 2001).....	43
Tabela 5.1: aplicação do Teste de <i>Mann-Whitney</i> sobre os valores do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$ da imagem de radiância L1A (dados brutos) ASTER-SWIR, sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica e $RCGb_{ATG}$	64
Tabela 5.2: aplicação do Teste de <i>Mann-Whitney</i> sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem de radiância L1B (no nível do sensor) ASTER-SWIR, sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$	68
Tabela 5.3: aplicação do Teste de <i>Mann-Whitney</i> sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (<i>Flat Field</i>), sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$	72
Tabela 5.4: aplicação do Teste de <i>Mann-Whitney</i> sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (<i>Flat Field</i>), sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$	76
Tabela 5.5: aplicação do Teste de <i>Mann-Whitney</i> sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica (FLAASH) e do $RCGb_{ATG}$	83
Tabela 5.6: aplicação do Teste de <i>Mann-Whitney</i> sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica (QUAC) e do $RCGb_{ATG}$	86
Tabela 5.7: aplicação do Teste de <i>Mann-Whitney</i> sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, com correção <i>crosstalk</i> (CRSTK30) e com correção atmosférica (FLAASH) e do $RCGb_{ATG}$	89
Tabela 5.8: aplicação do Teste de <i>Mann-Whitney</i> sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, com correção <i>crosstalk</i> (CRSTK30) e com correção atmosférica (QUAC) e do $RCGb_{ATG}$	89
Tabela 5.9: aplicação do Teste de <i>Mann-Whitney</i> sobre os valores do produto AST-07, sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica.....	93
Tabela 5.10: aplicação do Teste de <i>Mann-Whitney</i> sobre os dados do $RCGb_{scale}$ do Produto sob demanda AST_07XT, com correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$	97

Tabela 5.11: aplicação do Teste de <i>Mann-Whitney</i> sobre os valores do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$ da imagem de radiância L1A (dados brutos) ASTER-SWIR, sem correção <i>crossstalk</i> e sem correção atmosférica e $RCGb_{ATG}$	102
Tabela 5.12: aplicação do Teste de <i>Mann-Whitney</i> sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem de radiância L1B (no nível do sensor) ASTER-SWIR, sem correção <i>crossstalk</i> e sem correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$	106
Tabela 5.13: aplicação do Teste de <i>Mann-Whitney</i> sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (<i>Flat Field</i>), sem correção <i>crossstalk</i> e sem correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$	110
Tabela 5.14: aplicação do Teste de <i>Mann-Whitney</i> sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (<i>Flat Field</i>), sem correção <i>crossstalk</i> e sem correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$	115
Tabela 5.15: aplicação do Teste de <i>Mann-Whitney</i> sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, sem correção <i>crossstalk</i> e com correção atmosférica (FLAASH) e do $RCGb_{ATG}$	121
Tabela 5.16: aplicação do Teste de <i>Mann-Whitney</i> sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1A ASTER-SWIR convertida para reflectância, sem correção <i>crossstalk</i> e com correção atmosférica (QUAC) e do $RCGb_{ATG}$	121
Tabela 5.17: aplicação do Teste de <i>Mann-Whitney</i> sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, com correção <i>crossstalk</i> (CRSTK30) e com correção atmosférica (FLAASH) e do $RCGb_{ATG}$	127
Tabela 5.18: aplicação do Teste de <i>Mann-Whitney</i> sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, com correção <i>crossstalk</i> (CRSTK30) e com correção atmosférica (QUAC) e do $RCGb_{ATG}$	128
Tabela 5.19: aplicação do Teste de <i>Mann-Whitney</i> sobre os valores do produto AST-07, sem correção <i>crossstalk</i> e com correção atmosférica.....	131
Tabela 5.20: aplicação do Teste de <i>Mann-Whitney</i> sobre os valores do produto AST-07XT, com correção <i>crossstalk</i> e com correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$	134
Tabela 5.21: <i>ranking</i> dos resultados dos processamentos de Niquelândia.....	136
Tabela 5.22: <i>ranking</i> dos resultados dos processamentos de São João d'Aliança.....	137

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 4.1: etapas do processamento das imagens L1A (dados brutos), sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica.....	47
Fluxograma 4.2: etapas do processamento das imagens L1B (radiância no nível do sensor).....	48
Fluxograma 4.3: etapas do processamento das imagens L1B convertidas para reflectância, por meio do módulo <i>Flat Field</i> , sem correção <i>crosstalk</i> e sem correção atmosférica.....	50
Fluxograma 4.4: etapas do processamento das imagens L1B convertidas para reflectância, por meio do módulo <i>Flat Field</i> , com correção <i>crosstalk</i> , por meio do <i>software</i> CRSTK30 e sem correção atmosférica.....	51
Fluxograma 4.5: etapas do processamento das imagens L1B convertidas para reflectância, sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica, por meio dos módulos FLAASH e QUAC.....	53
Fluxograma 4.6: etapas do processamento das imagens L1B convertidas para reflectância, com correção <i>crosstalk</i> , por meio do <i>software</i> CRSTK30 e com correção atmosférica, por meio da aplicação dos módulos FLAASH e QUAC.....	54
Fluxograma 4.7: etapas do processamento dos produtos sob demanda ASTER AST-07 – imagem de reflectância sem correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica.....	56
Fluxograma 4.8: etapas do processamento dos Produtos sob demanda ASTER AST-07XT – imagem de reflectância com correção <i>crosstalk</i> e com correção atmosférica.....	58

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi verificar a influência da correção atmosférica e de *crosstalk* a espacialização da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) em solos dos municípios de Niquelândia e de São João d’Aliança – GO, por meio da aplicação do índice espectral $RCGb_{scale}$, desenvolvido por Baptista (2001), em imagens ASTER SWIR L1A e L1B, e em produtos sob demanda AST_07 e AST_07XT. Nesse estudo foram utilizados os módulos FLAASH e QUAC, para a correção atmosférica e o *software* CRSTX 30, para a correção do efeito *crosstalk*. A câmara SWIR do ASTER é afetada por um problema de “vazamento” de sinal, o *crosstalk* que ocorre nos detectores da banda 4 sobre os detectores das bandas vizinhas, ou seja, nas bandas 5 e 9, afetando o sinal detectado. Com isso, os espectros dos dados ASTER-SWIR apresentam um deslocamento das feições de absorção da caulinita, e essa, juntamente com a gibbsita são utilizadas para a determinação do grau de intemperismo dos solos tropicais. De acordo com os resultados das imagens conclui-se que, para o município São João d’Aliança, para a investigação da relação mineralógica em solos, o produto sob demanda ASTER AST-07 – imagem de reflectância sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica, a imagem L1B convertida para reflectância, com correção *crosstalk*, por meio do *software* CRSTK30 e com correção atmosférica, por meio da aplicação do algoritmo QUAC; a imagem de radiância L1B (radiância no nível do sensor) sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica; a imagem L1B convertida para reflectância, por meio do módulo *Flat Field*, sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica; a imagem L1B convertida para reflectância, por meio do módulo *Flat Field*, com correção *crosstalk* e sem correção atmosférica e produto sob demanda ASTER AST-07XT – imagem de reflectância com correção *crosstalk* e com correção atmosférica são as mais adequadas. No caso de Niquelândia, a imagem de radiância L1B (radiância no nível do sensor) sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica; a imagem L1B convertida para reflectância, por meio do módulo *Flat Field*, sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica; a imagem L1B convertida para reflectância, por meio do módulo *Flat Field*, com correção *crosstalk* e sem correção atmosférica; a imagem L1B convertida para reflectância, com correção *crosstalk*, por meio do *software* CRSTK30 e com correção atmosférica por meio da aplicação do algoritmo FLAASH e a imagem de radiância L1A convertida para reflectância, sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica por meio da aplicação do algoritmo QUAC, são as mais adequadas para a investigação da espacialização da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita). Desse modo, os valores obtidos por meio da aplicação do $RCGb_{scale}$, índice proporcional ao valor K_i dos solos, apresentaram proximidade aos valores referentes às amostras de campo na maioria dos processamento realizados tanto para Niquelândia como para São João d’Aliança, confirmando, assim a potencialidade desse índice sobre os dados ASTER.

Palavras-chave: ASTER SWIR; correção atmosférica; *crosstalk*; índice espectral $RCGb_{scale}$; São João d’Aliança, Niquelândia

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the influence of atmospheric correction and crosstalk of the spatial relationship of kaolinite/(kaolinite + gibbsite) in soils of São João d'Aliança.- GO, by applying the spectral index $RCGb_{scale}$, developed by Baptista (2001), ASTER images in L1A and L1B-SWIR, and AST_07 AST_07XT on-demand products. The area of study is located in São João d'Aliança-GO, that is cut by Serra Geral do Parana and has part of its area in Vale do Parana, which has flattened topography, with slopes less than 3% . For this paper FLAASH and QUAC modules were used for the atmospheric correction software, and CRSTX 30, to correct the crosstalk effect. The SWIR ASTER camera is affected by a problem of "leakage" signal, the crosstalk that occurs in the band 4 detectors on auto neighboring bands, ie, bands 5 and 9, affecting the signal detected. Considering that, the ASTER-SWIR spectra shows a shift of absorption features of kaolinite, and this, together with gibbsite are used for determining the degree of weathering of tropical soils. According to the results of the images we conclude that, for the county of São João d'Aliança, for mineralogical investigation of the relationship, the ASTER AST-07 product demand - image reflectance without crosstalk correction and with atmospheric correction, the L1B converted to reflectance image with crosstalk correction, through CRSTK30 software and atmospheric correction by applying the QUAC's algorithm, L1B radiance image (radiance at sensor level) without crosstalk correction and without atmospheric correction, the L1B image converted to reflectance through the Flat Field module, without crosstalk correction and atmospheric correction, the L1B image converted to reflectance through the Flat Field module, with crosstalk correction and without atmospheric correction ASTER AST-07XT product demand - reflectance image with crosstalk correction and atmospheric correction are the most appropriate. Where Niquelândia, the image of L1B radiance (radiance at sensor level) without crosstalk correction and without atmospheric correction, the image L1B converted to reflectance through the Flat Field module without crosstalk correction and without atmospheric correction, the image L1B converted to reflectance through the module Flat Field correction crosstalk with and without atmospheric correction, the image L1B converted to reflectance, with crosstalk correction, through software CRSTK30 and atmospheric correction by applying the algorithm and the image of radiance FLAASH L1A converted to reflectance, no crosstalk correction and atmospheric correction by applying the algorithm QUAC, are best suited for the investigation of the spatial relationship of kaolinite/(kaolinite+gibbsite). Thereby, the values obtained by applying the $RCGb_{scale}$, Ki proportional index to the land value, presents proximity to the field samples figures in most processing done to Niquelândia and São João d'Aliança., thus confirming the potential of this index on ASTER data.

Keywords: ASTER-SWIR; atmospheric correction; crosstalk; spectral $RCGb_{scale}$ index; São João d'Aliança; Niquelândia.

1. INTRODUÇÃO

Uma das aplicações do sensoriamento remoto refere-se ao mapeamento de relações mineralógicas dos solos tropicais a fim de identificar o seu grau de intemperismo (BAPTISTA, 2006).

Embora a resposta espectral do solo seja influenciada por vários fatores que atuam em conjunto (matéria orgânica, óxidos de ferro, fração de argila, umidade, entre outros), a reflectância de certos minerais, em alguns intervalos espectrais, apresentam-se preservadas, o que possibilita a sua identificação remota por meio de dados de alta resolução espectral (GALVÃO e colaboradores, 1997).

Em geral, as técnicas de classificação usadas para identificação mineral, por meio de sensoriamento remoto envolvem a comparação da similaridade dos espectros de reflectância, extraídos diretamente das imagens, com espectros de referência dos minerais (amostras de campo ou bibliotecas espectrais) para sua identificação na cena analisada (MENESES, 2003).

A partir do desenvolvimento e da aplicação de alguns índices espectrais, a espacialização e a quantificação das relações mineralógicas foram otimizadas em tempo e em recursos no processo de reconhecimento e mapeamento de solos os quais dependiam, anteriormente, de uma metodologia onerosa (MENESES, 2003).

A investigação da relação mineralógica Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) em solos dos municípios goianos de São João d'Aliança e Niquelândia, realizada por Baptista (2001), por meio dos dados do sensor hiperespectral AVIRIS (JPL/NASA) forneceu resultados muito próximos dos dados de campo, sendo, portanto, eficientes para o mapeamento da relação mineralógica, o que proporcionou uma quantificação significativa do grau de intemperismo de tais solos.

No entanto, ao testar a espacialização da relação mineralógica Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) nos dados ASTER, Baptista e colaboradores (2007) perceberam o deslocamento das feições de absorção dos minerais caulinita e gibbsita, bem como o ponto de máxima reflexão entre suas feições. Esse deslocamento das feições de absorção dos minerais é decorrente do efeito *crosstalk*, entendido como um problema de “vazamento” de radiação entre os detectores do sensor SWIR, porém, até então, não se sabia ao certo o quanto esse deslocamento prejudicava a determinação da relação mineralógica, e, por sua vez, a quantificação do grau de intemperismo.

Nesse contexto, o presente estudo teve por objetivo avaliar a aplicação da correção atmosférica e de *crosstalk* em dados ASTER na identificação da relação mineralógica Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) em solos dos municípios de Niquelândia e São João d'Aliança – GO e assim dirimir dúvidas a respeito da eficiência das imagens ASTER-SWIR, com e sem correções, na investigação dessa relação mineralógica.

1.1. OBJETIVO GERAL

Esse estudo tem como objetivo principal avaliar a aplicação da correção atmosférica e de *crosstalk* em dados ASTER na identificação da relação mineralógica Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) em solos tropicais dos municípios de Niquelândia e São João d'Aliança – GO e assim dirimir dúvidas a respeito da eficiência das imagens ASTER-SWIR, com e sem correções, na investigação dessa relação mineralógica.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Indicar os dados ASTER mais adequados ao estudo para cada município;
- Mostrar a eficiência do índice espectral $RCGb_{scale}$ na investigação da espacialização da relação mineralógica e na relação com o grau de intemperismo de solos tropicais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Histórico do sensoriamento remoto

O marco do sensoriamento remoto aconteceu no início da década de 70, com o lançamento dos satélites de recursos naturais terrestres. Os satélites, embora onerosos, possuem vida útil considerável que justificam seu lançamento, além de fornecerem dados valiosos que podem ser usados em várias áreas do conhecimento. Ademais, durante sua operação em órbita, o consumo de energia é mínimo por permanecerem posicionados em altitudes isentas de resistência do ar e a pequena força gravitacional terrestre existente é compensada pela força centrífuga do movimento orbital do próprio satélite. A maior vantagem dos satélites talvez seja o processo contínuo de imageamento da superfície terrestre, sendo feito 24 h/dia durante toda a sua vida útil (JENSEN, 2009).

Pode-se dizer, portanto, que os sensores remotos modernos tiveram sua origem nas fotografias convencionais, tendo, porém, o objetivo de detectar e registrar outras formas de radiação eletromagnética além da luz visível e, por meio de técnicas de processamento de imagens digitais converter esse sinal elétrico e transmiti-lo, em tempo real, como informações importantes e seguras sobre a composição e a forma da superfície terrestre (INPE, 2001).

Vale ressaltar que quatro segmentos tecnológicos influenciaram diretamente a evolução do sensoriamento remoto, sendo eles (JENSEN, 2009):

- a) Os sensores, instrumentos que compõem o sistema de captação de dados e imagens;
- b) O sistema de telemetria responsável por transmitir os dados e imagens dos satélites para as estações terrestres;
- c) O sistema de processamento, composto por equipamentos computacionais e programas destinados ao armazenamento e processamento dos dados do sensoriamento remoto e;
- d) Os lançadores, que são as bases de lançamento e foguetes que transportam e colocam em órbita, os satélites.

Várias são as categorias para a classificação dos sistemas de sensoriamento remoto: podem ser classificados quanto ao nível de aquisição (terrestre, aéreo e orbital), ou quanto ao processo de detecção (fotográfica ou eletrônica), por exemplo. Ou ainda quanto às resoluções espacial, radiométrica, temporal e espectral, isto é, a extensão da

faixa espectral por eles imageada (visível, infravermelho próximo, infravermelho médio, infravermelho distante ou termal e micro-ondas).

E assim, qualquer que seja a classificação adotada, o sensoriamento remoto pode vir a contribuir em atividades de inteligência, independente de suas aplicações primárias, sendo, porém necessário que o pesquisador ou analista considere as características e parâmetros dos sistemas disponíveis para que seja escolhido o mais adequado para cada tipo de aplicação (PEREIRA, 2004).

Atualmente o sensoriamento remoto é feito, em grande parte, por imageadores orbitais. A variedade de satélites existentes, em órbita, é muito grande, dentre eles estão os satélites LANDSAT, SPOT, CBERS, IKONOS, QUICKBIRD, ASTER e NOAA. Desses somente o NOAA faz parte dos satélites meteorológicos destinados principalmente aos estudos climáticos e atmosféricos. Os demais são destinados ao monitoramento e levantamento dos recursos naturais terrestres possuindo, cada um deles, particularidades quanto às resoluções (JENSEN, 2009).

A resolução espectral, resolução essa predominante no estudo, permite a obtenção de informações sobre um alvo na natureza em distintas regiões do espectro, acrescentando assim uma infinidade de informações sobre o seu estado. É definida pelo número de bandas, canais ou regiões espectrais de um sistema sensor, pela amplitude do intervalo de comprimento de onda de cada banda e pelo posicionamento dessas no espectro. Quanto mais acentuadas forem essas três características, maior será o detalhamento do espectro eletromagnético. É o caso dos sensores multi e hiperespectrais (MENESES, 2003).

O ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) é um dos sensores orbitais multiespectrais que pode ser empregado no mapeamento de relações mineralógica dos solos, no caso do Brasil, solos tropicais, a fim de identificar não só o grau de intemperismo como também outros fenômenos naturais e ações antrópicas, por possuir características relacionadas à resolução espectral as quais favorecem tal propósito (BAPTISTA, 2006).

2.2. Espectrorradiometria e o sensoriamento remoto

A espectrorradiometria é definida como a técnica que obtém informações sobre um alvo por meio da medida da distribuição da energia radiante em diferentes regiões do espectro eletromagnético (NOVO, 2008; MENESES e MADEIRA NETTO, 2001).

Já o termo Sensoriamento Remoto está atualmente relacionado aos sistemas e técnicas utilizados na medição da REM refletida e/ou emitida pelos alvos terrestres, restrita às frequências da região do visível, do infravermelho (refletido e emitido) e das micro-ondas, adquiridas por meio de aeronaves ou satélites (REMPEL, 2000).

Os processos envolvidos na aquisição de informações, geralmente estão agrupados em três grandes grupos: coleta de dados, processamento, e análise e interpretação. A metodologia física de medição de reflectância é realizada por sensores, denominados espectrorradiômetros, que captam a intensidade da energia e comparam o fluxo de radiação refletida pelo alvo com a quantidade de radiação incidente sobre esse (NOVO, 2008).

Considerando a trajetória da REM a partir da atmosfera terrestre, pois no espaço a REM não sofre interferências, a coleta de dados segue as seguintes etapas: a REM derivada do sol se propaga através da atmosfera até atingir a superfície terrestre. Ao atingir o alvo terrestre a REM (irradiância) sofre interações com esse alvo produzindo uma radiação de retorno (radiância). Essa radiação de retorno se propaga novamente pela atmosfera no sentido superfície - sensor (NOVO, 2008).

No entanto, ao longo de sua trajetória a REM é atenuada, por meio dos processos de absorção e de espalhamento, pelos gases e aerossóis que compõem a atmosfera local, sendo que a concentração desses gases está relacionada intrinsecamente com as características locais, ou seja, à altitude, à pressão e temperatura, à posição geográfica além das estações do ano (NOVO, 2008; MOREIRA, 2001).

Além disso, dependendo do tamanho e da quantidade das partículas difusoras e dos gases absorvedores de energia presentes na atmosfera local e temporal, as reais características do alvo podem ser “mascarar”, pois as principais bandas de absorção e/ou de emissão de radiação são resultantes das transições de energia rotacional e vibracional das moléculas dos objetos terrestres, bem como de suas interações com os constituintes atmosféricos. (LATORRE e colaboradores, 2002).

A título de esclarecimento, a absorção atmosférica é entendida como um fenômeno termodinâmico em que a energia incidente é perdida para os gases

constituintes da atmosfera, em comprimentos de onda (λ) distintos (LATORRE e colaboradores, 2002).

Já o espalhamento atmosférico é entendido como a mudança aleatória da direção de propagação da radiação solar decorrente da interação desse fluxo radiante com os componentes atmosféricos, sem que haja, no entanto, mudança no comprimento de onda (λ) (MENESES e ALMEIDA, 2012).

E, segundo Latorre e colaboradores (2002) o espalhamento atmosférico é observado em todos os intervalos de comprimento de onda (λ) do espectro eletromagnético, nos dois sentidos da trajetória da REM e pode ser representado pela razão entre o tamanho das partículas dos constituintes atmosféricos existentes e o comprimento de onda (λ) incidente.

A **Figura 2.1** apresenta a interação da REM com os componentes atmosféricos.

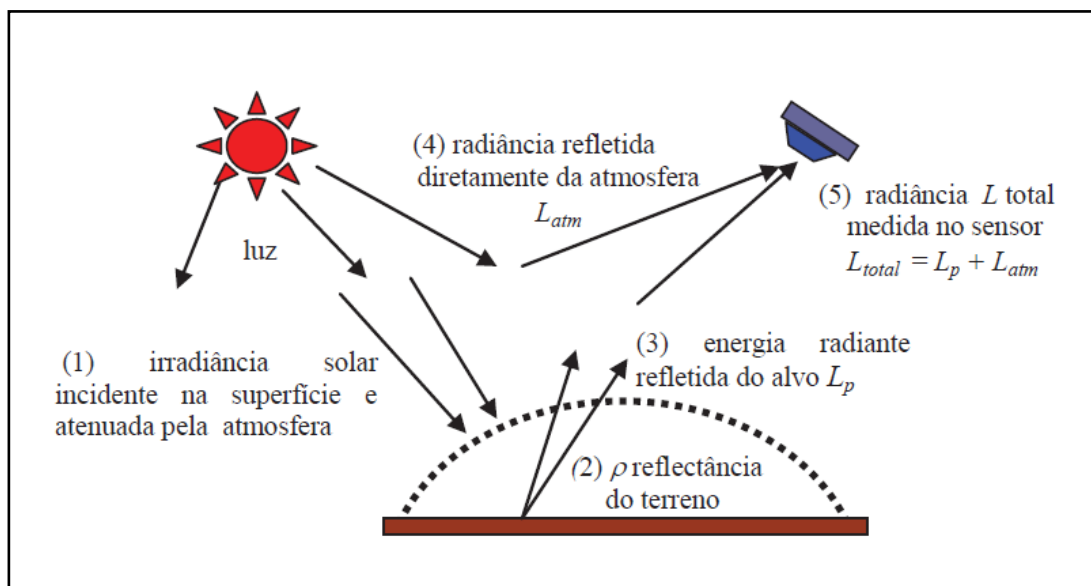


Figura 2.1: interação da radiação solar com a atmosfera terrestre.

Fonte: (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Quanto à constituição da atmosfera, dois principais grupos podem ser estabelecidos, sendo esses: gases e particulados. A atmosfera gasosa é composta por um grupo de gases permanentes e outros de concentração variável (LATORRE e colaboradores, 2002).

Alguns componentes atmosféricos como o oxigênio, o ozônio, o gás carbônico e o vapor d'água absorvem a energia eletromagnética em determinadas bandas do

espectro, tornando a atmosfera uma barreira para a transmissão da radiação nesses intervalos (NOVO, 2008; MOREIRA, 2001).

A **Tabela 2.1** apresenta a síntese dos constituintes gasosos da atmosfera em ordem decrescente de concentração.

Tabela 2.1 – Constituintes gasosos da atmosfera.

Constituintes gasosos de concentração permanente	% de concentração
Nitrogênio (N)	78×10^0
Oxigênio (O ₂)	$20,90 \times 10^0$
Argônio (Ar)	$0,90 \times 10^0$
Dióxido de Carbono (CO ₂)	$0,03 \times 10^0$
Neônio (Ne)	$18,18 \times 10^{-4}$
Hélio (He)	$5,24 \times 10^{-4}$
Kriptônio (Kr)	$1,14 \times 10^{-4}$
Xenônio (Xe)	$0,89 \times 10^{-4}$
Hidrogênio (H ₂)	$0,50 \times 10^{-4}$
Metano (CH ₄)	$1,50 \times 10^{-4}$
Óxido Nitroso (N ₂ O)	$0,27 \times 10^{-4}$
Monóxido de Carbono (CO)	$0,19 \times 10^{-4}$
Constituintes de concentração variável	% de concentração
Vapor D'Água (H ₂ O _v)	$0,0 - 0,04 \times 10^0$
Ozônio (O ₃)	$0,0 - 12 \times 10^{-4}$
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	$0,10 \times 10^{-6}$
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	$0,10 \times 10^{-6}$
Amônia (NH ₃)	$0,40 \times 10^{-6}$
Óxido Nítrico (NO)	$0,50 \times 10^{-7}$
Sulfito de Hidrogênio (H ₂ S)	$0,50 \times 10^{-8}$

Entre as principais evidências dos efeitos atmosféricos sobre os dados coletados está a diminuição do brilho da superfície em regiões espectrais específicas e a presença de névoa, com perda de nitidez, nas regiões dos menores comprimentos de onda (λ) (LATORRE e colaboradores, 2002).

Tais observações são, na verdade, um persistente e incômodo problema na análise de dados de sensoriamento remoto, e para que as informações sobre as características dos alvos terrestres apresentem o mínimo de interferências dos efeitos atmosféricos, o tratamento da imagem torna-se necessário, principalmente quando são realizadas operações entre bandas, assim como quando há relacionamentos entre dados obtidos por sensores remotos com parâmetros biofísicos e em estudos multitemporais (MENESES e ALMEIDA, 2002).

2.3. Correção atmosférica

A literatura relata diversos métodos para correção atmosférica para dados multiespectrais e hiperspectrais. Esses métodos podem ser classificados em alternativos e físicos, em que o primeiro utiliza os números digitais existentes em *pixels*, que representam feições específicas referentes apenas às informações da própria imagem, a fim de que o nível dos efeitos atmosféricos em cada banda espectral seja aferido. O *Internal Average Relative Reflectance (IARR)* (KRUSE, 2004; 1993); o *Empirical Line* (CASELLES e LÓPEZ GARCÍA, 1989; MORAN, e colaboradores, 2001; SMITH e colaboradores, 1999); o *Flat Field* (ROBERTS e colaboradores, 1986) e o Método do Histograma Mínimo (SCHOWENGERDT, 1997), são exemplos do método alternativo.

Já no segundo método, ou seja, nos métodos físicos, as propriedades ópticas da atmosfera, assim como a dinâmica do processo de interação da radiação com a atmosfera e com a superfície possuem papel fundamental para a sua aplicação (ENVI, 2009).

Esses métodos estão baseados na teoria da transferência radiativa (ENVI, 2009), com o objetivo de corrigir os efeitos atmosféricos considerando a complexidade da atmosfera, e com isso, os tipos de modelo são bastante variados. Dos modelos de correção atmosférica existentes, disponíveis em aplicativos de análise e tratamento de imagens de sensoriamento remoto, destacam-se: o 5S, o 6S, o LOWTRAN e o modelo MODTRAN, sendo esse último o originário do modelo aplicado no presente estudo, o FLAASH (BERK e colaboradores, 2002).

O MODTRAN (*Moderate Resolution Atmospheric Radiance and Transmittance Model*) processa dados de sensores hiperspectrais e multiespectrais nas faixas do infravermelho de ondas curtas (SWIR), visível e ultravioleta (UV), minimizando os efeitos do espalhamento e absorção atmosférica (ANDERSON e colaboradores, 1995). Criado para aumentar a resolução espectral do LOWTRAN, foi incrementado com um modelo de banda molecular mais sensível (BERK e colaboradores, 2002).

Ao longo do tempo de uso e testes, o MODTRAN vem sofrendo constantes atualizações de forma a otimizar seu desempenho. Já possui quatro versões, sendo que a mais atual, MODTRAN 4, contém algoritmos que aumentam a capacidade de predição dos efeitos atmosféricos em ambiente nublado e/ou aerossóis pesados (BERK e colaboradores, 2002; ADLER-GOLDEN e colaboradores, 1999).

O aplicativo FLAASH utiliza o código de transferência radiativa MODTRAN4 e executa a correção para o efeito de adjacência (mistura de pixel devido ao espalhamento de superfície) e também calcula a visibilidade média da cena (aerossol/névoa) (ENVI, 2003).

Já o aplicativo QUAC efetua a correção atmosférica a partir de modelos empíricos utilizando somente as informações contidas na cena, não necessitando de informação auxiliar. O processamento, significativamente mais rápido, consiste na busca da resposta espectral média dos objetos que compõem a cena (*endmembers*) (ENVI, 2003).

2.4. Janelas atmosféricas

Os intervalos de comprimento de onda (λ) nos quais a atmosfera transmite a radiação são conhecidos como janelas atmosféricas, as quais possuem grande importância para estudos da superfície terrestre, pois permitem a reflexão da radiação dos alvos terrestres gerando sinais que podem ser aproveitados pelos sistemas sensores passivos. Essas janelas atmosféricas localizam-se em toda a faixa do visível, porém, as janelas mais importantes localizam-se na região do infravermelho (WAGNER, 2004; MOREIRA LIMA, 2005). A **Figura 2.2** apresenta as janelas atmosféricas ao longo do espectro eletromagnético.

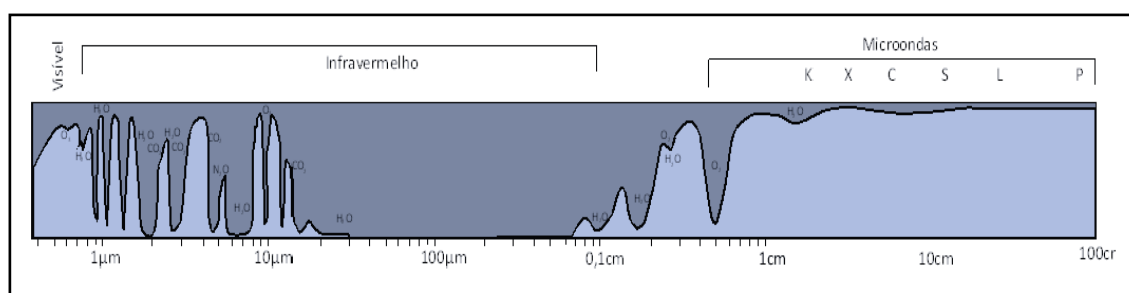


Figura 2.2: espectro eletromagnético, transmissividade atmosférica e comprimentos de onda usados em sensoriamento remoto.

Fonte: MENESES, 2012.

Os sensores multiespectrais possuem suas bandas posicionadas justamente nas janelas atmosféricas, as quais, como já dito, apresentam pouca absorção dos gases atmosféricos (WAGNER, 2004).

Esses sistemas multiespectrais, além de registrar a energia refletida ou emitida dos alvos de regiões distintas do espectro, convertem-na em sinal elétrico que, por sua vez será convertido em imagens digitais por meio de processamentos eletrônicos. Esse registro é feito por bandas espectrais e, dependendo das características do objeto, certas regiões do espectro eletromagnético favorecem a obtenção das informações sobre os seus parâmetros e fenômenos físicos (NOVO, 2008).

Os sinais convertidos são então transmitidos à Terra para análise e interpretação. Esses sinais são formatados em arquivos compatíveis com computadores para que o seu processamento seja possível e forneça dados significativos os quais contribuam em diversos tipos de investigação (WAGNER, 2004).

No caso do estudo de solos, por exemplo, os sensores de alta resolução espectral permitem que a identificação e o nível de detalhamento das propriedades dos minerais presentes sejam mais elevados. Por consequência, a precisão e confiabilidade de seus dados permitem minimizar dúvidas, antes observadas, em investigações similares realizadas por sensores com resolução espectral mais baixa (BAPTISTA, 2006).

Em termos gerais, a resolução espectral é definida como o número e a dimensão de intervalos de comprimentos de onda específicos, chamados de bandas ou canais, que subdividem o espectro eletromagnético e, a esses, um instrumento de sensoriamento remoto é sensível (JENSEN, 2009). A **Figura 2.3** apresenta as bandas espectrais do sensor ASTER.

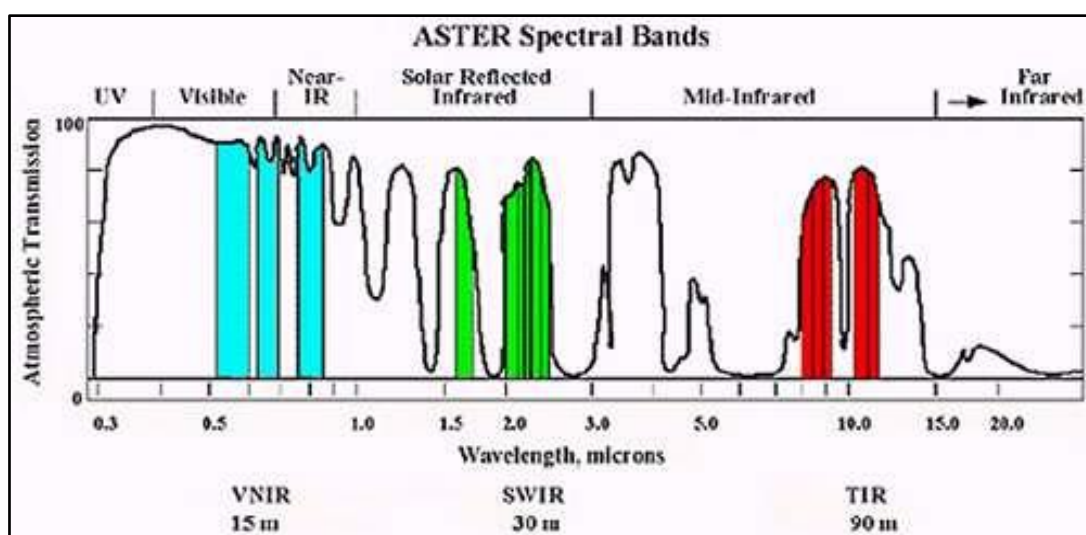


Figura 2.3: bandas espectrais do sensor ASTER.

Fonte: <http://www.engesat.com.br>, 2011.

Segundo Baptista (2006), as bandas espectrais geralmente são selecionadas com o objetivo de maximizar o contraste do alvo e o meio no qual estão e, a seleção do sensor e das bandas implica na qualidade dos dados como também nos resultados.

A assinatura espectral dos alvos está relacionada à singularidade da interação da radiação solar incidente com as propriedades físico-químicas dos alvos terrestres. Os níveis energéticos dos átomos dos objetos terrestres variam na quantidade de radiação eletromagnética (REM) absorvida, o que implica na REM refletida, pela matéria, em determinadas bandas. Essa feição espectral é proporcional à razão da radiação refletida pela radiação incidente. Assim, cada alvo possui sua própria assinatura espectral, ou seja, cada alvo reflete ou emite, de modo singular, dependendo das características da sua estrutura atômica e molecular (MENESES e MADEIRA NETTO, 2001).

Por meio da decomposição da radiação incidente em diferentes comprimentos de onda é possível obter as assinaturas espectrais dos alvos terrestres (DALMOLIN e colaboradores, 2005; BAUMGARDNER e colaboradores, 1985).

No caso dos solos, a assinatura espectral está relacionada ao comportamento espectral dos constituintes minerais, orgânicos e fluidos que, combinados, o compõem (MENESES e MADEIRA NETTO, 2001).

Por sua vez, nos minerais e rochas, as informações mais importantes que determinam as assinaturas espectrais e assim, a seleção das bandas de absorção, é a quantidade de íons ferrosos, férricos, de água e de hidroxila neles presentes (MENESES e MADEIRA NETTO, 2001).

2.5. Sensor *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* – ASTER

O sensor ASTER é considerado um sensor multiespectral e está a bordo do satélite Terra, lançado em 1999. É um produto de cooperação entre a NASA e o Ministério do Comércio Internacional e Indústria do Japão (Sulsoft, 2005).

O satélite Terra gira em órbita circular, quase polar, síncrono-solar, a uma altitude de 705 km, 30 minutos atrás do satélite Landsat 7. Cruza o equador às 10h30min da manhã, hora solar local, em órbita descendente, voltando à mesma órbita a cada 16 dias. Os parâmetros de órbita são os mesmos do satélite Landsat, mudando apenas o horário de passagem pelo Equador (ABRAMS e HOOK, 2007).

A coleta dos dados é feita por meio de 14 canais ou bandas espectrais desde a região do visível até a região do infravermelho termal. É composto por três subsistemas de instrumentos: VNIR (*Visible and Near Infrared Radiometer*), TIR (*Thermal Infrared Radiometer*) e SWIR (*Short Wave Infrared*) (JENSEN, 2009).

O subsistema SWIR, sistema aferido no presente estudo, opera em seis bandas espectrais na região de 1,6 μm (banda 4) a 2,43 μm (banda 9), por meio de um único telescópio apontado ao nadir, com resolução espacial de 30 x 30m. Um espelho de apontamento lateral com $\pm 8,5^\circ$ recobre as faixas adjacentes à faixa do nadir (JENSEN, 2009). A **Tabela 2.2** apresenta a descrição dos três subsistemas do sensor ASTER.

Tabela 2.2: características dos subsistemas do sensor ASTER.

Subsistema	Banda	Faixa espectral (μm)	Comprimento de onda médio (μm)	Resolução espacial (m)	Resolução radiométrica (bits)
VNIR	1	0,52 – 0,60	0,556	15	8
	2	0,63 – 0,69	0,661		
	3	0,78 – 0,86	0,807		
	4	1,60 – 1,70	1,656		
SWIR	5	2,145 – 2,185	2,167	30	8
	6	2,185 – 2,225	2,209		
	7	2,235 – 2,285	2,262		
	8	2,295 – 2,365	2,336		
	9	2,360 – 2,430	2,400		
TIR	10	8,125 – 8,475	8,291	90	12
	11	8,475 – 8,825	8,634		
	12	8,925 – 9,275	9,075		
	13	10,25 – 10,95	10,657		
	14	10,95 – 11,65	11,318		

Quanto à resolução temporal, o sensor ASTER opera em períodos determinados, em cada órbita, produzindo cerca de 650 cenas por dia. A justificativa para esse período reduzido de imageamento está na limitação de memória para armazenamento e capacidade de transmissão de dados. Todas as 650 cenas são adquiridas em nível de dados brutos, L1A, sendo que, desse total, cerca de 310 são dados brutos no nível do sensor, L1B, a partir de critério de cobertura de nuvens. Estes produtos são armazenados em arquivos no formato HDF (*Hierarchical Data Format*) (ABRAMS E HOOK, 2007).

Os dados digitais brutos contêm, normalmente, distorções geométricas tão significativas que inviabilizam sua utilização em forma de mapas e cartas temáticas. Esse tipo de distorção provém de fatores como variações na altitude, posição e velocidade da plataforma onde está instalado o sistema sensor, fatores decorrentes da

distorção panorâmica, da refração atmosférica, de variações de relevo e da não linearidade na varredura do IFOV do sensor. Assim, para que os dados tenham integridade geométrica aceitável é necessária a correção geométrica para que as variações decorrentes dos fatores supracitados sejam compensadas (ABRAMS E HOOK, 2007).

Os dados brutos do ASTER, os produtos L1A não apresentam a calibração dos coeficientes de correção geométrica, os coeficientes de calibração radiométrica e os coeficientes para correção do erro de paralaxe do SWIR, sendo esse um deslocamento no alinhamento do detector (*offset*), na direção do deslocamento da plataforma, que depende da distância entre a plataforma e a superfície observada na Terra (ABRAMS E HOOK, 2007).

Para tais correções sobre os produtos ASTER, geralmente aplicam-se técnicas de combinação (*matching*) ou de dados de modelos numéricos de terreno em função do nível de cobertura de nuvens. Os coeficientes de calibração radiométrica incidem nas informações de *offset* e sensibilidade, e são gerados a partir de uma base de dados para todos os detectores e atualizados periodicamente (ABRAMS E HOOK, 2007).

Quanto aos produtos L1B, os mesmos já são fornecidos com o ajuste de coordenadas em cada uma das bandas, além da correção radiométrica que são fornecidas em valores de DN (*Digital Number*) para diminuir o tamanho do arquivo. Esses dados encontram-se armazenados em arquivo *metadata* junto ao arquivo HDF. As bandas do SWIR e do TIR são registradas em relação ao VNIR e o erro de paralaxe do SWIR encontra-se corrigido. Os dados L1B padrão são gerados na projeção UTM e reamostrados por convolução cúbica (WAGNER, 2004).

Baptista e colaboradores (2007) utilizaram os dados brutos do subsistema SWIR do sensor ASTER para a determinação de zonas com variabilidade espacial dos minerais Caulinita e Gibbsita. Os dados L1A ASTER apresentaram resultados positivos na inferência da variabilidade dos minerais, apesar desses resultados não terem apresentado a mesma eficiência dos resultados do AVIRIS da análise laboratorial (LAB), o que pode ser justificado pela classificação dos imageadores, sendo considerados, como imageador hiperespectral (AVIRIS) e radiômetro com 862 medidas (LAB) e o ASTER como sensor multiespectral, o que supostamente significaria perda de precisão nas informações.

Ainda nesse estudo de 2007, Baptista e colaboradores observaram que, dependendo do aumento do teor do mineral Caulinita, a feição central, 2,2 μm era

registrada em mais de uma banda, talvez derivado da função de ganho dos detectores, ou seja, registro de “vazamento” de radiação eletromagnética entre as bandas, no caso, o efeito *crosstalk*.

2.6. Efeito *crosstalk*

O sensoriamento remoto também apresenta limitações em seu uso. Alguns autores, como Jensen (2009), acreditam que a maior limitação seja a superestimação dos dados. Além disso, segundo Meneses (MENESES e MADEIRA NETTO, 2001), os instrumentos dos sensores ópticos podem apresentar descalibração e defeitos em seus componentes, como por exemplo, defeitos nos detectores, esses responsáveis pela transformação da energia eletromagnética em sinal digital. Qualquer defeito nos detectores poderá causar comprometimento dos dados, invalidando assim, a análise do alvo.

Um dos tipos de defeitos identificados nos detectores é conhecido como *crosstalk*. Na verdade, o defeito *crosstalk* pode ser definido como o efeito de mistura de duas ou mais bandas espectrais. O processo desse efeito tem início na detecção da radiação pelos detectores, os quais são os componentes dos sensores responsáveis pela transformação do sinal analógico em sinal digital. E, para a real capacidade de transformação e transmissão de dados, cada canal ou banda espectral deve ser modulado em comprimentos de onda (λ) distintos. Quando há “vazamento” de radiação eletromagnética (REM) em um detector para outros detectores, diz-se que há efeito *crosstalk* (CEMIN, 2009)

Como já descrito, o subsistema SWIR do sensor ASTER opera em seis bandas espectrais na região de 1,60 a 2,43 μm e apresenta o vazamento de energia refletida nos detectores da banda 4, que compreende o intervalo de comprimento de onda entre 1,6 – 1,7 μm , para os detectores das bandas 5, que, por sua vez, compreende o intervalo de comprimento de onda entre 2,145 – 2,185 μm e, banda 9, que compreende o intervalo de comprimento de onda entre 2,3 – 2,4 μm . Essas duas bandas, 4 e 9, são as mais afetadas porque se localizam próximas dos detectores da banda 4 (IWASAKI e TONOOKA, 2005).

A banda 4 é a banda mais larga do SWIR, com 0,092 μm , sendo que a largura média das bandas que recebem o vazamento da energia refletida é de 0,052 μm . Além disso, seu domínio espectral está entre 1,6 e 1,7 μm , apresentando a maior reflectância.

Por isso, observa-se que a radiação incidente nos detectores da banda 4 é aproximadamente 4 a 5 vezes mais forte do que nos detectores das outras bandas. Esse excesso de radiação incidente nos detectores da banda 4 é refletido pela sua superfície nos circuitos elétricos adjacentes gerando reflexões múltiplas no plano focal das outras bandas do SWIR. A correção do efeito *crosstalk* tem sido feita por meio do aplicativo *Crosstalk Correction* desenvolvido pela *Spectral Sciences, Inc* (ERSDAC, 2003). A **Figura 2.4** representa o que seria o efeito *crosstalk*.

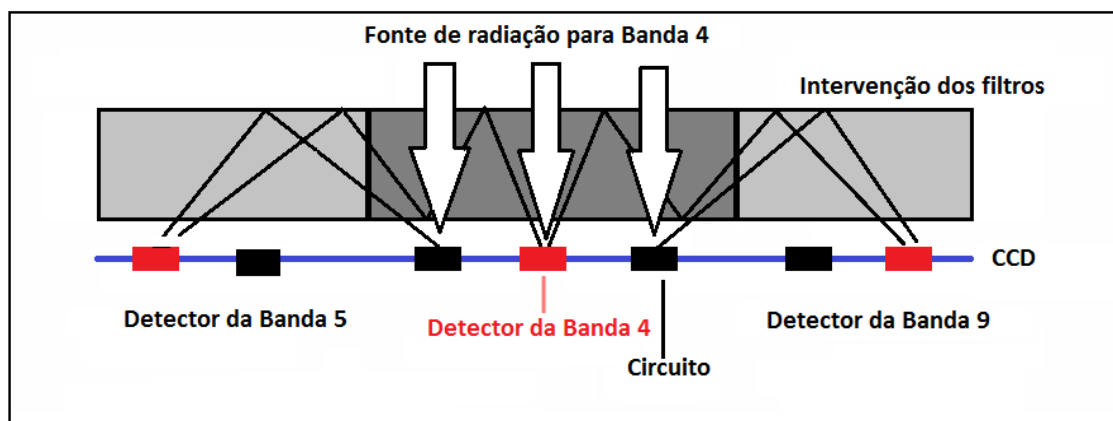


Figura 2.4: efeito *crosstalk* nos detectores do ASTER-SWIR.

Fonte: adaptado de CEMIN, 2009.

A Caulinita apresenta sua feição espectral mais acentuada no comprimento de onda $2,2\mu\text{m}$, e, considerando que a banda espectral responsável pela coleta da radiancia desse mineral é a banda 8 (JENSEN, 2009), os dados não apresentariam o efeito *crosstalk*. No entanto, nos estudos de Baptista (2007) o registro de vazamento foi observado no momento em que o conteúdo da Caulinita e da Gibbsita foi aumentado em 10%, em que a feição espectral de $2,2\mu\text{m}$ também foi registrada nas bandas 5 e 7. No caso do mineral Gibbsita, a feição mais definida está registrada no comprimento de onda $2,3\mu\text{m}$, comprimento de onda esse discriminado pelas bandas espectrais 8 e 9 (JENSEN, 2009), podendo apresentar o vazamento da REM não pelo aumento do conteúdo de minerais e sim por defeito de detectores da banda 9 já existente. A **Figura 2.5** representa os espectros da caulinita e da gibbsita referentes ao ponto 13 do transecto da área de São João d'Aliança, extraídos da imagem L1B com o efeito *crosstalk* e da imagem AVIRIS reamostrado (BAPTISTA e colaboradores, 2011).

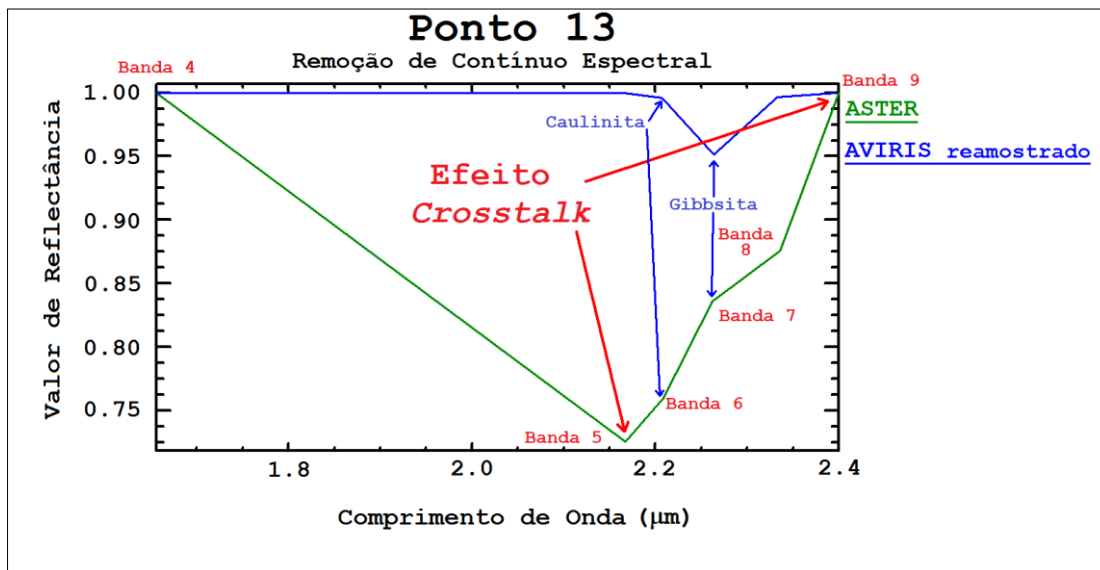


Figura 2.5: espectros da caulinita e da gibbsita referentes ao ponto 13 do transecto da área de São João D’Aliança, extraídos da imagem L1B ASTER-SWIR, com o efeito *crosstalk* e da imagem AVIRIS reamostrado (BAPTISTA e colaboradores, 2011).

O espectro do AVIRIS não possui o efeito *crosstalk* e, pode-se notar que esse espectro apresenta as feições de absorção da caulinita e da gibbsita centradas em 2,2 μm e em 2,3 μm e ainda o comportamento contínuo ao longo das regiões das demais bandas.

No entanto, no espectro do ASTER é possível identificar, além das feições de absorção da caulinita e da gibbsita, picos de absorções na banda 5 e na banda 9 derivadas do “vazamento” de radiância proveniente da banda 4.

2.7. Comportamento espectral dos solos e minerais

Observar-se no comportamento espectral dos solos, que a formação desses está diretamente associada às transformações intempéricas inerentes à interação da crosta terrestre com os processos da atmosfera, da hidrosfera e da biosfera, isto é, as rochas tendem a se decompor, formando assim, o manto de intemperismo, também chamados de regolitos (MENESES, 2003).

O intemperismo pode ser entendido como o conjunto de processos de ordem física e química que contribuem para a decomposição dos minerais das rochas quando há seu afloramento. Os produtos do intemperismo estão sujeitos a outros processos,

como a erosão, o transporte, a sedimentação os quais avançam o processo de denudação e aplainamento do relevo (PRESS e colaboradores, 2006).

O principal fator controlador do intemperismo é o clima. Esse possui, como componentes básicos, a temperatura, a umidade, o regime de ventos, a evaporação, a insolação, a pluviosidade, a topografia, a altitude, entre outros que, correlacionados com as atividades biológicas, determinam o tipo de intemperismo que a rocha sofre em determinada região da superfície terrestre (PRESS e colaboradores, 2006).

Os solos tropicais geralmente apresentam alto grau de intemperismo, consequência do clima quente e úmido, uma vez que altas temperaturas e chuvas intensas aumentam a taxa de crescimento de organismos e, assim, promovem o intemperismo químico. Esse processo é caracterizado pela reação química entre a rocha e soluções aquosas diversas, e geralmente precede o intemperismo físico, que reduz a rocha em fragmentos menores favorecendo o processo de erosão. As precipitações são compostas não somente por água, mas também por gases presentes na atmosfera que nela se dissolvem. Os gases que possuem relevante contribuição para o processo de intemperismo químico são o Oxigênio (O_2) e o Gás Carbônico (CO_2). Existe ainda a contribuição do Nitrogênio, porém é necessário que esse esteja na forma de ácido nitroso e nítrico para que tenha ação corrosiva sobre as rochas (MENESES, 2003).

As reações do intemperismo químico são regidas pelas leis do equilíbrio químico e das oscilações das condições ambientais regionais, isso significa que o segmento que o intemperismo toma depende principalmente das propriedades da rocha-matriz, do clima, da presença ou ausência de solo, da cobertura vegetal, da topografia e do tempo de exposição da rocha à atmosfera (TEIXEIRA e colaboradores, 2009).

As principais reações intempéricas que acometem a maior parte da superfície terrestre são: a hidrólise, a hidratação, a dissolução e a oxidação (PRESS e colaboradores, 2006). No caso do presente estudo, a hidratação e a hidrólise são os processos preponderantes, sendo esses, portanto, descritos a seguir.

No primeiro processo, os minerais presentes no solo são hidratados pela atração entre os dipolos das moléculas de água e as cargas elétricas não neutralizadas das superfícies dos grãos. Nesse processo, as moléculas de água penetram na estrutura mineral, modificando e formando, assim, um novo mineral (TEIXEIRA e colaboradores, 2009).

Já no segundo processo, os silicatos, principais minerais formadores das rochas, geralmente são obtidos pela reação de um ácido fraco e bases fortes e, quando em

contato com a água, sofrem a hidrólise resultando uma formação alcalina. O íon H^+ penetra na estrutura dos minerais e desloca principalmente os cátions alcalinos (K^+ e Na^+) e os alcalinos-terrosos (Ca^{2+} e Mg^{2+}), os quais são liberados para a solução. A estrutura do mineral na interface sólido/solução de alteração acaba sendo rompida, liberando assim, Si e Al na fase líquida. Esses elementos podem recombina-se, resultando na formação de minerais secundários (TEIXEIRA e colaboradores, 2009).

É o caso da alteração por dissolução de um cristal de feldspato potássico em presença de água e ácido carbônico. Com a entrada de H^+ na estrutura do mineral, o K^+ é substituído, sendo totalmente eliminado pela solução de lixiviação. A sílica, no entanto, é parcialmente eliminada e, a quantidade restante, recombina-se com o alumínio também não eliminado, formando uma fase secundária argilosa, a caulinita (TEIXEIRA e colaboradores, 2009).

A hidrólise ocorre sempre na faixa de pH entre 5 e 9. Se o meio proporciona condições favoráveis para a renovação e continuidade das soluções reagentes, então essas se manterão sempre diluídas ausentes de componentes solúveis. O grau de eliminação dos elementos/substâncias dissolvidos define a intensidade de hidrólise. Por exemplo, no caso do feldspato potássico que apresenta hidrólise total, na qual toda sílica e todo potássio são eliminados. O resíduo da hidrólise total do K- feldspato é o hidróxido de alumínio, ou seja, a gibbsita, insolúvel nessa faixa de pH. (TEIXEIRA e colaboradores, 2009).

Ao se considerar que os latossolos são formados a partir da remoção de sílica e de bases trocáveis e por posterior acúmulo de alumínio, bem como o que resta de sílica encontra-se na caulinita, e que a gibbsita apresenta, além da sílica, alumínio, a relação entre os dois minerais pode permitir inferir sobre o grau de intemperismo das coberturas pedológicas (PRADO, 2007).

A mineralogia desse tipo de solo é composta por componentes em número limitado, tais como os argilominerais caulinita e montmorilonita, os óxidos de ferro e de alumínio, na fração argila, o quartzo nas frações silte e areia, além da matéria orgânica e água. Apesar dessa condição, as quantidades e proporções desses componentes minerais são fundamentais para a classificação e manejo do solo (BAPTISTA, 2006).

Segundo Meneses e Ferreira Jr. (2001), o espectro das rochas resulta da combinação dos espectros dos minerais constituintes, que por uma série de condições limitantes, não apresenta todas as feições identificadoras desses minerais. Assim também é a reflectância do solo, nesse, porém, além dos espectros dos minerais, há

também a contribuição do comportamento espectral dos constituintes orgânicos e fluidos os quais estabelecem as variações do processo de absorção da radiação eletromagnética (MENESES e MADEIRA NETTO, 2001).

A **Figura 2.6** apresenta os espectros de solos reamostrados para os sensores VNIR e SWIR do sistema ASTER com ênfase nas feições de absorção da caulinita (1) e da Gibbsita (2).

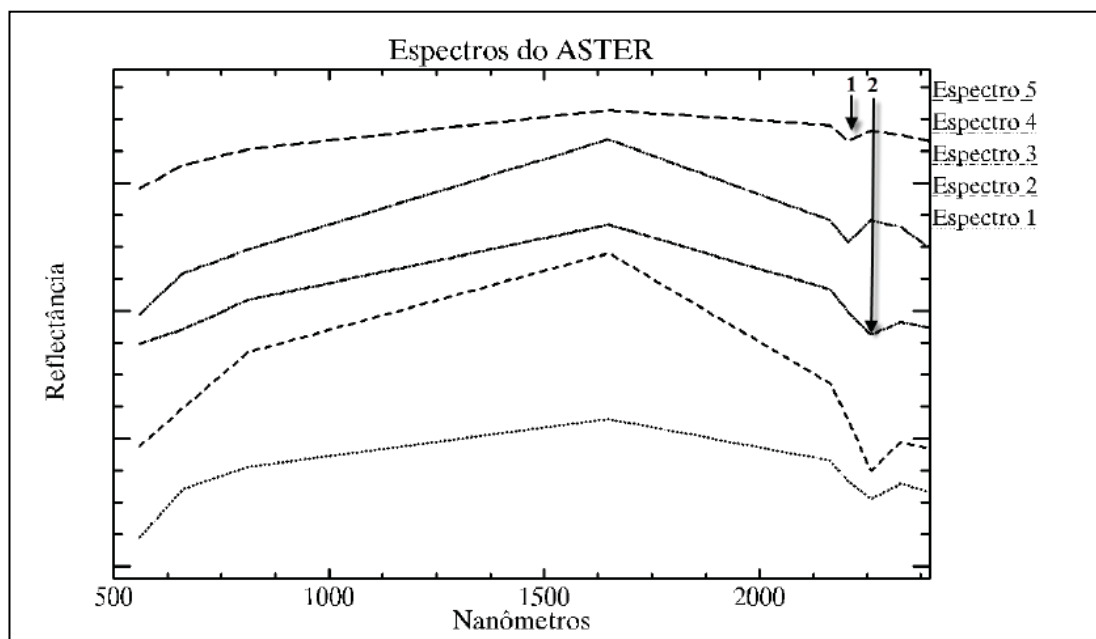


Figura 2.6: Espectros de solos reamostrados para os sensores VNIR e SWIR - ASTER.

Fonte: BAPTISTA in MENESES e ALMEIDA (2012).

Segundo MENESES e NETTO (2001), os *overtones* e os *combination tones*, vibrações de baixa intensidade de energia são ferramentas de interesse para o sensoriamento por ocorrerem no intervalo do infravermelho de ondas curtas e por estarem relacionados principalmente aos grupos CO_3^{2-} , BO_3^{3-} , PO_4^{3-} , OH^- e H_2O , sendo esses dois últimos grupos, os mais frequentes na ocorrência de absorção dos materiais e, quando as feições de absorções $1,4\mu\text{m}$ e $1,9\mu\text{m}$ são observadas, em um mesmo momento, pode-se afirmar que se trata da presença de H_2O .

Além disso, a hidroxila apresenta importantes feições de absorção no intervalo entre $2,2\mu\text{m}$ e $2,4\mu\text{m}$, decorrentes de *combinations tones* entre o modo fundamental de estiramento da OH e o modo fundamental de dobramento para a ligação M-OH, onde geralmente M é ocupado pelo Al ou o Mg. No caso da ligação Al-OH, as feições de

absorção são observadas em 2,2 e 2,3 μ m, ligação essa presente na estrutura molecular da Caulinita e da Gibbsita (MENESES e NETTO, 2001).

Portanto, de acordo com Meneses e Netto (2001), pode-se afirmar que a variação da quantidade de OH e de H₂O na composição dos solos conduzirá o tipo de vibração molecular, assim como determinará sua assinatura espectral, ou seja, seu comportamento ao longo do espectro eletromagnético.

A caulinita é um argilomineral presente em áreas com taxas pluviométricas anuais elevadas, em torno de 2000 a 3000 mm e, portanto, possui alta incidência em solos tropicais. No que tange às características físicas, a caulinita apresenta tons claros, variando entre o branco e o amarelo, decorrente da alteração do feldspato sólido pelo processo de hidrólise, em que o feldspato sofre fragmentação física e, ao mesmo tempo, a decomposição química (PRESS e colaboradores, 2006).

Esse argilomineral é um silicato de alumínio hidratado, ou seja, que contém água na estrutura cristalina. O espectro da caulinita apresenta intensa feição de absorção na região do infravermelho de ondas curtas, centradas em 1,4 μ m por influência do grupo OH, e em 2,2 μ m por influência da ligação Al-OH (MENESES e MADEIRA NETTO, 2001).

A essa última feição de absorção associa-se ainda a sua intensidade, a estrutura molecular do mineral, sendo essa composta por duas camadas dioctaédricas (Hunt e colaboradores, 1973 citado por Baptista, 2006). A banda de absorção da água é identificada próxima de 1,9 μ m e está relacionada à água molecular absorvida, e não à água constitucional (BAPTISTA, 2006).

A gibbsita é um mineral na fração argila presente, normalmente, em solos altamente intemperizados. É o caso dos latossolos localizados em antigas superfícies de erosão (MENESES e MADEIRA NETTO, 2001).

Esse mineral é um óxido de alumínio trihidratado e é considerado um dos principais componentes de depósito de bauxita formados por intemperismo químico de rochas com silicato de alumínio. O espectro da gibbsita apresenta intensa feição de absorção na região do infravermelho próximo, perto de 1,55 μ m e de ondas curtas, próxima de 2,3 μ m, e ocorrem predominantemente devido à interação da radiação eletromagnética com a estrutura molecular do grupo OH, ou seja, devido às vibrações moleculares harmônicas. A gibbsita também apresenta banda de absorção da água em 1,9 μ m, além da observada em 1,4 μ m (BAPTISTA, 2006). A **Figura 2.7** apresenta assinaturas espectrais da caulinita e da gibbsita.

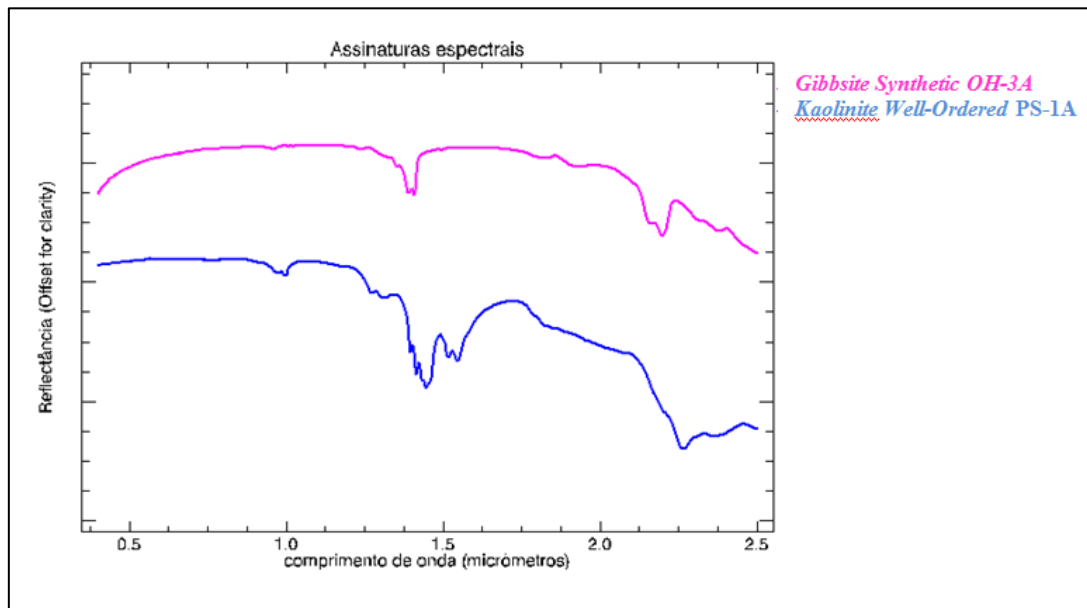


Figura 2.7: assinaturas espectrais dos minerais *Kaolinite Well-Ordered* PS-1A e *Gibbsite Synthetic* OH-3A da biblioteca espectral do JPL para o sensor ASTER.

Fonte: biblioteca espectral JPL.

Com base nas características dos dois minerais, observa-se, portanto, que ambos normalmente estão presentes em solos tropicais e que suas proporções podem ser consideradas como indicadores do grau de intemperismo das coberturas pedológicas locais (BAPTISTA e MADEIRA NETTO, 2001).

As assinaturas espectrais dos minerais Caulinita e Gibbsita se encontram em comprimentos de onda (λ) muito próximos e, para serem analisadas de maneira mais distinta, necessitam de dados fornecidos por sensores com resolução espectral maior (MENESES e MADEIRA NETTO, 2001).

2.8. Relação Caulinita/Gibbsita

Meneses e Madeira Netto (2001) observaram que, para possibilitar a análise dos espectros da caulinita e da gibbsita separadamente, os sensores deveriam possuir resolução espectral mínima da ordem de 5 μm . Baptista e colaboradores (1999 e 2007) comprovaram essa observação na identificação distinta das feições da caulinita e da gibbsita por meio dos sensores AVIRIS e ASTER.

A justificativa para a utilização desses dois minerais na determinação do Ki está no fato de que, em solos que apresentam níveis elevados de intemperismo, são observados fenômenos como a remoção de sílica e de bases do perfil pedológico, assim como o acúmulo de alumínio. Nesse contexto, a caulinita e a gibbsita são os agentes predominantemente influentes nos valores do índice Ki, uma vez que a caulinita apresenta em sua composição química, a sílica e a alumina, e a gibbsita apresenta alumina. Desse modo, para a determinação do Ki, a seguinte equação é utilizada (BAPTISTA, 2001):

$$Ki = \frac{[SiO_2]}{[Al_2O_3]} \quad \text{Equação (1)}$$

O resultado de Ki é inversamente proporcional ao grau de intemperismo do solo, ou seja, quanto menor for o valor de Ki, maior será o grau de intemperismo do solo em análise. Isso significa exatamente o que foi descrito anteriormente: retirada de sílica e acúmulo de alumínio (BAPTISTA, 2001).

A relação caulinita/gibbsita está baseada nas proporções em que esses dois minerais ocorrem no solo. As feições de absorção mais intensas tanto da caulinita quanto da gibbsita são observadas entre 2,0 e 2,3 μm , a partir disso, a relação caulinita/gibbsita foi desenvolvida por Madeira Netto (1993) com os pontos de reflectância mínima da caulinita e da gibbsita centradas, respectivamente em 2,205 μm e 2,265 μm em relação ao ponto de máxima em 2,225 μm . O ponto de máxima reflectância (R_{max}) aponta a intensidade de absorções, as quais podem ser calculadas por meio das equações para a caulinita e para a gibbsita descritas respectivamente (BAPTISTA, 2001):

$$IKaol = R_{\text{max}} - R_{2,205} \quad \text{Equação (2)}$$

$$IGib = R_{max} - R_{2,265} \quad \text{Equação (3)}$$

Calculadas as intensidades de absorção, torna-se possível a determinação do IK_i , que é proporcional à relação molecular K_i , índice do grau de intemperismo (BAPTISTA, 2001). O desenvolvimento dos índices IK_{aol} e $IGib$ está baseado em características dos minerais, como a proporcionalidade da intensidade, ou ainda, a profundidade da banda de absorção ao seu teor. Assim, Madeira Netto e colaboradores, (1995) desenvolveram uma relação espectral para a determinação de IK_i , sendo essa:

$$IK_i = \frac{IK_{aol}}{(IK_{aol} + IGib)} \quad \text{Equação (4)}$$

Madeira Netto e colaboradores (1995) observaram 53 amostras de solos em graus de intemperismos distintos e os resultados apresentaram, para os valores de K_i e IK_i , correlação significativa ($r=0,98$).

Ou seja, o estudo realizado por Madeira Netto e colaboradores (1995) verificou a possibilidade da estimativa do grau de intemperismo por meio dos espectros de reflectância de amostras de campo dos minerais presentes nos solos. E, a partir desse estudo, Baptista e colaboradores (1998) apresentaram resultados satisfatórios na identificação espectral da caulinita e da gibbsita por meio de dados AVIRIS, os quais podem contribuir significativamente na estimativa do grau de intemperismo de solos.

Em decorrência dos resultados satisfatórios do estudo realizado em 1998, Baptista e colaboradores (1999) realizaram um novo estudo, dessa vez apresentando resultados que mostravam a viabilidade do mapeamento da relação sílica/alumina, por meio dos dados AVIRIS, em solos tropicais. Para esse estudo Baptista e colaboradores (2001) escolheram solos dos municípios goianos de São João d'Aliança e Niquelândia.

No entanto, para que esse estudo fornecesse dados aceitáveis, os autores desenvolveram os índices espectrais $RCGb$ e $RCGb_{scale}$. O desenvolvimento do índice $RCGb$ foi necessário para solucionar um problema observado na escala dos valores de IK_i , os quais apresentaram valores negativos, o que poderia levar à uma interpretação equivocada. O $RCGb$ foi desenvolvido para estimar o grau de intemperismo em solos tropicais (BAPTISTA, 2001). Assim, o $RCGb$ possui os mesmos fundamentos do índice IK_i , tendo como equação:

$$RCGb = \frac{IKaol}{(IKaol+IGib)} \quad \text{Equação (5)}$$

A única diferença está na determinação de Ikaol e Igib baseada no procedimento de razão de três bandas de GAO e colaboradores (1993), no qual a determinação da relação das intensidades das feições dos minerais adotou-se a média dos valores de reflectância dos pontos de início e fim da feição, menos a média dos pontos de absorção ou de mínima reflectância (BAPTISTA, 2001).

Já o índice $RCGb_{scale}$ nada mais é que a relação caulinita-gibbsita, ou seja, remoção de sílica e acúmulo de alumínio, ou ainda, um índice proporcional ao Ki, desenvolvido a partir da modelagem sobre as imagens *scale* obtidas a partir da aplicação da classificação *Spectral Feature Fitting* (SFF) do programa ENVI, que torna possível a separação espacial dos minerais. Sendo, portanto apresentada pela seguinte equação:

$$\frac{Scale \text{ caulinita}}{(Scale \text{ caulinita}+Scale \text{ gibbsita})} \quad \text{Equação (6)}$$

Baptista (2001) ressalta que os experimentos espectrorradiométricos de reflectância por meio da análise espectral de imagens de sensores remotos são de grande importância para estudos de alvos geológicos e pedológicos, pois possibilitam analisar e interpretar o significado da informação espectral contida nos diferentes materiais que os compõem e influenciam. Isso implica em um melhor entendimento dos ambientes pedológicos de uma região e, para isso, é fundamental conhecer a diferenciação espacial dos diversos graus de intemperismo, pois conhecendo a variação espacial da mineralogia é possível esclarecer processos de gênese dos solos, assim como auxiliar na classificação, no mapeamento e na definição de sistemas de manejo mais apropriado (BAPTISTA, 2006).

Em estudos do comportamento espectral dos alvos, a análise da reflectância é feita por meio de experimentos laboratoriais e de campo e a estimativa da energia refletida é feita, geralmente, pela razão entre o fluxo radiante refletido e o fluxo radiante incidente. Esse método estimativo refere-se à reflectância difusa no qual, considera-se que a distribuição espacial das radiações incidente e refletida não varia (NOVO, 2008).

Assim sendo, para a composição da curva espectral do alvo, o que se busca é a amostra angular da reflectância difusa, mais especificamente a reflectância bidirecional, definida como a razão entre a radiância da amostra e a radiância de uma superfície lambertiana, nas mesmas condições de iluminação e observação (NOVO, 2008).

E, para que o estudo espectral de um alvo específico forneça resultados confiáveis é necessário que o sensor, e também as bandas espectrais, sejam compatíveis com o objetivo instituído no estudo, ou seja, que obtenham e forneçam, de forma mais precisa possível, as informações do alvo, pois quanto maior o número de bandas (resolução espectral), maior será a capacidade discriminatória do sensor (IBGE, 1999).

Desse modo, dois parâmetros devem ser observados com maior atenção: as resoluções espacial e espectral. A resolução espacial está relacionada à escala de trabalho, enquanto a resolução espectral está relacionada com a capacidade de discriminação dos alvos espectralmente similares (IBGE, 1999).

Segundo Carvalho Júnior e colaboradores (2005), as técnicas de análise espectral por meio da similaridade entre a curva de referência e a da imagem permitem uma boa estimativa para a identificação do alvo investigado. Inicialmente os classificadores espectrais foram desenvolvidos para análise de imagens de sensores hiperespectrais, no entanto, diversos estudos têm sido realizados com o objetivo de analisar, comparar e testar produtos de sensores multiespectrais na caracterização espectral dos alvos naturais apresentando resultados satisfatórios.

Baptista e colaboradores (2011), realizaram estudo com o objetivo de testar a viabilidade da aplicação do sensor AVIRIS (*Airborne Visible InfraRed Imaging Spectrometer*).

para mapear e quantificar os componentes mineralógicos de três solos brasileiros, um Latossolo vermelho em São João d'Aliança uma área e um Latossolo vermelho escuro e Argissolo em Niquelândia- GO. Foi aplicado o índice espectral $RCGb_{scale}$. A análise foi baseado nas características de absorção espectral dessa relação dos dois minerais a fim de avaliar o grau de intemperismo dos solos brasileiros. O índice foi aplicado sobre os dados e o resultado foi validado pela análise das amostras dos espectros de solo imaginada pelo AVIRIS os quais foram comparados com os dados de laboratório ATG (Análise gravimétrica térmica). Os resultados mostraram ser possível mapear e quantificar o grau de intemperismo dos solos, por meio da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita), sendo que as duas áreas estudadas apresentaram diferentes graus de intemperismo de seus solos, mesmo para um mesmo tipo de solo. A **Figura 2.8** apresenta o mapeamento quantitativo da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) dos dados AVIRIS realizado por Baptista e colaboradores (2011).

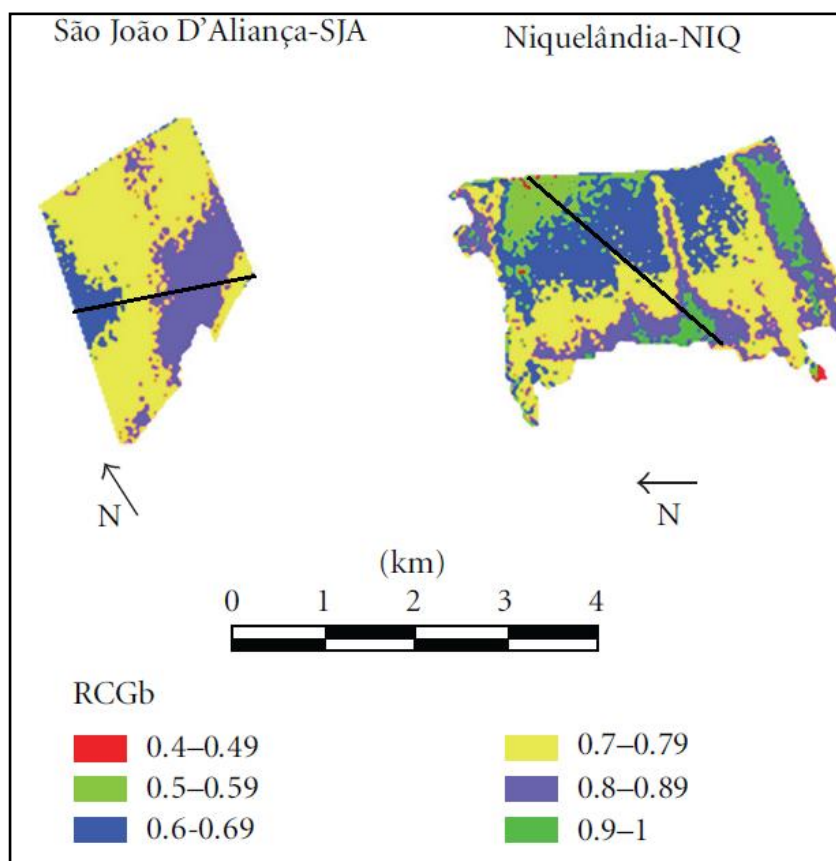


Figura 2.8: mapeamento quantitativo da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita)

Fonte: Baptista e colaboradores (2011).

Como último exemplo, porém não menos importante que os demais supracitados, ao contrário disso, o qual originou o presente estudo, têm-se os resultados da pesquisa realizada por Baptista e colaboradores (2007), pesquisa essa com o objetivo de identificar as feições espectrais dos minerais Caulinita e Gibbsita por meio dos dados do subsistema SWIR (*Shot Wave Infrared* – Infravermelho de Ondas Curtas) do sensor ASTER.

As feições espectrais foram comparadas com os teores dos minerais obtidos por meio de amostras coletadas no campo e comparadas com seus espectros obtidos em laboratório e com os dados AVIRIS. A área escolhida para a aplicação da pesquisa foi o município de São João d'Aliança, GO. Além de outros procedimentos no pré-processamento das imagens ASTER, os autores aplicaram o índice espectral $RCGb_{scale}$, índice desenvolvido por Baptista e colaboradores (1999), com a finalidade de determinar a relação entre os dois minerais, o qual será melhor explicado mais adiante.

Os resultados mostraram que mesmo sendo considerado um sensor multiespectral, o ASTER, por meio de seu subsistema SWIR, permite a determinação de

zonas com variabilidade espacial dos conteúdos de caulinita e de gibbsita, assim como a representação das feições espectrais desses dois minerais, observados um ponto de máxima reflectância entre as bandas centradas a 2,2 e 2,3 μm , localizado a 2,26 μm , onde teoricamente deveria ser apresentada a feição da gibbsita. Porém, mesmo assim, a aplicação do algoritmo *Spectral Feature Fitting* permitiu a espacialização dos minerais envolvidos no processo de intemperismo.

3. ÁREAS E ESTUDO

Este tópico aborda as características físico-ambientais das áreas de estudo. A descrição baseia-se predominantemente no estudo feito por Baptista (2001), uma vez que o presente estudo utiliza exatamente as mesmas porções.

3.1. Localização e caracterização socioeconômica das áreas de estudo

As áreas de estudo encontram-se inseridas nos municípios de Niquelândia e São João D'Aliança, localizados na porção norte do estado de Goiás, próximos à Chapada dos Veadeiros, aproximadamente 220 e 150 km de Brasília, e limitam-se pelos paralelos 14,7° e 14,47°S e aos meridianos 47,52° e 48,45°O, respectivamente (DNIT, 2012).

O acesso pode ser feito pela rodovia federal BR-020 a partir de Brasília sentido Planaltina. No trevo para a cidade de Formosa, vira-se à esquerda, na DF-345 até os limites do estado de Goiás, sendo que a estrada passa a se chamar GO-118 ou a BR-010 (Belém-Brasília). A **Figura 3.1** apresenta a localização das áreas de estudo inseridas nos dois municípios.

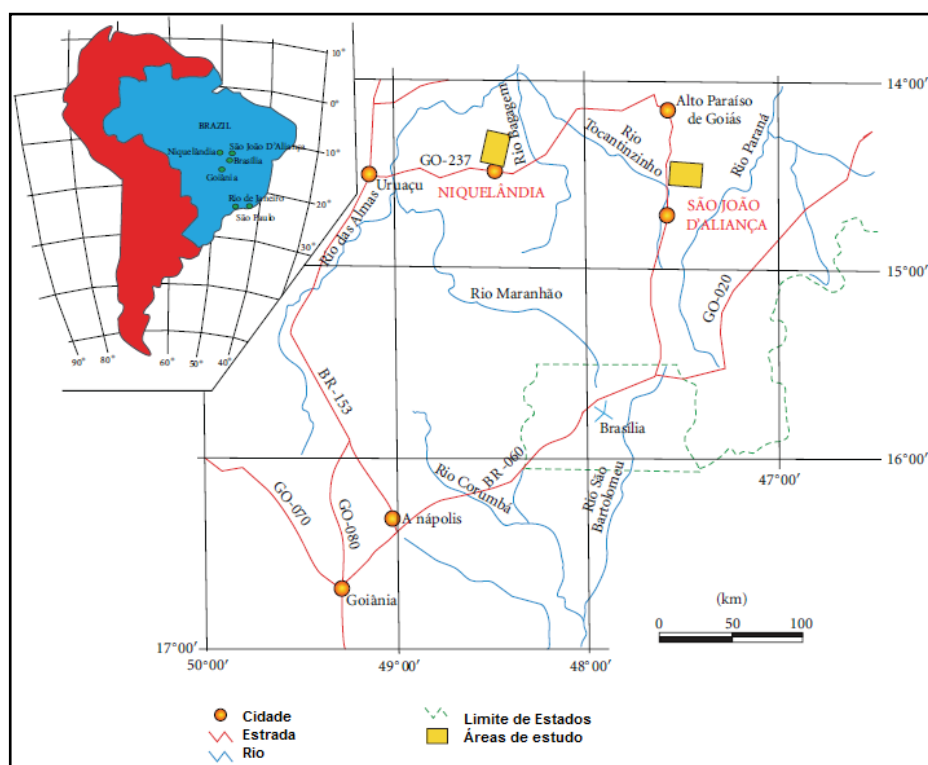


Figura 3.1: Mapa de localização e vias de acesso às áreas de estudo.

Fonte: adaptado de BAPTISTA, 2011.

Com área total de 9.843 km², Niquelândia é considerado o município goiano com maior extensão territorial. Sua população, de acordo com o censo demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 2010 é de 42.380 habitantes numa área de sendo que 79% corresponde à população urbana e 21% à rural.

Quanto a São João d'Aliança, o município encontra-se, de fato, nos limites pertencentes à Chapada dos Veadeiros. Possui população de 10.257 habitantes, segundo o censo demográfico de 2010 (IBGE, 2010), sendo que 66% corresponde à população urbana e, portanto, 33% à rural.

3.2. Geologia

O município de São João d'Aliança é cortado pela Serra Geral do Paranã e possui parte de sua área no Vale do Paraná, o qual apresenta topografia aplainada. Encontra-se inserido nas dobraduras do Grupo Paranoá que corta Brasília até Alto Paraíso de Goiás e, segundo a descrição de Faria (1995), o município basicamente tem formação granito-gnáissico além das unidades sedimentares proterozóicas do Grupo Paranoá. Esse Grupo possui idade meso-proterozóica, cerca de 1350 a 950 Ma, e é caracterizado por uma sequência deposicional, em ambiente marinho, com espessura da ordem de 1.600 m. São essas, da base para o topo: Paraconglomerado São Miguel (SM); Metarritmito (R₁); Quartzito fino a médio (Q₁); Metarritmito (R₂); Quartzito Microconglomerático (Q₂); Metassiltito Argiloso (S); Ardósia (A); Metarritmito Arenoso (R₃); Quartzito Médio (Q₃); Metarritmito Argiloso (R₄); Quartzito Feldspático (QF); Pelito-Carbonatada (PC).

Baptista (2006) apresentou, em seu trabalho, um esboço geológico inédito do município de São João d'Aliança, realizado por José Eloi G. Campos (1998), sendo que mostrou que a área de estudo encontra-se sobre a litofácies Metassiltito Argiloso (S).

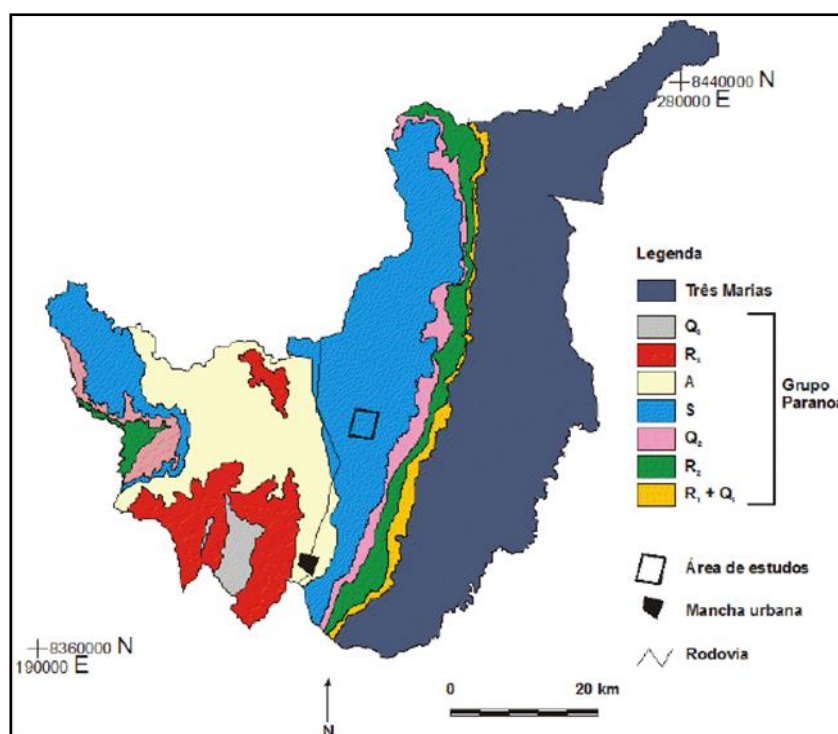


Figura 3.2: esboço geológico do município de São João d'Aliança realizado por José Eloi G. Campos (1998).

Fonte: BAPTISTA, 2001.

Quanto a Niquelândia, os aspectos geológicos observados são derivados de rochas metamórficas anfibolitos a granulíticos pertencentes à borda do Complexo máfico-ultramáfico (BAPTISTA, 2006).

Medeiros e Ferreira Filho (2001) discorrem sobre as duas abordagens para a leitura do complexo de Niquelândia, complexo esse com cerca de 1.800 km² de área e espessura da ordem de 15 km e litologias bem expostas, sendo a primeira apresentada como uma grande intrusão única com formação inicial pelo mesmo magma parental. A segunda abordagem descreve o complexo considerando duas intrusões distintas e não relacionadas, ou seja, o complexo de Niquelândia é composto por duas sequências superpostas petrologicamente distintas e tectonicamente justapostas (MEDEIROS e FERREIRA FILHO, 2001).

A primeira sequência apresenta uma série acamadada inferior (SAI), a leste (E), constituída por três zonas de rochas acamadadas, com imersão para oeste (W), seguindo-se o sentido: Zona Máfica Inferior (ZMI) - Zona Ultramáfica (ZU) e Zona Máfica Superior (ZMS). A ZMI é constituída por gabronorito com websterito e norito interacamadados. Essa zona é descrita como uma zona de cumulos basais localizados

estratigraficamente abaixo de ZU Medeiros e Ferreira Filho (2001). Por sua vez, a ZU tem por constituição, seqüências de unidades cíclicas com dunito, harzburgito, websterito e ortopiroxenito intercamadados e lherzolito e cromitito subordinados. A presença de unidades cíclicas indica injeções periódicas de magma na câmara, sendo que essas foram agrupadas em três subzonas, cada uma com regimes magmáticos distintos. O contato superior da ZU é gradacional para a ZMS e caracterizado pela diminuição gradativa da freqüência de camadas de rochas ultramáficas (MEDEIROS E FERREIRA FILHO, 2001).

Já a segunda seqüência apresenta uma série acamadada superior (SAS) a oeste (W), conhecida anteriormente como Unidade Serra dos Borges. Os últimos estudos geocronológicos, relativos à essa área, indicam que a SAS possui idade mesoproterozóica (cerca de 1,3 Ga), sendo, portanto mais jovem que a SAI, a qual, provavelmente tenha idade paleoproterozóica, segundo Ferreira Filho e Pimentel (2000). A **Figura 3.3** apresenta o esboço geológico do Complexo de Niquelândia – GO realizado por Ferreira Filho e colaboradores (1992).

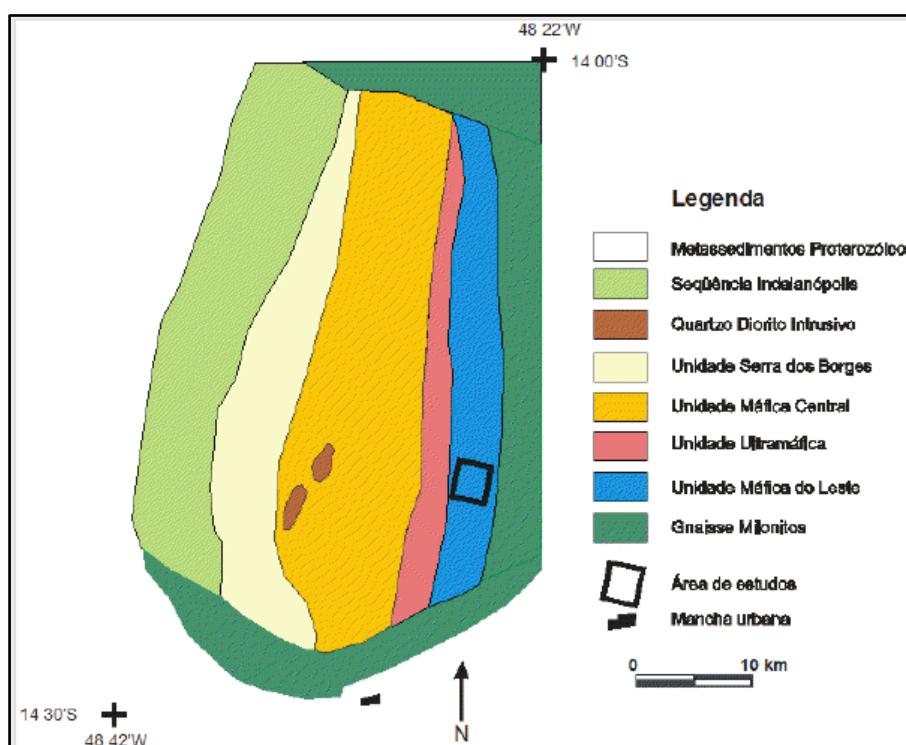


Figura 3.3: esboço geológico do Complexo de Niquelândia.

Fonte: FERREIRA FILHO *et al.* (1992) citado por BAPTISTA, 2001.

3.3. Geomorfologia

As duas áreas de estudo situam-se na macrounidade geomorfológica de planaltos em cinturões orogênicos de planaltos e serras de Goiás-Minas, as quais são divisores de água das bacias hidrográficas de Tocantins e São Francisco. Essa macrounidade é caracterizada como topo de vertente convexa declinada a 3% no sentido NW-SE (BAPTISTA, 2006).

Os planaltos compreendem a maior parte do território brasileiro, sendo a maior parte considerada vestígios de antigas formações erodidas. Os planaltos são chamados de "formas residuais", ou seja, são os elementos remanescentes do relevo intemperizado e erodido, apresentando um padrão de alinhamento de cristais. Em regra, as rochas metamórficas (quartzitos e maciços intrusivos de natureza granítica) compõem a base dessas estruturas. A serra Geral do Paranã é um exemplo desse tipo de planalto (BAPTISTA, 2006).

Em se tratando, especificamente dos planaltos dos cinturões orogênicos, esses tem sua origem na erosão sobre os antigos dobramentos, ao longo do território brasileiro, na Era Pré-Cambriana (FARIA, 1995).

Ocorre, na região sul do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, uma sequência psamo-pelito-carbonática atribuída ao Grupo Paranoá. Essa unidade se estende em sentido sul, ao longo da Serra Geral do Paranã, ocupando áreas nas regiões próximas ao Distrito Federal como é o caso de São João D'Aliança, uma das áreas de estudo (FARIA, 1995).

O Grupo Paranoá apresenta variações em sua estratigrafia, quando comparada às demais localidades de exposição da sequência. No caso da porção mais externa da Faixa de dobramento Brasília, Faria (1995) propôs uma coluna integrada que possibilita a correlação regional.

Assim como a área de estudo em São João d'Aliança, a área em análise em Niquelândia possui superfície aplainada intermediária bordada por estrutura mais soerguida. As duas áreas apresentam superfície de gradiente suave, variando entre 3% a 8% de declividade, o qual favorece o intemperismo químico em profundidades significativas por terem alto grau de permeabilidade vertical (BAPTISTA, 2006).

3.4. Solos

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos e o Mapa Pedológico Digital Atualizado do Distrito Federal (EMBRAPA, 2002; 1999), São João d'Aliança apresenta, em sua composição pedológica, o latossolo vermelho, o neossolo litólico, e plintossolo pétrico, em sua formação.

A área estudada em São João d'Aliança apresenta latossolo vermelho-escuro argiloso como predominante e segundo Baptista (2006), essa área caracteriza-se como topo de vertente convexa com caimento NW-SE.

Ainda, de acordo com o Sistema de classificação, supracitado e com Reatto e colaboradores (2004), a área de estudo inserida no município de Niquelândia apresenta solo constituído predominantemente por anfibolitos. Observa-se solo do tipo latossolo vermelho férrico (antigo latossolo roxo) estruturado pertencente aos argissolos, apresentando argila de atividade baixa e horizontal B textural (Bt), imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, não apresentando os requisitos estabelecidos para o enquadramento nas classes alissolos, planossolos, plintossolos ou gleissolos. O horizonte B textural caracteriza-se pela argiluviação do horizonte superficial para o subsuperficial (BAPTISTA, 2006).

Em linhas gerais, entende-se por latossolos os solos minerais não hidromórficos com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial. São solos altamente inemperizados, por remoção de sílica com concentração de minerais como a caulinita, óxidos, hidróxidos e oxi-hidróxidos de Fe e Al como a hematita, a goethita, a e a gibbsita. O quartzo, por ser muito resistente aos processos de intemperismo, permanece como mineral primário residual no perfil alterado. Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2002; 1999), as subordens dos Latossolos sofreram uma nova hierarquização, mais especificamente na classe dos Latossolos Brunos. Além disso, foi feita uma revisão de cores para distinguir Latossolos Amarelos dos Latossolos Vermelho-Amarelos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

As imagens ASTER-SWIR L1A e L1B, os produtos sob demanda AST_07 e AST_07XT SWIR, os programas ENVI®, CRSTX30, os módulos FLAASH e QUAC, constituem o conjunto de materiais utilizados nesse estudo e formam a base para o processamento das imagens, para correção atmosférica e correção *crosstalk*, assim como a aplicação do índice $RCGb_{scale}$ e do teste estatístico não paramétrico de *Mann-Whitney*.

4.1. Material

Para compor a base de dados foram utilizadas cenas da câmara SWIR do sensor ASTER de radiância L1A e L1B do município de São João D'Aliança, do dia 24 de outubro de 2001 e de Niquelândia, de 03 de junho de 2007, adquiridas no *site* WIST ECHO; duas imagens de reflectância (AST_07), produtos disponibilizados pelo ASTER, já com correção atmosférica e sem correção do efeito *crosstalk*; duas imagens de reflectância (AST_07XT), produtos disponibilizados pelo ASTER, com correção do efeito *crosstalk*; e os dados de campo de caulinita e gibbsita de 2001 obtidos por Baptista.

4.1.1. Imagens ASTER - SWIR

Os produtos L1A são imagens de cinza e não apresentam as calibrações dos coeficientes de correção geométrica, de calibração radiométrica, e dos coeficientes para correção do erro de paralaxe do SWIR. A calibração dos coeficientes de correção geométrica consiste numa série de transformações de coordenadas realizadas em cada uma das bandas. A calibração radiométrica consiste em correções a partir de informações de *offset* e sensibilidade, geradas a partir de uma base de dados para todos os detectores e atualizados periodicamente. Finalmente, a calibração dos coeficientes para correção do erro de paralaxe do SWIR, geralmente é feita utilizando técnicas de combinação (*matching*) ou de dados de modelos numéricos de terreno. O erro de paralaxe do SWIR ocorre devido a um deslocamento no alinhamento do detector (*offset*), na direção do deslocamento da plataforma, em função da distância entre a plataforma e a superfície observada na Terra (ERSDAC, 2003; ABRAMS e colaboradores, 2007).

Os produtos L1B apresentam os coeficientes de correção geométrica e radiométrica calibrados no nível do sensor, sendo armazenados em um arquivo de

metadados, distribuído junto ao arquivo HDF. As bandas do SWIR e do TIR são registradas em relação ao VNIR e o erro de paralaxe do SWIR apresenta a correção. Os dados L1B padrão são gerados na projeção UTM e reamostrados por convolução cúbica. Tanto as imagens L1A, quanto as imagens L1B são fornecidas em valores de DN (*Digital Number*) (ABRAMS e HOOK, 2007). A **Tabela 4.1** ilustra as características dos produtos que foram utilizados no presente estudo (ERSDAC, 2003; ABRAMS e colaboradores, 2007).

Tabela 4.1 – Parâmetros dos produtos ASTER utilizados no estudo.

Nome	Produto	Resolução espacial
AST L1A	Radiância (dados brutos)	30 metros
AST L1B	Radiância registrada no sensor	30 metros
AST_07	Reflectância	30 metros
AST_07XT	Reflectância	30 metros

Cenas referentes ao município de Niquelândia - GO

- AST_L1A_00306032007133140_20110920095728_4167
- AST_L1B_00306032007133140_20110920095728_4167

Cenas referentes ao município de São João D' Aliança - GO

- AST_L1A_00310242001133659_20110920095728_4168
- AST_L1B_00310242001133659_20110920095728_4168

4.1.2. Environment for Visualizing Images - ENVI

O ENVI é um programa desenvolvido pela SulSoft e tem por objetivo extrair informações de dados espaciais para análise de imagens de geoprocessamento (ENVI, 2009).

O programa disponibiliza ferramentas avançadas, as quais permitem importar, explorar, preparar, analisar e compartilhar informações das imagens geoespaciais de forma ágil e eficiente. Está baseado na plataforma IDL (*Interactive Data Language*) que facilita a expansão e customização da aplicação do programa. O ENVI processa imagens obtidas a partir de inúmeros tipos de satélites e de sensores aerotransportados, incluindo os sensores multiespectrais, como o ASTER (ENVI, 2009).

Dentre as ferramentas automatizadas de pré-processamento que o ENVI possui, está o módulo *Flat Field*, o qual converte a imagem de radiância em imagem de reflectância para que a análise espectral seja possível (ENVI, 2009).

As bibliotecas espectrais do ENVI referem-se a dados hiperespectrais e, para que seja possível o uso desses dados na análise desse estudo, esses precisaram ser reamostrados para sensores multiespectrais (ENVI, 2009).

4.1.2.1. Biblioteca Espectral JPL

As bibliotecas espectrais assumem o papel de norteadores para estudos de solos realizados por meio de dados de sensores multi e hiperespectrais, que visam detectar minerais opticamente ativos (GALVÃO e colaboradores, 2007).

Por meio delas é possível simular diversas situações, tanto em questões de monitoramento e análise de alvos terrestres, como em questões referentes aos sistemas de imageamento (BAPTISTA e colaboradores, 2006).

As bibliotecas espectrais são construídas por meio da aplicação da técnica da convolução que é um procedimento matemático sendo que, para cada banda espectral simulada (i), a radiância [L(i)] é igual ao somatório do produto das funções de resposta espectral da radiância [wSRF(c)L(c)] medida pelo radiômetro em cada um dos seus canais (GREEN E SHIMADA, 1997). A afirmativa é representada pela equação seguinte:

$$L(i) = \sum wSRF(c) L(c) \quad \text{Equação (7)}$$

O programa ENVI possui bibliotecas espectrais de minerais e rochas construídas considerando-se as suas feições de reflexão e absorção inerentes no espectro eletromagnético.

Nesse estudo, os espectros de referência utilizados são da biblioteca espectral do JPL (GROVE e colaboradores, 1992): *Kaolinite Well-Ordered PS-1A* e *Gibbsite Synthetic OH-3A*.

4.1.2.2. Spectral Feature Fitting – SFF

O *Spectral Feature Fitting* (SFF) é um método baseado no nível de absorção que ajusta o espectro dos pixels da imagem ao espectro de referência de uma biblioteca espectral por meio do ajuste por mínimos quadrados (ENVI, 2009).

O módulo do SFF do ENVI já executa a remoção do contínuo espectral, o que significa que o espectro de radiância ou reflectância do alvo é normalizado para que a

comparação de uma feição de absorção, a partir de uma linha de base comum, seja possível. Em termos técnicos, esse procedimento está baseado no ajuste de todo o espectro e utiliza estreitos segmentos de reta conectados aos pontos de máxima refletância (BAPTISTA, 2006).

O SFF fornece duas imagens: imagem *scale*, tida como a medida da intensidade da feição e imagem *RMS error*, relacionada ao erro quadrático. Para a obtenção da relação caulinita gibbsita, somente as imagens *scale* dos minerais foram utilizadas.

4.1.2.3. Flat Field

Segundo Baptista (in MENESES e ALMEIDA, 2012), a correção atmosférica é muito comum em estudos que abordam o comportamento das feições espectrais. A justificativa está na ideia de reduzir os dados brutos de radiância para dados de refletância de superfície, para facilitar a identificação das feições espectrais.

Porém existem alguns procedimentos de pré-processamento que permitem essa transformação sem alterar os efeitos de espalhamento e absorção: é o caso do módulo *Flat Field* (BAPTISTA in MENESES e ALMEIDA, 2012).

Esse módulo é definido como uma calibração normalizada eficaz na redução dos dados do espectrômetro a uma refletância relativa. O espectro médio da região de interesse é usado como o espectro de referência, que é dividido pelo espectro de cada pixel da imagem (BAPTISTA in MENESES e ALMEIDA, 2012).

4.1.2.4. Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes – FLAASH

FLAASH é um algoritmo desenvolvido pela *Spectral Sciences, Inc.*, sob o patrocínio do Laboratório de Pesquisa da Força Aérea dos EUA, com a finalidade de corrigir os efeitos atmosféricos em imagens de refletância de sensores hiperespectrais e multiespectrais em comprimentos de onda do visível, do infravermelho próximo, de ondas curtas e das regiões do infravermelho até 3 μm (ENVI, 2009).

O programa corrige os efeitos atmosféricos de imagens de sensores hiperespectrais, tais como, HyMAP, AVIRIS, HYDICE, HYPERION, Sonda-1, CASI e AISA e também imagens de sensores multiespectrais, como Landsat, SPOT, IRS, e ASTER adquiridas em qualquer vertical (nadir) ou inclinação geométrica. Para isso, o programa utiliza o código de transferência radiativa MODTRAN4 e executa a correção

para o efeito de adjacência (mistura de pixel devido ao espalhamento de superfície) e também calcula a visibilidade média da cena (aerossol/névoa) (KRUSE, 2004).

O FLAASH opera na faixa espectral entre 0,4 μm e 2,5 μm e os processamentos são feitos pixel a pixel. O modelo parte da imagem de radiância que chega ao sensor e, permite obter a reflectância de superfície a partir da derivação de parâmetros atmosféricos como albedo, altitude da superfície, coluna de vapor e água, profundidade óptica de aerossóis e nuvens, além da temperatura da superfície e atmosfera (KRUSE, 2004). A correção dos efeitos de adjacência, implementada no FLAASH, é especialmente importante em condições atmosféricas com neblina ou quando existe uma elevada discrepância entre a reflectância de pixels vizinhos. Os efeitos se manifestam mais em comprimentos de onda curtos (ENVI, 2009).

4.1.2.3. QUick Atmospheric Correction - QUAC

Módulo de correção atmosférica para imagens multiespectrais e hiperespectrais na faixa espectral entre 0,4 a 2,5 μm . Esse módulo efetua a correção atmosférica a partir de modelos empíricos utilizando somente as informações contidas na cena, não necessitando de informação auxiliar. O processamento, significativamente mais rápido, consiste na busca da resposta espectral média dos objetos que compõem a cena (*endmembers*) (ENVI, 2009).

4.1.2.4. Dados mineralógicos ATG (Análise Termo-Gravimétrica)

Segundo a descrição de Baptista (2006), as amostras de solos foram obtidas por meio de gradagem, passaram pelo procedimento de secadas ao ar e peneiradas a 2 mm. Em seguida foram colocadas em placas de Petri e posicionadas a 30 cm do radiômetro. Utilizou-se uma lâmpada de tungstênio de 150 Watts como fonte de REM e uma placa de referência de spectralon (substância quase 100% refletora) para o cálculo de reflectância. Tal procedimento foi realizado na Embrapa Cerrados por meio de um radiômetro GER (*Geophysicale Environmental Research Corp.*), modelo MARK V, o qual recobre uma faixa do espectro de 0,4 a 2,5 μm , com resolução espectral de 2nm na faixa de 0,4 a 1,0 μm e 4nm na faixa de 1,0 a 2,5 μm .

As amostras de solos foram coletadas com espaçamento de 100 m entre elas com 0 a 20 cm de profundidade. Para Niquelândia foram selecionados 17 pontos, seguindo um traçado com sentido O-L. Para São João D'Aliança foram selecionados 13

pontos, seguindo um traçado com sentido L-O (BAPTISTA, 2006). A **Tabela 3.4** apresenta os valores ATG dos pontos coletados dos dois municípios obtidos por Baptista (2001), os quais serão utilizados para a obtenção do RCGb.

Tabela 4.2: valores de ATG para São João D'Aliança e Niquelândia (BAPTISTA, 2001).

PONTO	ATG
SJA p1 (0-20 cm)	0,74
SJA p2 (0-20 cm)	0,71
SJA p3 (0-20 cm)	0,79
SJA p4 (0-20 cm)	0,83
SJA p5 (0-20 cm)	0,82
SJA p6 (0-20 cm)	0,81
SJA p7 (0-20 cm)	0,80
SJA p8 (0-20 cm)	0,77
SJA p9 (0-20 cm)	0,75
SJA p10 (0-20 cm)	0,74
SJA p11 (0-20 cm)	0,70
SJA p12 (0-20 cm)	0,70
SJA p13 (0-20 cm)	0,68
NIQ p1 (0-20 cm)	0,39
NIQ p2 (0-20 cm)	0,57
NIQ p3 (0-20 cm)	0,63
NIQ p4 (0-20 cm)	0,56
NIQ p5 (0-20 cm)	0,67
NIQ p6 (0-20 cm)	0,66
NIQ p7 (0-20 cm)	0,66
NIQ p8 (0-20 cm)	0,79
NIQ p9 (0-20 cm)	0,72
NIQ p10 (0-20 cm)	0,72
NIQ p11 (0-20 cm)	0,69
NIQ p12 (0-20 cm)	0,79
NIQ p13 (0-20 cm)	0,73
NIQ p14 (0-20 cm)	0,80
NIQ p15 (0-20 cm)	0,88
NIQ p16 (0-20 cm)	0,90
NIQ p17 (0-20 cm)	0,84

4.1.3. Crosstalk Correction - CRSTK 30

O SWIR é afetado por um problema de “vazamento” de sinal, o *crosstalk*, observado após o lançamento do ASTER em 1999. O detector SWIR contém 2.048 PT-SI (platina siliceto) matrizes para cada uma de suas seis bandas espectrais. Existem seis pares de matrizes escalonadas CCD lineares para cada banda, as quais estão espaçadas 1,33 µm na ordem em que as bandas se encontram, ou seja, 7, 8, 9, 4, 5, e 6. Na frente de cada par de matriz CCD, existem filtros de interferência que espectralmente separam a radiação reflectida provinda da superfície da terra (<http://lpdaac.usgs.gov>).

O problema está, de fato, nos detectores da banda 4, nos quais, a luz incidente é reflectida pelos detectores revestidos de alumínio os quais produzem o “vazamento” sobre os detectores das bandas vizinhas, ou seja, bandas 5 e 9. Além disso, o problema é agravado pelo efeito de paralaxe de banda para banda e a distância entre os pares de matriz CCD. A banda 4, além de ser a banda mais larga do SWIR, com largura de 0,092 µm, também é a banda com maior potência de refletividade, sendo sua radiação, cerca de 4 a 5 vezes mais intensa que as demais bandas (<https://lpdaac.usgs.gov>).

Para tentar resolver o problema de “vazamento” de radiação, o algoritmo CRSTK 30 foi desenvolvido pela ERSDAC e, para que o ajuste seja possível e o desempenho de separação espectral do SWIR seja melhorado, o algoritmo de correção precisa ser aplicado sobre os dados de entrada do produto de nível 1B do ASTER (ERSDAC, 2003).

4.1.4. Índice $RCGb_{scale}$

O SFF fornece duas imagens: imagem *scale*, tida como a medida da intensidade da feição e imagem *RMS error*, relacionada ao erro quadrático. Baptista (2001) obteve o índice espectral $RCGb_{scale}$ a partir da modelagem sobre as imagens *scale*, dos minerais caulinita e gibbsita, por meio da classificação *Spectral Feature Fitting* (SFF), desenvolvida por Clark e colaboradores (1990) pelo ajuste de mínimos quadrados entre os espectros de cada pixel e o espectro de referência de uma biblioteca espectral. A relação dos dois minerais fica, portanto, assim descrita:

$$\frac{Scale_{caulinita}}{Scale_{caulinita} + Scale_{gibbsita}} \quad \text{Equação (8)}$$

4.1.5. Análise estatística não paramétrica de *Mann-Whitney*

As estatísticas não paramétricas, assim como as estatísticas paramétricas, são técnicas de inferência estatística. Diferem das segundas na medida em que podem ser utilizadas com distribuições de resultados que não obedecem aos parâmetros da curva normal. Estes testes podem ser utilizados quando os dados experimentais são mensurados com base em escalas de medida ao nível ordinal ou nominal. O método não paramétrico coloca os resultados numa ordem de grandeza, portanto, apenas mede a variabilidade dos resultados de forma indireta, ao contrário dos testes paramétricos, que podem medir a proporção exata de variabilidade total dos resultados (CONOVER, 1971).

Para essa etapa, a análise estatística não paramétrica *Mann-Whitney* foi escolhida e aplicada nos produtos $RCGb_{scale}$ e também nos dados de campo de 2001, $RCGb_{ATG}$ dos dois municípios goianos a fim de avaliar o grau de precisão desse índice espectral em produtos ASTER.

Essa análise estatística é um teste alternativo ao teste *t-Student* para comparar as médias de duas amostras independentes. Trata-se de uma interessante alternativa ao teste paramétrico para igualdade de médias, pois o teste não exige considerações sobre a distribuição populacional. O único pressuposto exigido para a aplicação do teste M-W é que as duas amostras sejam independentes e aleatórias, e que as variáveis em análise sejam numéricas ou ordinais (CONOVER, 1971).

4.2. Métodos

Para que o objetivo do estudo fosse alcançado, as etapas descritas a seguir compuseram o conjunto de métodos.

Os processamentos foram organizados de acordo com a combinação entre a natureza dos dados das imagens ASTER-SWIR e os tipos de processamentos e módulos aplicados para a preparação dos dados, ou seja, conversão de imagem (*Flat Field*), correção atmosférica (FLAASH e QUAC) e correção *crosstalk* (CRSTK30), para que o índice espectral $RCGb_{scale}$ fosse, de fato, aplicado.

O manual do programa ENVI (ENVI, 2009) recomenda a reamostragem espacial dos dados do SWIR de 30 para 15m e combinados com os do VNIR formando um único conjunto de dados com 9 bandas, para a aplicação dos módulos FLAASH e QUAC.

Mesmo não sendo necessária a reamostragem espacial nos processamentos nos quais o módulo de correção atmosférica FLAASH não foi aplicado, decidiu-se realizar a reamostragem espacial de 30m para 15m, por meio do módulo *resize data* do ENVI®, com a intenção de padronizar a resolução espacial das imagens de todos os processamentos.

4.2.1. Processamento 1: Imagem de radiância L1A (dados brutos) ASTER-SWIR, sem correção *crossstalk* e sem correção atmosférica

A máscara da área foi criada por meio da ferramenta ROI, *region of interest* do programa ENVI®.

A área de interesse foi recortada por meio do aplicativo *build mask*, o qual cria uma imagem binária de valores 0 e 1, sendo que, a imagem recortada apresenta, portanto, as áreas sob o valor 1 processadas e, exclui aquelas sob o valor 0 (ENVI, 2009). O objetivo do recorte da área de interesse na imagem é limitar os dados ao alvo pretendido, facilitando, assim, as análises posteriores.

Foram selecionadas, nas imagens de radiância L1A (dados brutos), feições com homogeneidade espectral significativa, ou seja, que fossem espectralmente planas, para que fossem comparadas com os dados referentes ao espectro da caulinita e da gibbsita da biblioteca espectral jpl1. Essas feições foram salvas como regiões de interesse.

Seguiu-se ao próximo passo do processo, sendo esse, a aplicação do módulo *Spectral Feature Fitting* (SFF) do programa ENVI®.

Realizou-se a reamostragem dos espectros dos minerais *Kaolinite Well-Ordered PS-1A* e *Gibbsite Synthetic OH-3A* da biblioteca espectral do JPL para o sensor ASTER.

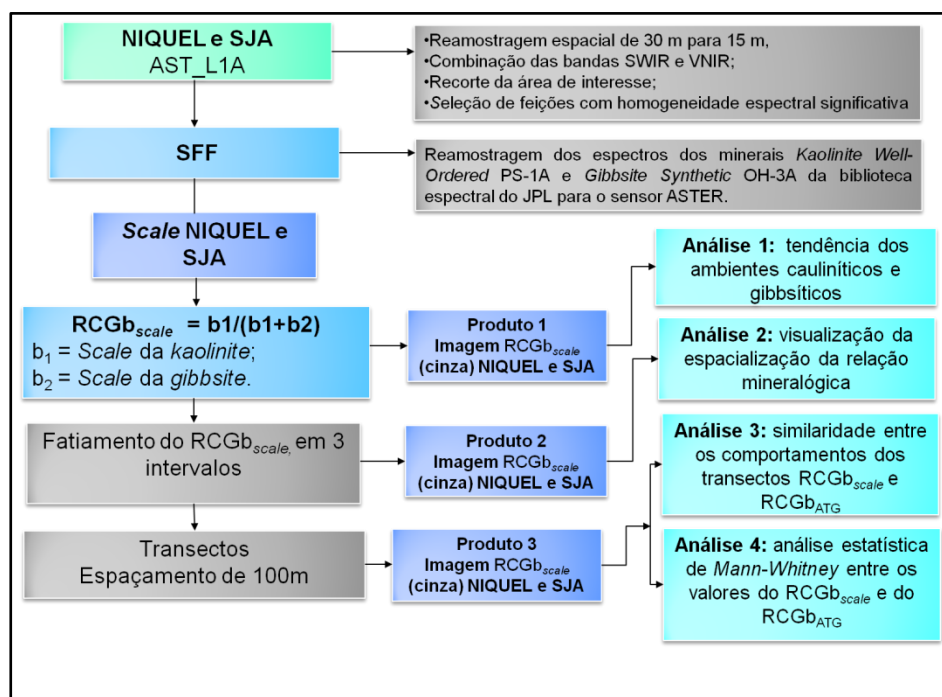
A aplicação do índice espectral $RCGb_{scale}$ foi feita, por meio do módulo *band math*, no qual foi inserida a expressão $\frac{b_1}{(b_1+b_2)}$ em que, b_1 referiu-se à imagem *scale* da *kaolinite* e, b_2 , à imagem *scale* da *gibbsite*.

Por meio da ferramenta *density slices* foi feito o fatiamento dos valores obtidos com a aplicação do $RCGb_{scale}$, no qual, para os valores em níveis de cinza foram atribuídas as cores vermelha, para valores (0,25 a 0,50) mais baixos, verde, para valores intermediários (0,50 a 0,75) e azul, para valores mais elevados (0,75 a 1,0) a fim de que a variação dos valores referentes à relação *Caulinita/(Caulina+Gibbsita)* fosse realçada.

Sobre a imagem foi traçado o transecto para selecionar os 13 pontos para São João D’Aliança e os 17 pontos para Niquelândia baseados no traçado das amostras de campo coletadas por Baptista (2001) nas áreas de estudo.

Por fim, aplicou-se a análise estatística não paramétrica de *Mann-Whitney* sobre os dados obtidos por meio da aplicação do $RCGb_{scale}$ e sobre os valores das amostras coletadas em campo $RCGb_{ATG}$ (BAPTISTA, 2001) a fim de avaliar a similaridade entre os seus valores. O **fluxograma 4.1** apresenta as etapas do processamento das imagens L1A (dados brutos).

Fluxograma 4.1: etapas do processamento das imagens L1A (dados brutos), sem correção *crossstalk* e sem correção atmosférica.



4.2.2. Processamento 2: Imagem de radiância L1B (radiância no nível do sensor) ASTER-SWIR, sem correção *crossstalk* e sem correção atmosférica

O recorte da área de estudo foi realizado por meio do aplicativo *build mask* e, para a criação da máscara, as áreas foram vetorizadas por meio da ferramenta ROI, *region of interest* do programa ENVI®.

Foram selecionadas feições com homogeneidade espectral significativa e salvas como regiões de interesse.

Aplicou-se o módulo *Spectral Feature Fitting* (SFF) do programa ENVI®.

Realizou-se a reamostragem dos espectros dos minerais *Kaolinite Well-Ordered* PS-1A e *Gibbsite Synthetic* OH-3A da biblioteca espectral do JPL para o sensor ASTER.

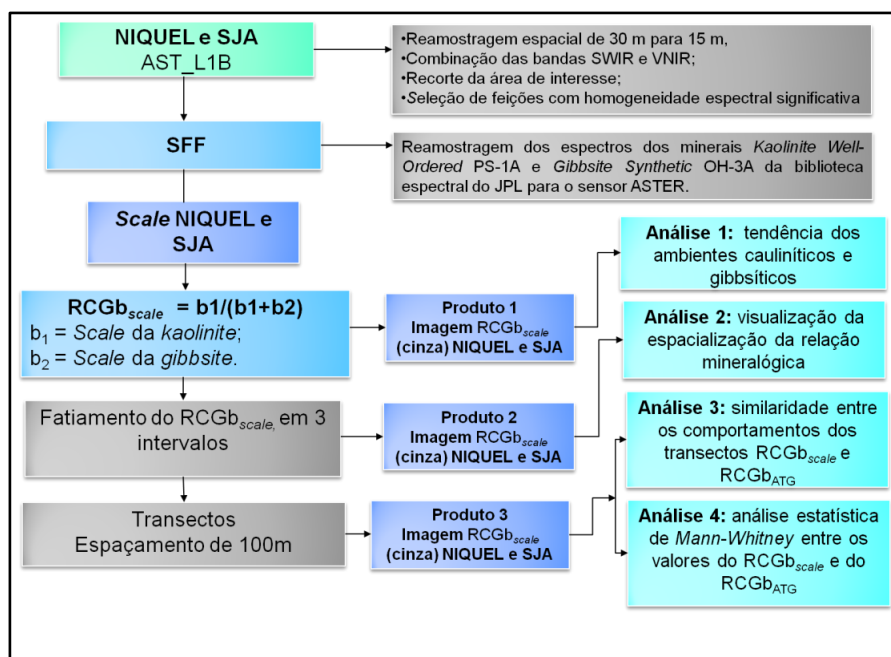
Assim como no processamento 1, a aplicação do índice espectral $RCGb_{scale}$ foi feita, por meio do módulo *band math*, no qual foi inserida a expressão $\frac{b_1}{(b_1+b_2)}$ em que, b_1 referiu-se à imagem *scale* da *kaolinite* e, b_2 , à imagem *scale* da *gibbsite*.

Por meio da ferramenta *density slices* os valores obtidos da aplicação do $RCGb_{scale}$, foram fatiados em intervalos (0,25 a 0,50; 0,50 a 0,75 e 0,75 a 1,0) a fim de verificar a espacialização da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita).

Sobre a imagem foi traçado o transecto para seleccionar os 13 pontos para São João D’Aliança e os 17 pontos para Niquelândia baseados no traçado das amostras de campo coletadas por Baptista (2001) nas áreas de estudo.

Por fim, aplicou-se o teste estatístico, não paramétrico, de *Mann-Whitney* sobre os dados obtidos por meio da aplicação do $RCGb_{scale}$ e sobre os valores das amostras coletadas em campo $RCGb_{ATG}$ (BAPTISTA, 2001), a fim de avaliar a similaridade entre esses dados na identificação da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) em imagens L1B (radiância no nível do sensor) ASTER-SWIR. O **fluxograma 4.2** apresenta as etapas do processamento das imagens L1B (radiância no nível do sensor).

Fluxograma 4.2: etapas do processamento das imagens L1B (radiância no nível do sensor).



4.2.3. Processamento 3: Imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, por meio do módulo *Flat Field*, sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica

Aplicou-se o módulo *Flat Field*, para a conversão dos dados de radiância para reflectância. O recorte da área de estudo foi realizado por meio do aplicativo *build mask* e, para a criação da máscara, as áreas foram vetorizadas por meio da ferramenta ROI, *region of interest* do programa ENVI®.

Foram selecionadas feições com homogeneidade espectral significativa e salvas como regiões de interesse.

Aplicou-se o módulo *Spectral Feature Fitting* (SFF) do programa ENVI®.

Realizou-se a reamostragem dos espectros dos minerais *Kaolinite Well-Ordered PS-1A* e *Gibbsite Synthetic OH-3A* da biblioteca espectral do JPL para o sensor ASTER.

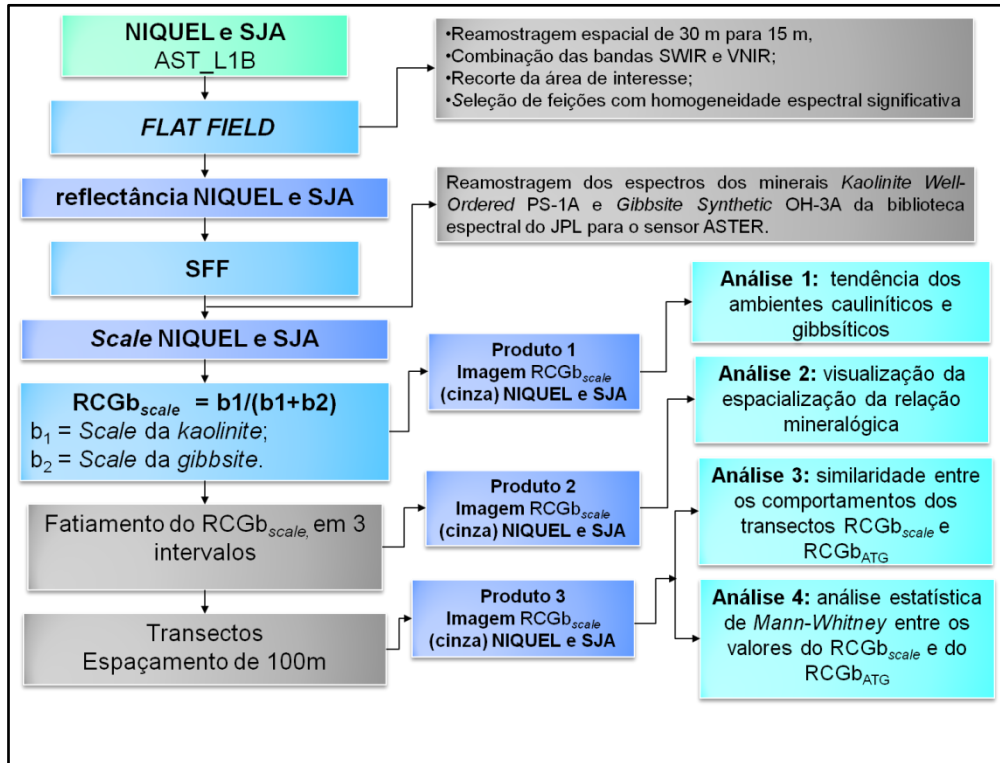
Aplicou-se o índice espectral $RCGb_{scale}$, por meio do módulo *band math*.

Por meio da ferramenta *density slices* os valores obtidos da aplicação do $RCGb_{scale}$, foram fatiados em intervalos (0,25 a 0,50; 0,50 a 0,75 e 0,75 a 1,0) a fim de verificar a espacialização da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita).

Sobre a imagem foi traçado o transecto para selecionar os 13 pontos para São João D'Aliança e os 17 pontos para Niquelândia baseados no traçado das amostras de campo coletadas por Baptista (2001) nas áreas de estudo.

Aplicou-se o teste estatístico de *Mann-Whitney* sobre os dados obtidos por meio da aplicação do $RCGb_{scale}$ e sobre os valores das amostras coletadas em campo $RCGb_{ATG}$ (BAPTISTA, 2001), a fim de avaliar a similaridade entre esses dados. O **fluxograma 4.3** apresenta as etapas do processamento das imagens L1B convertidas para reflectância, por meio do módulo *Flat Field*, sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica.

Fluxograma 4.3: etapas do processamento das imagens L1B convertidas para reflectância, por meio do módulo *Flat Field*, sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica.



4.2.4. Processamento 4: Imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, por meio do módulo *Flat Field*, com correção *crosstalk*, por meio do programa CRSTK30 e sem correção atmosférica.

O primeiro passo foi corrigir o *crosstalk*, por meio do programa CRSTK 30.

Aplicou-se o módulo *Flat Field*, para a conversão dos dados de radiância para reflectância.

O recorte da área de estudo foi realizado por meio do aplicativo *build mask* e, para a criação das máscaras, as áreas foram vetorizadas por meio da ferramenta ROI, *region of interest* do programa ENVI®.

Foram selecionadas feições com homogeneidade espectral significativa e salvas como regiões de interesse.

Aplicou-se o módulo *Spectral Feature Fitting* (SFF) do programa ENVI®.

Realizou-se a reamostragem dos espectros dos minerais *Kaolinite Well-Ordered* PS-1A e *Gibbsite Synthetic* OH-3A da biblioteca espectral do JPL para o sensor ASTER.

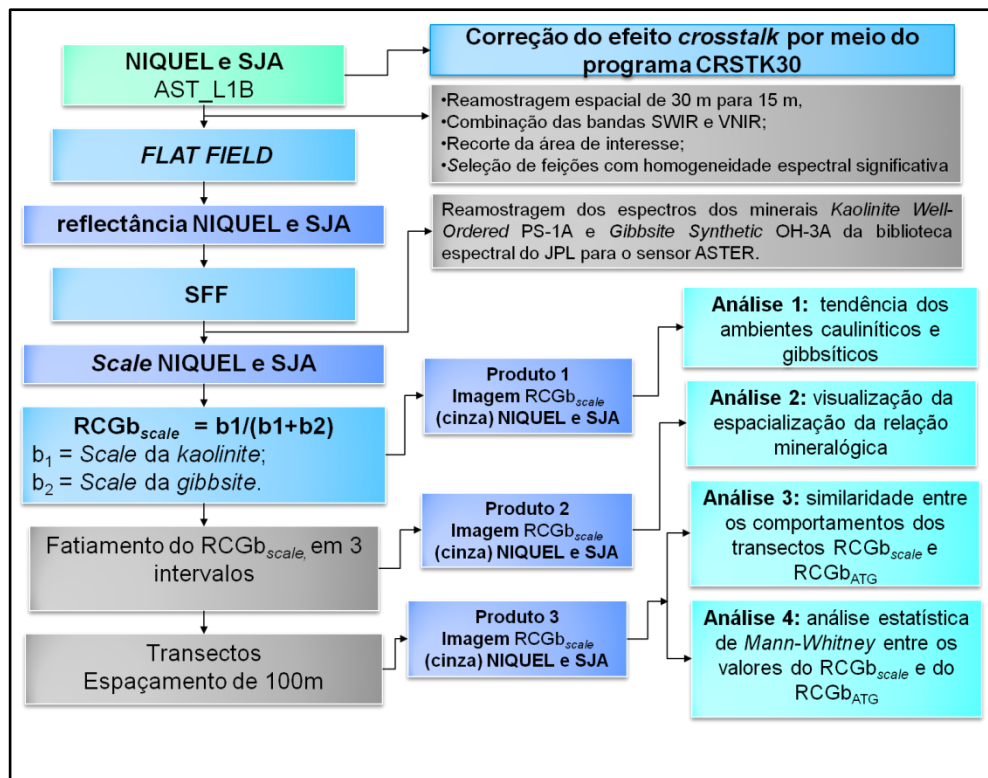
Aplicou-se o índice espectral $RCGb_{scale}$, por meio do módulo *band math*.

Por meio da ferramenta *density slices* os valores obtidos da aplicação do $RCGb_{scale}$, foram fatiados em intervalos (0,25 a 0,50; 0,50 a 0,75 e 0,75 a 1,0).

Sobre a imagem foi traçado o transecto para selecionar os 13 pontos para São João D'Aliança e os 17 pontos para Niquelândia baseados no traçado das amostras de campo coletadas por Baptista (2001) nas áreas de estudo.

Aplicou-se o teste estatístico de *Mann-Whitney* sobre os dados obtidos por meio da aplicação do $RCGb_{scale}$ e sobre os valores das amostras coletadas em campo $RCGb_{ATG}$. O **fluxograma 4.4** apresenta as etapas do processamento das imagens L1B convertidas para reflectância, por meio do módulo *Flat Field*, com correção *crosstalk*, por meio do programa CRSTK30 e sem correção atmosférica.

Fluxograma 4.4: etapas do processamento das imagens L1B convertidas para reflectância, por meio do módulo *Flat Field*, com correção *crosstalk*, por meio do programa CRSTK30 e sem correção atmosférica.



4.2.5. Processamentos 5 e 6: Imagem L1A ASTER-SWIR convertida para reflectância, sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica, por meio dos módulos FLAASH e QUAC.

O recorte das áreas de interesse foi realizado por meio do aplicativo *build mask* e, para a criação da máscara, as áreas foram vetorizadas por meio da ferramenta ROI, *region of interest* do programa ENVI®.

Foram selecionadas feições com homogeneidade espectral significativa e salvas como regiões de interesse.

Aplicou-se o módulo *Spectral Feature Fitting* (SFF) do programa ENVI®.

Realizou-se a reamostragem dos espectros dos minerais *Kaolinite Well-Ordered PS-1A* e *Gibbsite Synthetic OH-3A* da biblioteca espectral do JPL para o sensor ASTER.

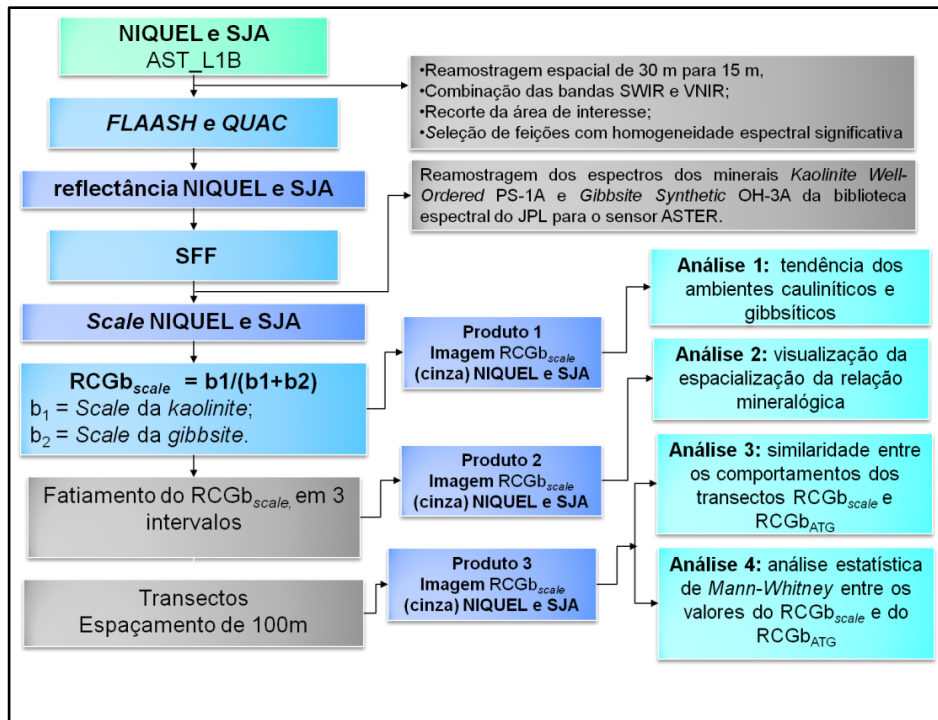
Aplicou-se o índice espectral $RCGb_{scale}$, por meio do módulo *band math*.

Por meio da ferramenta *density slices* os valores obtidos da aplicação do $RCGb_{scale}$, foram fatiados em intervalos (0,25 a 0,50; 0,50 a 0,75 e 0,75 a 1,0).

Sobre a imagem foi traçado o transecto para selecionar os 13 pontos para São João D'Aliança e os 17 pontos para Niquelândia baseados no traçado das amostras de campo coletadas por Baptista (2001) nas áreas de estudo.

Aplicou-se o teste estatístico, não paramétrico, de *Mann-Whitney* sobre os dados obtidos por meio da aplicação do $RCGb_{scale}$ e sobre os valores das amostras coletadas em campo $RCGb_{ATG}$. O **fluxograma 4.5** apresenta as etapas do processamento das imagens L1B convertidas para reflectância, por meio do módulo *Flat Field*, com correção *crosstalk*, por meio do programa CRSTK30 e sem correção atmosférica.

Fluxograma 4.5: etapas do processamento das imagens L1B convertidas para reflectância, sem correção *crossstalk* e com correção atmosférica, por meio dos módulos FLAASH e QUAC.



4.2.6. Processamentos 7 e 8: Imagem de reflectância convertida a partir dos dados L1B ASTER-SWIR com correção *crossstalk*, por meio do *programa* CRSTK30 e com correção atmosférica, por meio da aplicação dos módulos FLAASH e QUAC

É importante informar que, o tipo de dado utilizado na correção atmosférica difere do utilizado na correção do *crossstalk*, sendo que na primeira correção utiliza-se a imagem L1A (dados brutos), enquanto que no segundo procedimento, o dado utilizado é o L1B radiância no nível do sensor, e que a ordem das correções implica nos resultados. Portanto, aplicou-se, primeiramente a correção do *crossstalk*.

Corrigiu-se, então o *crossstalk*, por meio do *programa* CRSTK 30.

Aplicou-se os módulos, para correção atmosférica, FLAASH e QUAC, os quais também converteram a imagem de radiância L1B para imagem de reflectância.

O recorte das áreas de interesse foi realizado por meio do aplicativo *build mask* e, para a criação da máscara, as áreas foram vetorizadas por meio da ferramenta ROI, *region of interest* do *programa* ENVI®.

Foram selecionadas feições com homogeneidade espectral significativa e salvas como regiões de interesse.

Aplicou-se o módulo *Spectral Feature Fitting* (SFF) do programa ENVI®.

Realizou-se a reamostragem dos espectros dos minerais *Kaolinite Well-Ordered* PS-1A e *Gibbsite Synthetic* OH-3A da biblioteca espectral do JPL para o sensor ASTER.

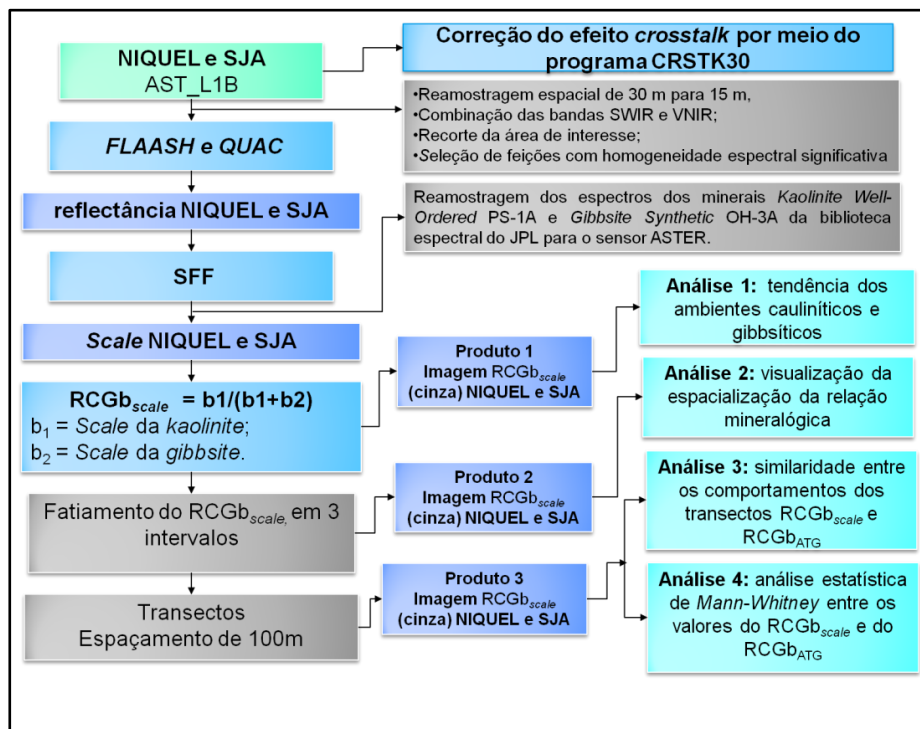
Aplicou-se o índice espectral $RCGb_{scale}$, por meio do módulo *band math*

Por meio da ferramenta *density slices* os valores obtidos da aplicação do $RCGb_{scale}$, foram fatiados em intervalos (0,25 a 0,50; 0,50 a 0,75 e 0,75 a 1,0).

Sobre a imagem foi traçado o transecto para selecionar os 13 pontos para São João D’Aliança e os 17 pontos para Niquelândia baseados no traçado das amostras de campo coletadas por Baptista (2001) nas áreas de estudo.

Aplicou-se o teste estatístico de *Mann-Whitney* sobre os dados obtidos por meio da aplicação do $RCGb_{scale}$ e sobre os valores das amostras coletadas em campo $RCGb_{ATG}$. O **fluxograma 4.6** apresenta as etapas do processamento das imagens L1B convertidas para reflectância, com correção *crosstalk*, por meio do programa CRSTK30 e com correção atmosférica, por meio da aplicação dos módulos FLAASH e QUAC.

Fluxograma 4.6: etapas do processamento das imagens L1B convertidas para reflectância, com correção *crosstalk*, por meio do programa CRSTK30 e com correção atmosférica, por meio da aplicação dos módulos FLAASH e QUAC.



4.2.7. Processamento 9: produto sob demanda ASTER AST-07 – imagem de reflectância sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica.

O produto ASTER AST-07 é um produto obtido sob demanda, no qual é atribuída a correção atmosférica, para a região do visível e do infravermelho próximo (VNIR) e do infravermelho de ondas curtas (SWIR). Cada pacote do produto inclui dois arquivos HDF: uma para o VNIR, e outro para o SWIR (<http://lpdaac.usgs.gov>). O produto, porém, mantém o efeito *crosstalk*.

O recorte das áreas de interesse foi realizado por meio do aplicativo *build mask* e, para a criação da máscara, as áreas foram vetorizadas por meio da ferramenta ROI, *region of interest* do programa ENVI®.

Foram selecionadas feições com homogeneidade espectral significativa.

Aplicou-se o módulo *Spectral Feature Fitting* (SFF).

Realizou-se a reamostragem dos espectros dos minerais *Kaolinite Well-Ordered PS-1A* e *Gibbsite Synthetic OH-3A* da biblioteca espectral do JPL para o sensor ASTER.

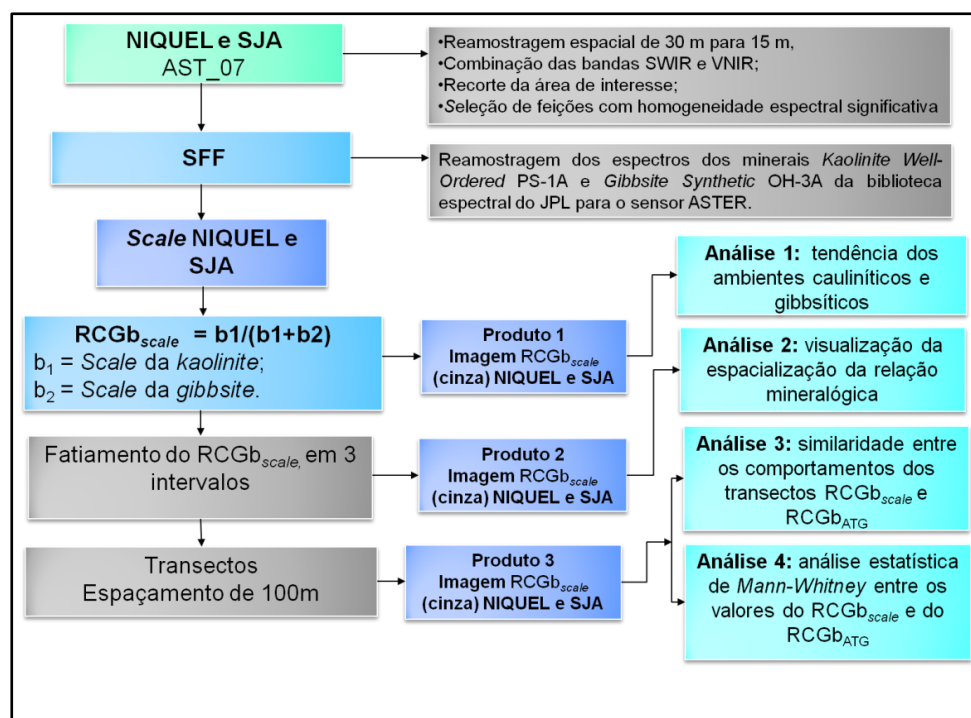
Aplicou-se o índice espectral $RCGb_{scale}$, por meio do módulo *band math*.

Por meio da ferramenta *density slices* os valores obtidos da aplicação do $RCGb_{scale}$, foram fatiados em intervalos (0,25 a 0,50; 0,50 a 0,75 e 0,75 a 1,0)

Sobre a imagem foi traçado o transecto para selecionar os 13 pontos para São João d'Aliança e os 17 pontos para Niquelândia baseados no traçado das amostras de campo coletadas por Baptista (2001) nas áreas de estudo.

Aplicou-se o teste estatístico, não paramétrico, de *Mann-Whitney* sobre os dados obtidos por meio da aplicação do $RCGb_{scale}$ e sobre os valores das amostras coletadas em campo $RCGb_{ATG}$ (BAPTISTA, 2001), a fim de avaliar a similaridade entre esses dados. O **fluxograma 4.7** apresenta as etapas do processamento dos produtos sob demanda ASTER AST-07 – imagem de reflectância sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica.

Fluxograma 4.7: etapas do processamento dos produtos sob demanda ASTER AST-07 – imagem de reflectância sem correção *crossstalk* e com correção atmosférica.



4.2.8. Processamento 10: Produto sob demanda ASTER AST-07XT – imagem de reflectância com correção *crossstalk* e com correção atmosférica

O produto ASTER AST-07XT é um produto sob demanda fornecido já com a correção atmosférica e a correção do *crossstalk*, para a região do visível, do infravermelho próximo (VNIR) e do infravermelho próximo (SWIR). O módulo utilizado, para correção atmosférica é o mesmo do produto AST-07 e o módulo da correção do *crossstalk* é baseado na compreensão fundamental de que a radiação incidente na banda 4, que é reflectida ou “vazada” para as outras bandas, principalmente as vizinhas, tende a seguir um certo padrão de direção de deslocamentos ao longo da trajetória da REM. O algoritmo original não é simétrico à direção transversal da trajetória, e para isso, outras funções mais ajustadas são usadas no algoritmo. Os coeficientes de sensibilidade radiométrica são estatisticamente derivados para garantir que uma consistência de calibração seja mantida nas fases pré-e pós-correção *crossstalk* (<https://lpdaac.usgs.gov>).

O recorte das áreas de interesse foi realizado por meio do aplicativo *build mask* e, para a criação da máscara, as áreas foram vetorizadas por meio da ferramenta ROI, *region of interest* do programa ENVI®.

Foram selecionadas feições com homogeneidade espectral significativa.

Aplicou-se o módulo *Spectral Feature Fitting* (SFF).

Realizou-se a reamostragem dos espectros dos minerais *Kaolinite Well-Ordered PS-1A* e *Gibbsite Synthetic OH-3A* da biblioteca espectral do JPL para o sensor ASTER.

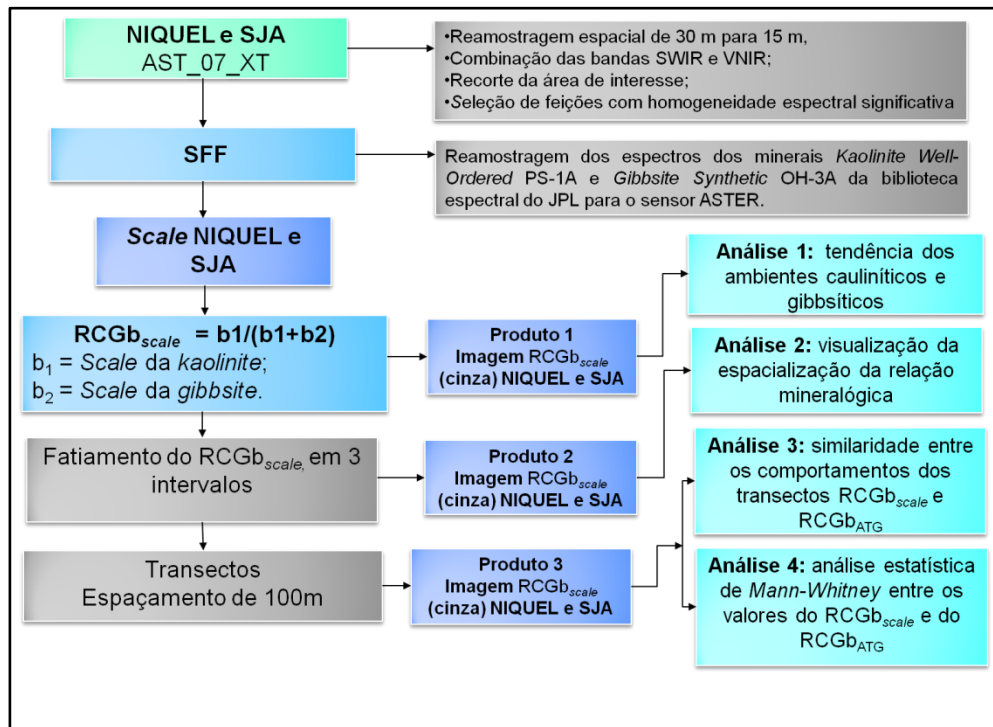
Aplicou-se o índice espectral $RCGb_{scale}$, por meio do módulo *band math*.

Por meio da ferramenta *density slices* os valores obtidos da aplicação do $RCGb_{scale}$, foram fatiados em intervalos (0,25 a 0,50; 0,50 a 0,75 e 0,75 a 1,0), a fim de verificar a espacialização da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita).

Sobre a imagem foi traçado o transecto para selecionar os 13 pontos para São João d'Aliança e os 17 pontos para Niquelândia baseados no traçado das amostras de campo coletadas por Baptista (2001) nas áreas de estudo.

Por fim, aplicou-se o teste estatístico, não paramétrico, de *Mann-Whitney* sobre os dados obtidos por meio da aplicação do $RCGb_{scale}$ e sobre os valores das amostras coletadas em campo $RCGb_{ATG}$ (BAPTISTA, 2001), a fim de avaliar a similaridade entre esses dados na identificação da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) em imagens ASTER-SWIR. O **fluxograma 4.8** apresenta as etapas do processamento dos Produtos sob demanda ASTER AST-07XT – imagem de reflectância com correção *crosstalk* e com correção atmosférica.

Fluxograma 4.8: etapas do processamento dos Produtos sob demanda ASTER AST-07XT – imagem de reflectância com correção *crossstalk* e com correção atmosférica.



5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Aplicação do Índice Espectral $RCGb_{scale}$ em imagens ASTER-SWIR do município de Niquelândia – GO.

Para o estudo em Niquelândia foram investigados, nas imagens, os dezessete pontos coletados no transecto, com espaçamento de 100m, equivalentes aos pontos coletados em campo por Baptista (2001).

Para a realização do presente estudo foram utilizadas imagens ASTER do município de Niquelândia do dia 03 de junho de 2007 do sensor SWIR, sendo essas: as imagens L1A, entendida como dado bruto de radiância e sem correções no nível do sensor; L1B que é a imagem de radiância corrigida ao nível do sensor; o produto sob demanda AST_07, o qual já possui a correção atmosférica e o produto sob demanda AST_07XT, com correção atmosférica e de *crosstalk*.

Face o princípio da interpretação de imagens multiespectrais, seguem os resultados obtidos em cada processamento realizado, assim como as respectivas discussões. Para a análise das imagens dos processamentos descritos, foram escolhidos como quesitos: a análise do comportamento do transecto, a qual foi considerada a mais relevante, por fornecer o resultado mais completo, em relação aos demais, ou seja, os valores dos pontos coletados no transecto e sua tendência. A análise da imagem fatiada, por apresentar a classificação dos valores do transecto em intervalos, possibilitando assim uma melhor visualização da espacialização da relação mineralógica. A análise da imagem em tons de cinza, por apresentar a tendência dos ambientes caulíníticos e gibbsíticos, por meio da variação de cinza e, por fim, a análise estatística, por ter o papel de complementação e por apontar os valores mais próximos do transecto $RCGb_{scale}$ em relação aos valores do transecto $RCGb_{ATG}$.

5.1.1. Processamento 1: Imagem de radiância L1A (dados brutos) ASTER-SWIR, sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica

Considerando que, na relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) (representado pelo índice $RCGb_{scale}$) quanto maior seu valor, maior será o teor de sílica, presentes na caulinita e para valores menores, maior será a tendência de teor de alumina, presentes tanto na caulinita como na gibbsita.

Considerando ainda que ambientes caulíníticos apresentam tonalidade mais clara, nas imagens $RCGb_{scale}$, e que, ambientes gibbsíticos apresentam tons mais escuros (BAPTISTA, 2006), foram extraídas as seguintes observações da análise da **Figura 4.1(a)**, que representa a aplicação $RCGb_{scale}$ sobre os dados da imagem de radiância L1A que é o produto bruto do ASTER, sem correção *crosstalk* e sem a correção atmosférica e o **(b)** fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$.

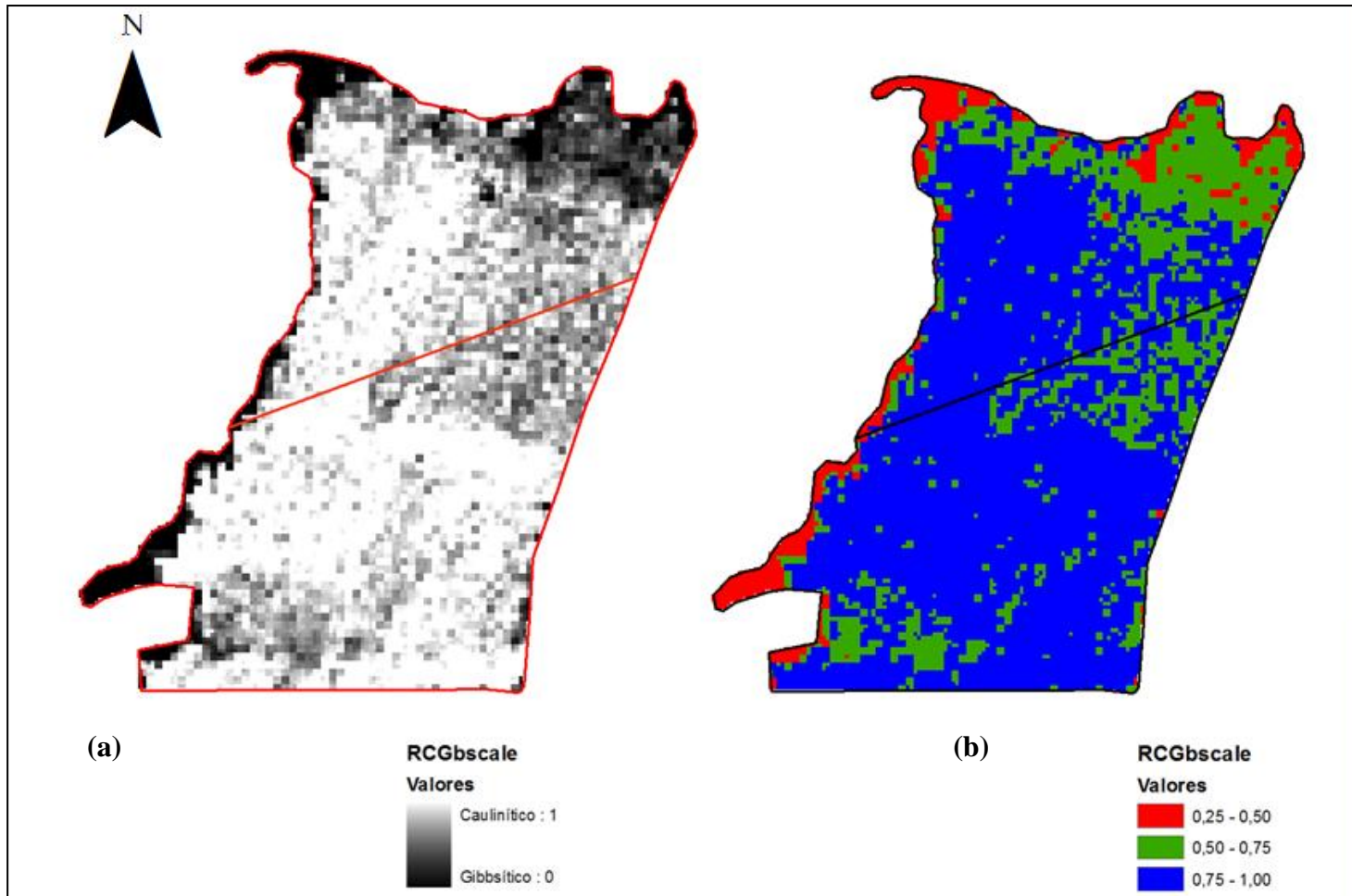


Figura 5.1: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem de radiância L1A (dados brutos) ASTER-SWIR, sem correção *crossstalk* e sem correção atmosférica do município de Niquelândia; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$.

Notou-se uma variabilidade espacial do $RCGb_{scale}$, que pôde ser observada pela variação dos tons de cinza, indicando, em uma análise visual preliminar, um ambiente com predomínio de caulinita. De acordo com as características físicas da região, descritas por Baptista (2006), essa área está situada em local mais elevado e, portanto, área mais preservada de processos erosivos.

De acordo com Madeira Netto, citado por Baptista (2006), quando o valor de K_i , índice que representa a relação molecular $\left[\frac{SiO_2}{Al_2O_3}\right]$ nos solos tropicais, apresenta-se igual ou superior a 0,5 é considerado como caulínítico, e o menor que 0,5, gibbsítico.

Considerando que o índice $RCGb_{scale}$ é um índice proporcional ao valor K_i , pressupôs-se que o ponto 1 do transecto tende a ser predominantemente gibbsítico, e levando-se em conta as características físicas locais, assim como as considerações de Baptista (2006), esse ponto está situado em áreas mais baixas, mais sujeitas à alterações por acúmulo de água e apresentam solo do tipo latossolo vermelho férrico (antigo latossolo roxo) localizado em superfícies de erosão. Além disso, a análise termogravimétrica (ATG) apresentou valor K_i de 0,39, o que corrobora na sua classificação como gibbsítico.

No entanto, com relação à análise visual da **Figura 5.1 (b)**, quando os valores do $RCGb_{scale}$ foram fatiados em três intervalos, (0,25 a 0,50; 0,50 a 0,75 e 0,75 a 1,00), gerou-se, como produto dessa classificação, uma imagem com pouca variação de cores ao longo da trajetória da tomada dos pontos, sendo a cor azul, referente ao intervalo 0,75 a 1,00, a predominante.

É importante salientar que, o transecto é formado por vários pontos e, observando a imagem de classificação por intervalos, notou-se a variação de cor, iniciando na cor verde (0,50 - 0,75), passando para azul (0,75 - 1,00) e terminando na cor vermelha (0,25 - 0,50).

Porém, essa variação não pode ser observada nos dezessete pontos coletados do transecto, uma vez que, esses pontos estavam concentrados em uma única classe (0,75 a 1,00), não sendo possível verificar a espacialização da relação entre os dois minerais.

A partir dessas primeiras observações, seguiu-se, então, à análise do comportamento dos transectos do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$. Para isso, seus valores foram plotados no gráfico apresentado na **Figura 5.2**.

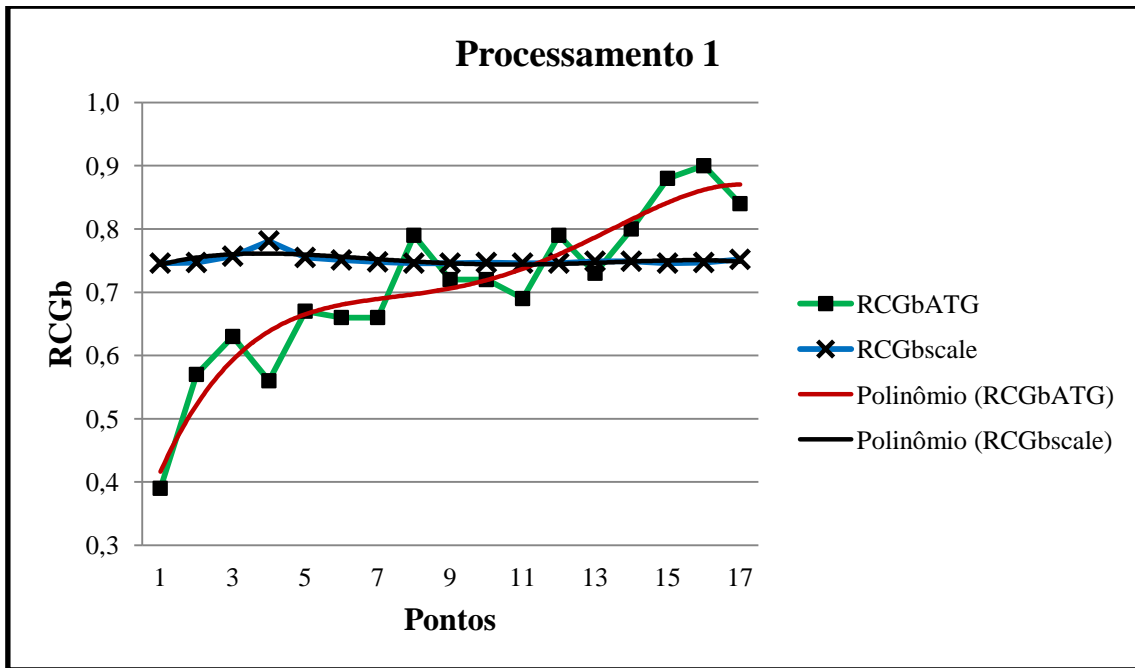


Figura 5.2: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem de radiância L1A (dados brutos) ASTER-SWIR, sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$.

Por meio da análise visual do gráfico, verificou-se que, os resultados obtidos com a aplicação do índice $RCGb_{scale}$ sobre os dados da imagem de radiância L1A (dados brutos) apresentaram 16 valores muito próximos oscilando entre 0,75 e 0,76 e, apenas, o ponto 4 apresentou valor diferente dos demais, sendo de 0,78. Valores tão próximos assim não proporcionaram variação suficiente para promover um desenho similar ao do $RCGb_{ATG}$.

O que foi observado, no entanto, foi um aplainamento no comportamento do transecto do $RCGb_{scale}$, enquanto que o transecto do $RCGb_{ATG}$ apresentou comportamento com tendência crescente, com pequenas variações, indicando o aumento dos teores de sílica (caulinita) nos pontos amostrados com início no ponto 1 em direção ao ponto 17.

O comportamento aplainado do transecto do $RCGb_{scale}$ pode estar relacionado à natureza dos dados da imagem L1A (dados brutos), uma vez que esse tipo de imagem mantém os valores dos dados originais, os coeficientes radiométricos, os coeficientes geométricos, os coeficientes para correção do erro de paralaxe do SWIR e outros dados auxiliares sem a aplicação desses coeficientes na imagem de fato.

Por consequência, a aplicação do índice espectral $RCGb_{scale}$ sobre os dados L1A não possibilitou, de forma mais eficiente, a identificação da espacialização da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita).

O próximo passo foi verificar se o $RCGb_{scale}$ e o $RCGb_{ATG}$ apresentavam similaridade estatística entre seus valores, e, para isso, aplicou-se a análise estatística, não paramétrica de *Mann-Whitney* (Teste U).

É importante salientar que, para todos os processamentos descritos nesse capítulo, para a aplicação do teste de *Mann-Whitney*, foram considerados:

- Como funções de distribuição correspondentes às populações: o $RCGb_{scale}$ e o $RCGb_{ATG}$, respectivamente;
- Como Hipótese nula - H_0 : $RCGb_{scale} = RCGb_{ATG}$, ou seja, há similaridade estatística entre os valores do $RCGb_{scale}$ e o $RCGb_{ATG}$;
- Como Hipótese alternativa - H_1 : $RCGb_{scale} \neq RCGb_{ATG}$, ou seja, não há similaridade estatística entre os valores do $RCGb_{scale}$ e o $RCGb_{ATG}$;
- E, como condicionantes:
 - ✓ rejeita-se H_0 , se $U_{calc} \geq U_{tab}$;
 - ✓ aceita-se H_0 , se $U_{calc} < U_{tab}$.

A **Tabela 5.1** apresenta os resultados obtidos com a aplicação do Teste U.

Tabela 5.1: aplicação do Teste de *Mann-Whitney* sobre os valores do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$ da imagem de radiância L1A (dados brutos) ASTER-SWIR, sem correção *crossstalk* e sem correção atmosférica e sobre os valores do $RCGb_{ATG}$.

ANÁLISE NÃO PARAMÉTRICA DE MANN-WHITNEY		
Resultado	$RCGb_{scale}$	$RCGb_{ATG}$
Tamanho da amostra	17	17
Soma dos Postos	340	255
Mediana =	0,75	0,72
$U_{calc} =$		102
p-valor (unilateral) =		0,07
p-valor (bilateral) =		0,14

Sendo o tamanho das amostras de ambos os grupos < 20 unidades, utilizou-se a tabela de valores críticos de *Mann-Whitney*, para $\alpha = 0,05$.

Para o processamento1 o U_{calc} apresentou valor = 102 e, segundo a tabela de valores críticos de *Mann-Whitney* ($\alpha = 0,05$), para o tamanho de amostra = 17, o valor

do $U_{\text{tab}} = 87$. Verificou-se que $U_{\text{calc}} \geq U_{\text{tab}}$, portanto, rejeitou-se H_0 , isto é, os transectos $\text{RCGb}_{\text{scale}}$ e RCGb_{ATG} não apresentaram similaridade estatística entre seus valores.

Desse modo, conclui-se que, para imagem de radiância L1A (dados brutos) a aplicação do índice $\text{RCGb}_{\text{scale}}$ não proporcionou bons resultados, não sendo eficaz para o estudo da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) em solos tropicais para a área estudada no município de Niquelândia, pois a variação dos valores dos dezessete pontos coletados no transecto não foi suficiente, possivelmente causada pela combinação da natureza dos dados da imagem L1A e a aplicação do índice espectral.

5.1.2. Processamento 2: Imagem de radiância L1B (radiância no nível do sensor) ASTER-SWIR, sem correção *crossstalk* e sem correção atmosférica

A **Figura 5.3** apresenta **(a)** a aplicação do $\text{RCGb}_{\text{scale}}$ na imagem de radiância L1B (no nível do sensor) ASTER-SWIR, sem correção atmosférica e sem correção *crossstalk* do município de Niquelândia e o **(b)** fatiamento em intervalos dos valores do $\text{RCGb}_{\text{scale}}$.

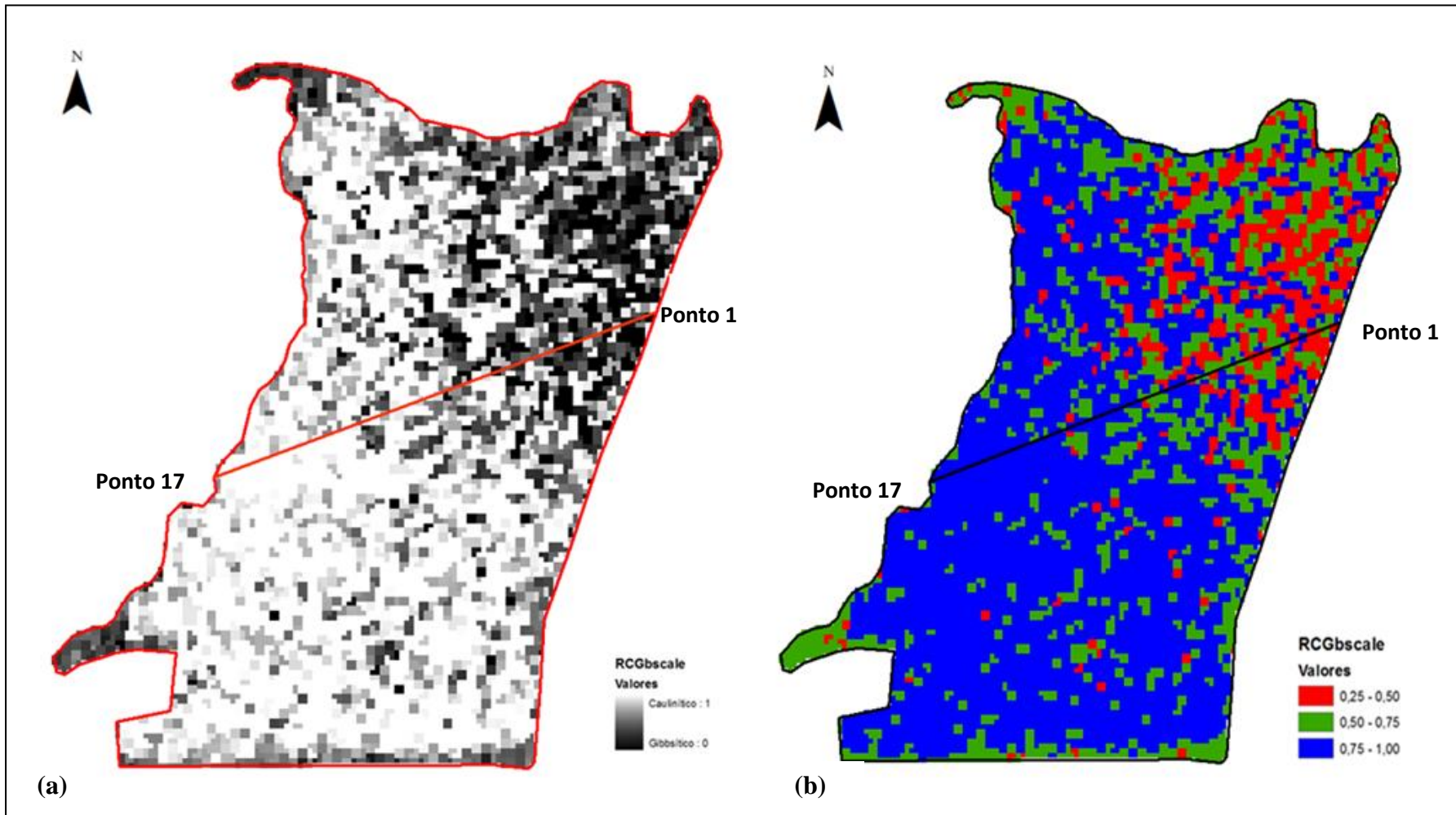


Figura 5.3: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem de radiância L1B (no nível do sensor) ASTER-SWIR, sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica do município de Niquelândia; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$.

Seguindo as mesmas considerações feitas no processamento 1, as seguintes observações foram extraídas da análise da **Figura 5.3**:

Observou-se uma maior variabilidade espacial do $RCGb_{scale}$, o que pôde ser verificado pela maior variação dos tons de cinza na imagem (a), indicando o aumento dos teores de sílica (caulinita) no solo estudado.

O fatiamento dos valores do $RCGb_{scale}$, **Figura 5.3 (b)**, também proporcionou resultado positivo para a espacialização da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita), pois os valores do local referente à tomada do transecto apresentaram maior variação e maior distribuição na área, partindo da cor vermelha no ponto 1 (0,25 - 0,50), passando pela cor verde (0,50 - 0,75) e terminando, no ponto 17, na cor azul (0,75 - 1,00), o que significa dizer que, ao longo do transecto, verificou-se o aumento da predominância da caulinita, o que corrobora com o verificado nas amostras obtidas em campo.

Verificou-se que a mancha mais escura (ponto 1) referente ao ambiente predominantemente gibbsítico foi melhor observada nesse processamento, indicando a área mais suscetível ao intemperismo.

Por ter apresentado resultados positivos referentes à espacialização do $RCGb_{scale}$, passou-se, então, à análise dos transectos do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$. A **Figura 5.4** apresenta o comportamento dos transectos $RCGb_{scale}$ e $RCGb_{ATG}$.

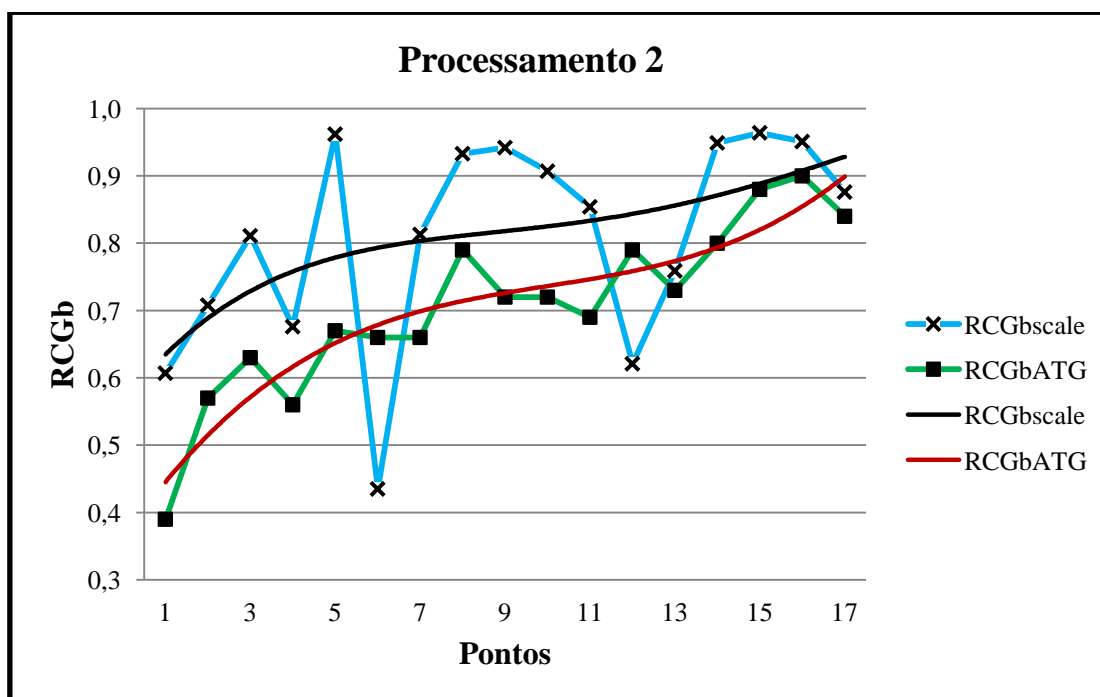


Figura 5.4: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem de radiância L1B (no nível do sensor) ASTER-SWIR, sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$.

Verificou-se, visualmente, que o $RCGb_{scale}$ e o $RCGb_{ATG}$ apresentaram similaridade no comportamento dos transectos, no entanto, cabe ressaltar que o $RCGb_{scale}$ apresentou valores superiores aos valores do $RCGb_{ATG}$, sendo que, apenas os pontos 6 e 12 apresentaram valores subestimados.

Outra observação a ser feita, em relação aos valores de $RCGb_{scale}$, refere-se ao ponto 6, que apresentou valor com maior diferença dos demais pontos, sendo de 0,40. Esse registro, assim como os valores subestimados, pode estar relacionado, também, às propriedades dos dados da imagem, uma vez que, apesar de a imagem em discussão também ser de radiância, em imagens L1B, os coeficientes de correção já se encontram aplicados, assim como a correção radiométrica e a reamostragem geométrica. Além disso, as bandas do SWIR são registradas em relação ao VNIR e o erro de paralaxe do SWIR também já está corrigido.

Visto que as análises da imagem $RCGb_{scale}$ e do comportamento dos transectos apresentaram, em uma análise visual preliminar, resultados positivos para a espacialização da relação caulinia/(caulinita+gibbsita), o próximo passo foi verificar se o $RCGb_{scale}$ e o $RCGb_{ATG}$ apresentavam, também, similaridade estatística entre seus valores, e para isso, aplicou-se a análise estatística não paramétrica de *Mann-Whitney* (Teste U). Os parâmetros considerados encontram-se descritos no processamento 1. A **Tabela 5.2** apresenta os resultados obtidos com a aplicação do Teste U.

Tabela 5.2: aplicação do Teste de *Mann-Whitney* sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem de radiância L1B (no nível do sensor) ASTER-SWIR, sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica e sobre os valores do $RCGb_{ATG}$.

ANÁLISE NÃO PARAMÉTRICA DE MANN-WHITNEY		
Resultado	$RCGb_{scale}$	$RCGb_{ATG}$
Tamanho da amostra	17	17
Soma dos Postos (Ri)	363	232
Mediana =	0,85	0,72
U _{calc} =		79
p-valor (unilateral) =		0,01
p-valor (bilateral) =		0,02

Para o processamento 2 o U_{calc} apresentou valor = 79, e, segundo a tabela de valores críticos de *Mann-Whitney* ($\alpha = 0,05$), para o tamanho de amostra igual a 17, o valor do U_{tab} é = 87. Verificou-se que $U_{calc} < U_{tab}$, portanto, aceitou-se H_0 , isto é, os

transectos $RCGb_{scale}$ e $RCGb_{ATG}$ apresentaram similaridade estatística entre seus valores.

Desse modo, conclui-se que, para imagem de radiância L1B (no nível do sensor), sem correção atmosférica e sem correção *crosstalk*, a aplicação do índice $RCGb_{scale}$ proporcionou resultados positivos para o estudo da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) para a área estudada no município de Niquelândia.

5.1.3. Processamento 3: Imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância por meio do *Flat Field*, sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica

A **Figura 5.5** apresenta (a) a aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem L1B ASTER-SWIR, convertida para reflectância por meio do módulo *Flat Field*, do município de Niquelândia e (b) o fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$.

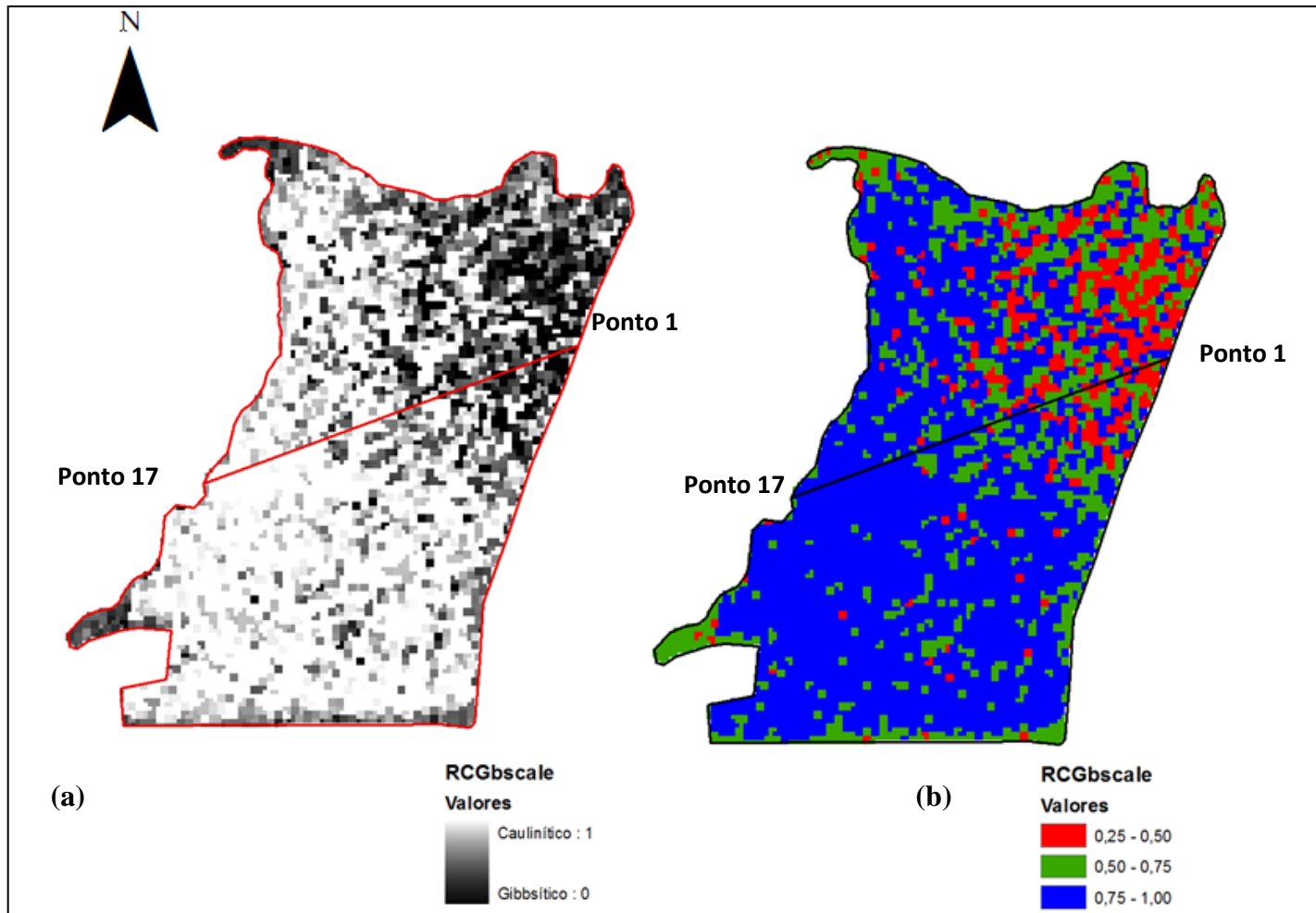


Figura 5.5: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (*Flat Field*), sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica do município de Niquelândia; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$.

A imagem $RCGb_{scale}$ apresentou variação dos tons de cinza muito similar ao processamento 2, sendo uma área mais escura, com início no ponto 1 até um pouco mais que a metade do transecto e, desse ponto até o ponto 17, uma área bem mais clara.

O fatiamento dos valores do $RCGb_{scale}$, **Figura 5.5 (b)**, nos mesmos intervalos de classes que os processamentos anteriores, também apresentou resultado muito similar ao resultado do processamento 2, além do crescimento dos valores, por meio da composição RGB. Foi possível observar que, o traçado teve início com valores pertencentes ao intervalo (0,25 - 0,50), representado pela cor vermelha, passando pelo intervalo (0,50 - 0,75), representado pela cor verde e, por fim, os últimos pontos pertencentes ao intervalo (0,75 - 1,00).

Por ter apresentado resultados que indicaram a espacialização da relação $Caulinita/(Caulinita+Gibbsita)$, o $RCGb_{scale}$ foi submetido à comparação do seu transecto com o transecto do $RCGb_{ATG}$, a fim de verificar a similaridade entre os seus comportamentos. A **Figura 5.6** apresenta o comportamento espacial dos transectos do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$.

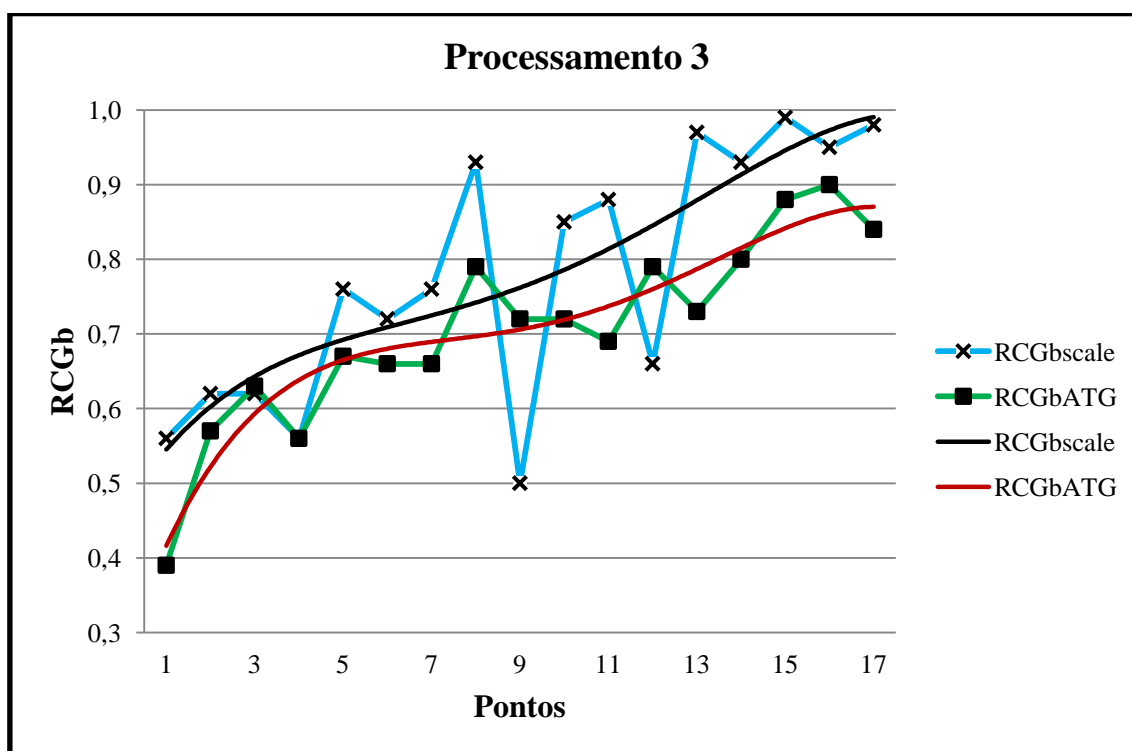


Figura 5.6: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (*Flat Field*), sem correção *crossstalk* e sem correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$.

Apesar das imagens em tons de cinza e do fatiamento dos processamentos 2 e 3 terem apresentado resultados muito similares, verificou-se, visualmente, que na análise dos transectos, $RCGb_{scale}$ e o $RCGb_{ATG}$ apresentaram maior similaridade no comportamento espacial dos transectos do processamento 3, em comparação à similaridade identificada entre eles, no processamento 2.

Assim como no processamento 2, o $RCGb_{scale}$ apresentou valores superiores aos do $RCGb_{ATG}$, porém com maior proximidade.

Foram observados, também, que os pontos 9 e 12 do transecto do $RCGb_{scale}$, apresentaram valores subestimados em relação aos mesmos pontos do $RCGb_{ATG}$, sendo os valores (0,50 e 0,66) respectivamente.

Esse fato pode estar relacionado, mais uma vez, às propriedades dos dados das imagens, e nesse caso, às etapas de preparação da imagem, as quais não foram aplicadas nos dois primeiros processamentos. Isto é, além das correções de coeficientes que as imagens L1B já apresentam, aplicada em todas as imagens, a conversão dos dados de radiância para dados de reflectância aparente, pelo módulo *Flat Field* também foi aplicada.

Visto que as análises da imagem $RCGb_{scale}$ e do comportamento do transecto apresentaram, em uma análise visual preliminar, resultados positivos para a espacialização da relação caulinia/(caulinata+gibbsita), o próximo passo foi verificar se o $RCGb_{scale}$ e o $RCGb_{ATG}$ apresentavam, também, similaridade estatística entre seus valores, por meio da aplicação do teste de *Mann-Whitney*. Os parâmetros considerados encontram-se descritos no processamento 1. A **Tabela 5.3** apresenta os resultados obtidos com a aplicação do Teste U.

Tabela 5.3: aplicação do Teste de *Mann-Whitney* sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (*Flat Field*), sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica e sobre os valores do $RCGb_{ATG}$.

ANÁLISE NÃO PARAMÉTRICA DE MANN-WHITNEY		
Resultado	$RCGb_{scale}$	$RCGb_{ATG}$
Tamanho da amostra	17	17
Soma dos Postos (Ri)	331,5	263,5
Mediana =	0,76	0,72
U =		110,5
p-valor (unilateral) =		0,1208
p-valor (bilateral) =		0,2416

Para o processamento 3 o U_{calc} apresentou valor = 110,5 e, segundo a tabela de valores críticos de *Mann-Whitney* ($\alpha = 0,05$), o valor do $U_{\text{tab}} = 87$. Verificou-se que $U_{\text{calc}} \geq U_{\text{tab}}$, portanto, rejeitou-se H_0 , isto é, os transectos do $\text{RCGb}_{\text{scale}}$ e do RCGb_{ATG} não apresentaram similaridade estatística em relação aos seus valores.

Apesar da aplicação do teste estatístico de *Mann-Whitney* ter apresentado resultado de não similaridade estatística entre os valores, por meio da observação da **Figura 5.6**, como já comentado anteriormente, foi verificado visualmente que os transectos do $\text{RCGb}_{\text{scale}}$ e RCGb_{ATG} apresentaram similaridade no comportamento espaciais.

É importante esclarecer que, no teste estatístico de *Mann-Whitney* os valores de U calculados avaliam o grau de entrelaçamento dos dados dos dois grupos após a ordenação. A maior separação dos dados, em conjunto, indica que as amostras são distintas, rejeitando-se a hipótese de igualdade das medianas, é o caso do resultado desse processamento.

No entanto, é importante lembrar que a finalidade do sensoriamento remoto está em fornecer dados digitais, o quão próximo da realidade for possível, ou seja, o quão próximo pode-se chegar do produto produzido pelos sensores naturais (os olhos).

Portanto, nesse estudo, a análise visual tem predomínio sobre os resultados da análise estatística, a qual tem papel de complementação, não perdendo, porém, a sua importância, pois a natureza não se prende aos números.

Desse modo, conclui-se que, para imagem de reflectância (*Flat Field*) sem correção atmosférica e de *crosstalk*, a aplicação do índice $\text{RCGb}_{\text{scale}}$ é eficiente para o estudo da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) para a área aferidas no município de Niquelândia.

5.1.4. Processamento 4: Imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (*Flat Field*), com correção *crosstalk* e sem correção atmosférica

A **Figura 5.7** apresenta a aplicação do $\text{RCGb}_{\text{scale}}$ na imagem ASTER-SWIR convertida para reflectância por meio do módulo *Flat Field*, com correção *crosstalk* e sem correção atmosférica do município de Niquelândia **(a)** e **(b)** o fatiamento em intervalos dos valores do $\text{RCGb}_{\text{scale}}$.

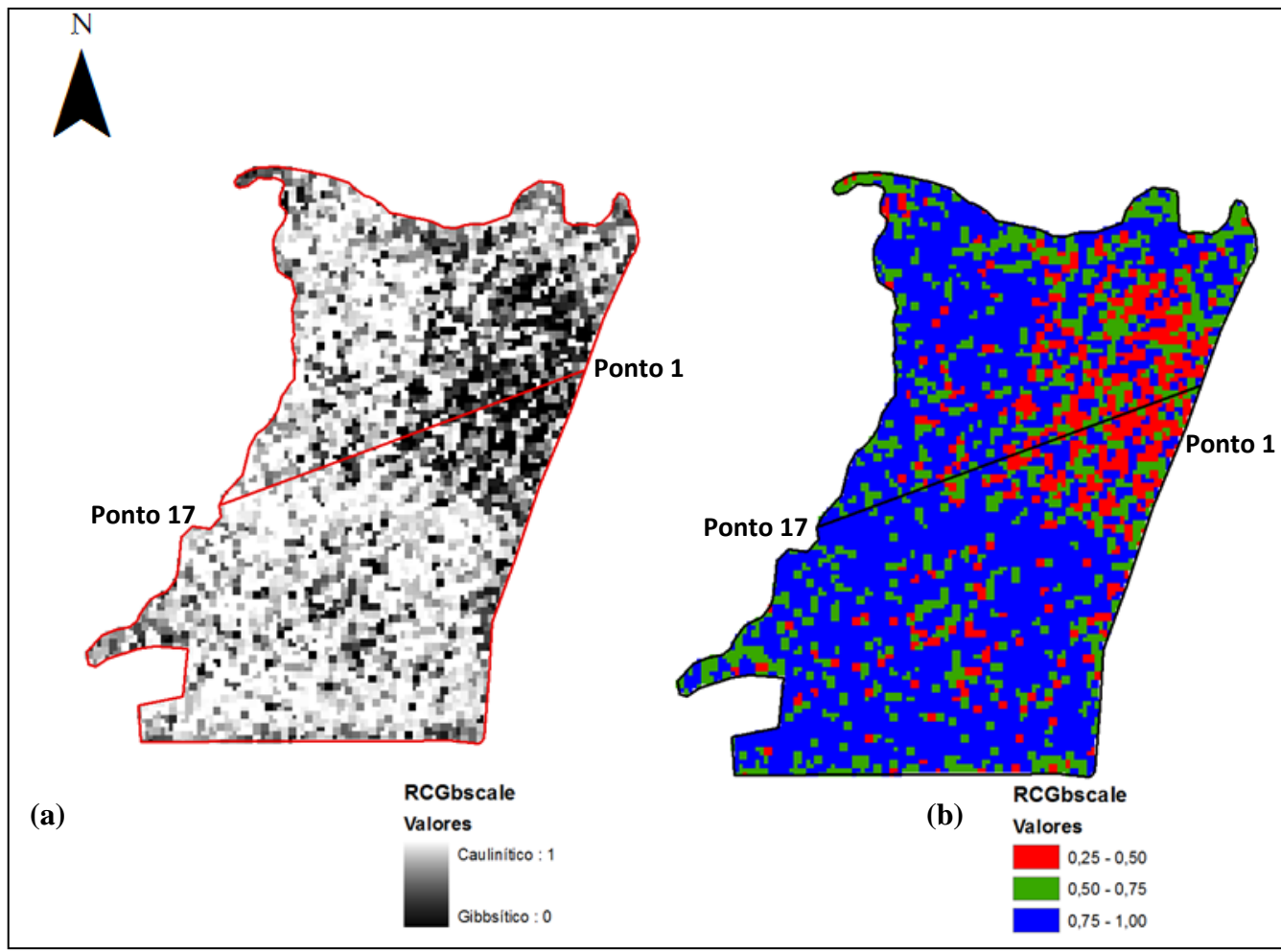


Figura 5.7: (a) aplicação do RCGb_{scale} na imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (*Flat Field*), com correção *crosstalk* e sem correção atmosférica do município de Niquelândia; (b) fatiamento em intervalos dos valores do RCGb_{scale}.

Com base na análise da **Figura 5.7(a)**, verificou-se que, a variação dos tons de cinza percebida na imagem $RCGb_{scale}$ indicaram resultados positivos para a variabilidade espacial da relação $Caulinita/(Caulinita+Gibbsita)$ e que o fatiamento dos valores **(b)**, também possibilitou a verificação da distribuição espacial de forma positiva, mantendo assim, a informação de um ambiente predominantemente caulínítico.

Lembrando que nesse processamento foi aplicada a correção do efeito *crosstalk*, por meio do programa CRSTK30, ou seja, corrigiu-se o “vazamento” da energia refletida dos detectores da banda 4 para os detectores das bandas 5 e 9, que ocasiona uma resposta maior do que a esperada nas bandas do SWIR. Porém, aparentemente, essa correção não causou alterações significativas no produto final quando comparado ao produto das outras imagens L1B convertidas para reflectância por meio do módulo *Flat Field*.

No processamento 3 verificou-se que a proximidade dos dados era maior no início do transecto, enquanto que no processamento 4, essa proximidade ocorreu mais no final.

Para verificar a similaridade entre o comportamento dos transectos do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$, os dados foram plotados no gráfico apresentado na **Figura 5.8**.

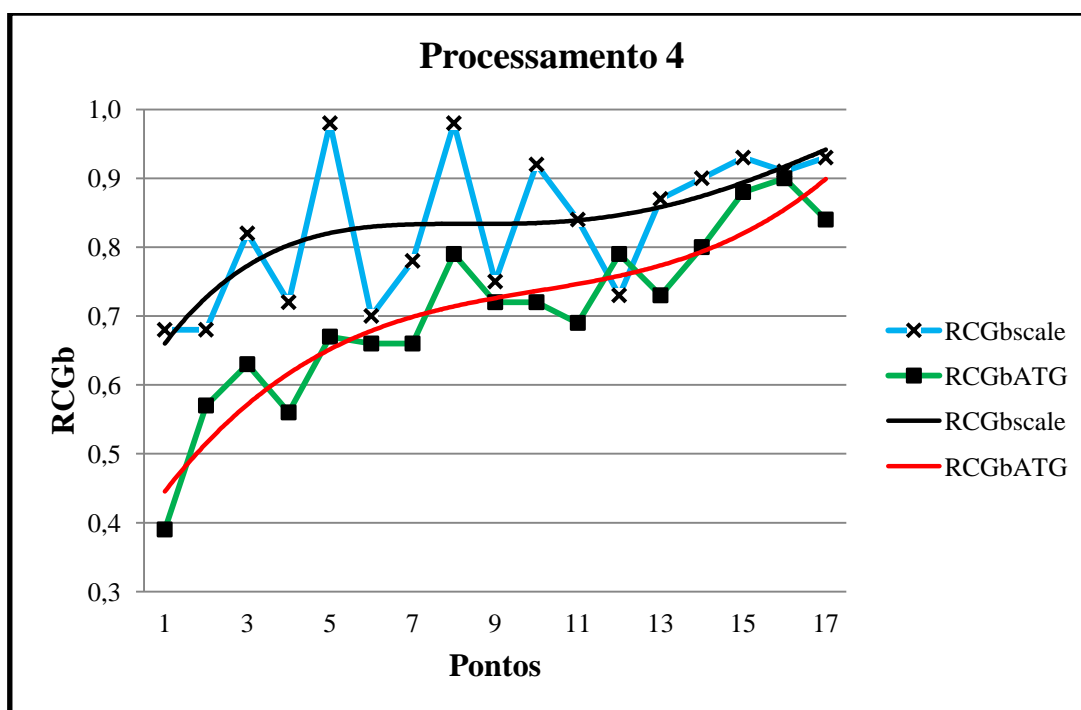


Figura 5.8: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (*Flat Field*), com correção *crosstalk* e sem correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$.

Analisando a **Figura 5.8**, notou-se que ambos os transectos obedeciam a uma tendência de crescimento e que o ponto 12 do transecto do RCGb_{scale} apresentou valor de decréscimo em relação ao valor apresentado pelo RCGb_{ATG}. Observou-se, portanto, que os transectos apresentaram similaridade significativa nos seus comportamentos espaciais.

A **Tabela 5.4** apresenta os resultados obtidos com a aplicação do Teste U.

Tabela 5.4: aplicação do Teste de *Mann-Whitney* sobre os valores do RCGb_{scale} da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (*Flat Field*), sem correção *crossstalk* e sem correção atmosférica e sobre os valores do RCGb_{ATG}.

ANÁLISE NÃO PARAMÉTRICA DE MANN-WHITNEY		
Resultado	RCGb _{scale}	RCGb _{ATG}
Tamanho da amostra	17	17
Soma dos Postos (Ri)	378,5	216,5
Mediana =	0,84	0,72
U =		63,5
p-valor (unilateral) =		0,0026
p-valor (bilateral) =		0,0053

Para o processamento 4 o U_{calc} apresentou valor igual a 63,5 valor esse menor que o valor do U_{tab} (87). Portanto, $U_{calc} < U_{tab}$, então, aceitou-se H_0 , ou seja, os transectos RCGb_{scale} e RCGb_{ATG} apresentaram similaridade estatística entre seus valores.

Concluiu-se que, para imagem L1B convertida para reflectância (*Flat Field*) com correção *crossstalk* e sem correção atmosférica, a aplicação do índice RCGb_{scale} é eficiente para o estudo da relação caulinita/caulinita+gibbsita para a área aferida no município de Niquelândia.

5.1.6. Processamentos 5 e 6: Imagem L1A ASTER-SWIR convertido para reflectância (FLAASH e QUAC) sem correção *crossstalk* e com correção atmosférica

O conceito da correção atmosférica busca a redução dos efeitos que o espalhamento e a absorção dos componentes atmosféricos causam nos dados das imagens e assim, converter os dados de radiância para imagens de reflectância de superfície,

visando melhorar as informações as características dos alvos terrestres (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Ante o exposto e ainda em conformidade às considerações feitas no processamento 1, esse processamento teve, por objetivo, verificar, a eficiência do índice $RCGb_{scale}$ sobre imagens com correção atmosférica. Seguem, portanto, as observações extraídas da análise das **Figuras 5.9 e 5.10**.

Antes, porém é importante informar que, por recomendações constantes no tutorial de aplicação dos módulos de correção atmosférica do ENVI® (ENVI, 2009), os dados do SWIR da imagem L1A foram reamostrados de 30 para 15 m e combinados com os do VNIR formando um único conjunto de dados com 9 bandas para a aplicação dos módulos FLAASH e QUAC. Na correção atmosférica tanto por meio do FLAASH, como do QUAC, a imagem de radiância L1A é convertida para imagem de reflectância.

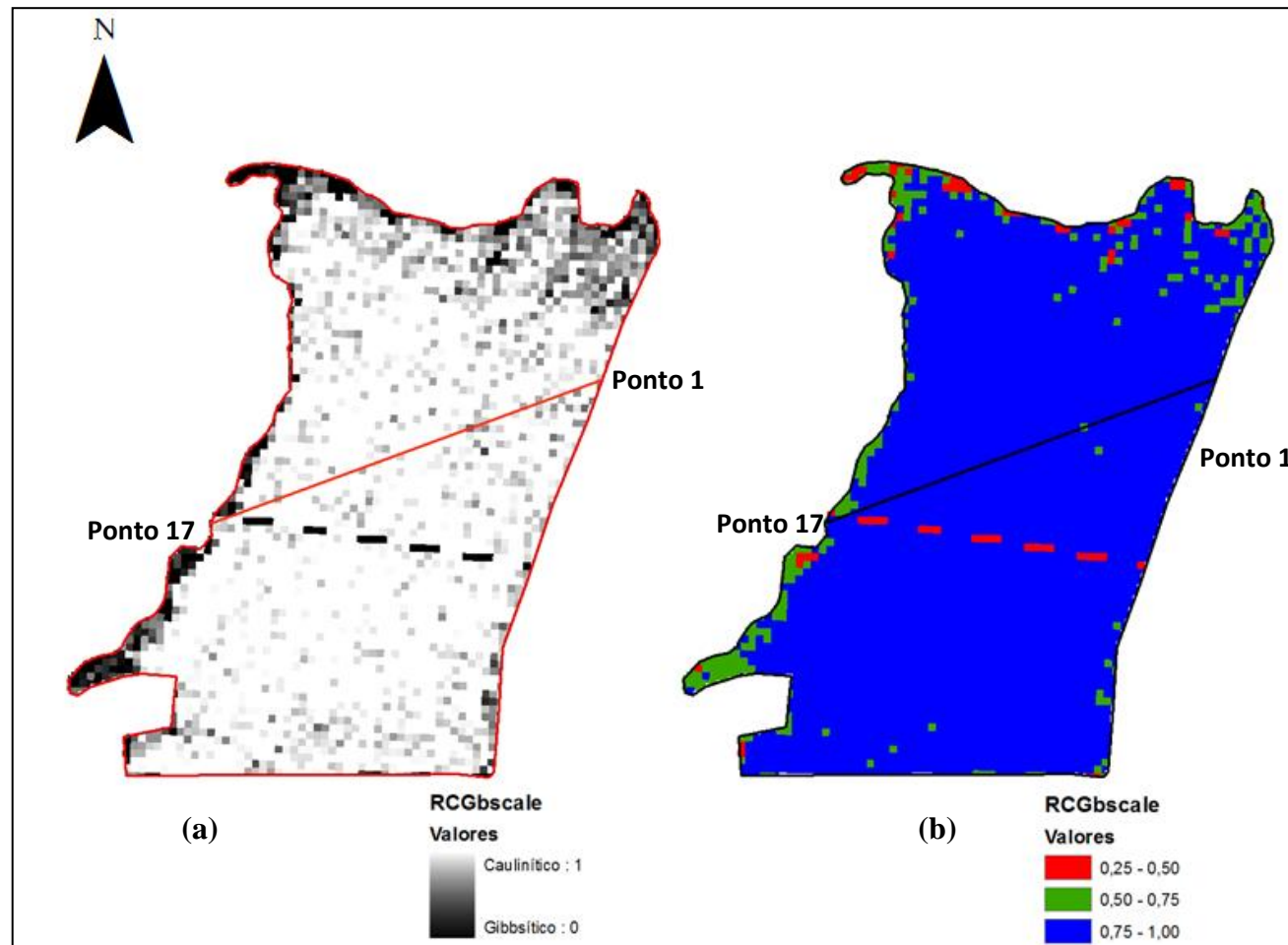


Figura 5.9: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem L1A ASTER-SWIR convertida para reflectância (FLAASH), sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica do município de Niquelândia; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$.

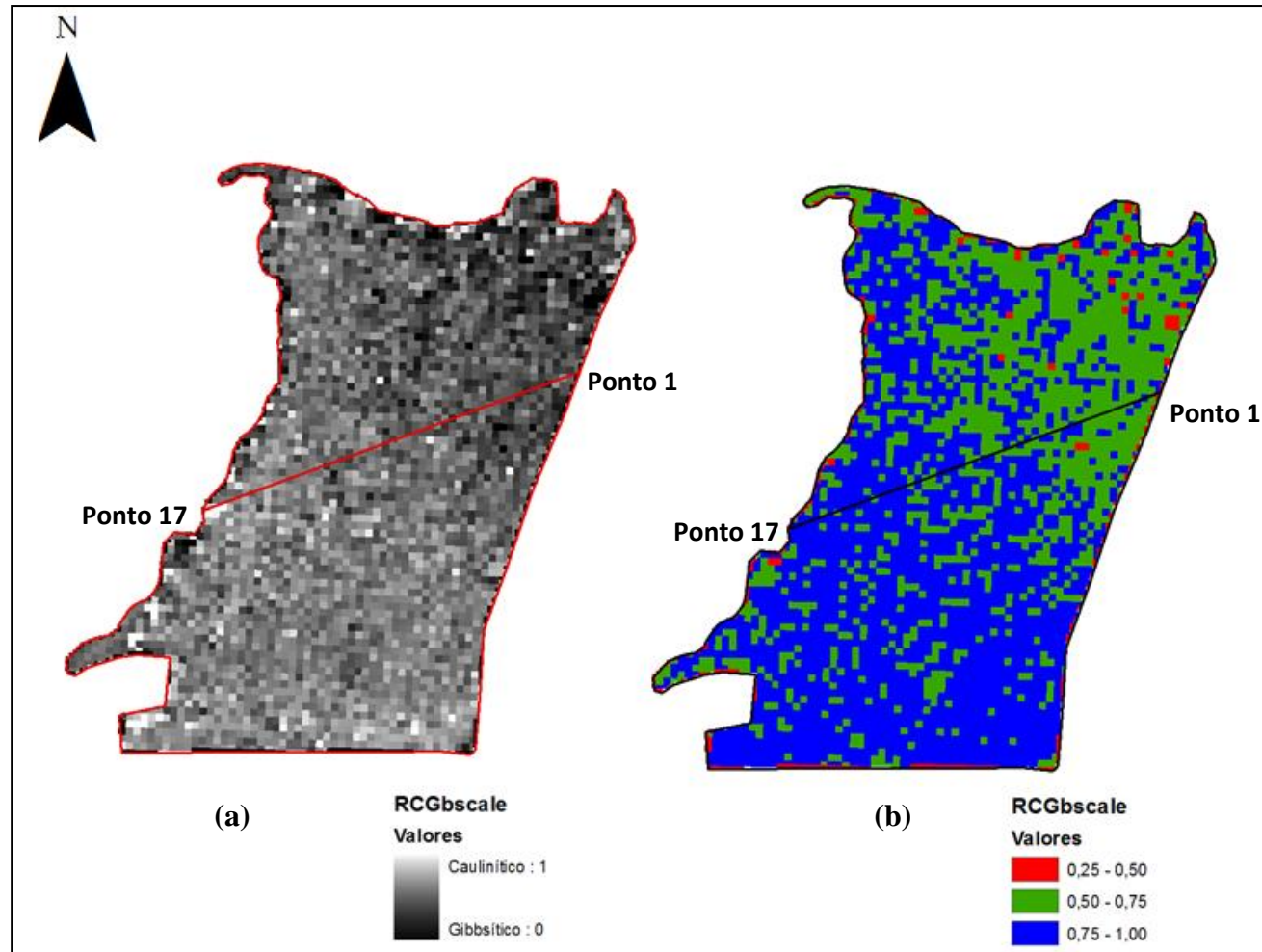


Figura 5.10: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem L1A ASTER-SWIR convertida para reflectância (QUAC), sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica do município de Niquelândia; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$.

Foi verificado que a imagem resultante da aplicação do módulo de correção atmosférica FLAASH, em variação de cinza, apresentou uma linha tracejada, totalmente preta, indicando uma possível falha ocorrida na aplicação do módulo FLAASH sobre a imagem L1A. Esse erro não foi observado na aplicação do algoritmo QUAC sobre os mesmos dados.

Possivelmente esse erro esteja relacionado à aplicação do modelo do FLAASH sobre a natureza dos dados, uma vez que essa ferramenta de modelagem utiliza o código de transferência radiativa MODTRAN4 e os processamentos são feitos pixel a pixel, enquanto que o QUAC baseia-se no método empírico, no qual a reflectância de uma cena é igual à média de todos os espectros dos diversos materiais nela contida, ou seja, determina os parâmetros dos efeitos atmosféricos diretamente a partir da informação contida na cena (ENVI, 2009).

A imagem $RCGb_{scale}$ (FLAASH), **Figura 5.9(a)**, apresentou tonalidade clara mais homogênea, não possibilitando uma percepção mais apurada da distribuição espacial da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita). Já a imagem $RCGb_{scale}$ (QUAC), **Figura 5.10(a)**, também apresentou tonalidade mais homogênea, porém em tons mais escuros o que também não promoveu a identificação da variabilidade espacial da relação mineralógica.

Os requisitos de entrada de dados diferem entre o FLAASH e o QUAC. Em geral, o QUAC não exige tantos dados, por outro lado, o FLAASH necessita a inserção de várias informações sobre os dados (ENVI, 2009). A inversão de tendência de tonalidade observada entre as imagens-produtos do FLAASH e do QUAC pode estar relacionada não só aos modelos de cada algoritmo, mas também à quantidade de informações que cada um requisita para a correção dos efeitos atmosféricos.

O fatiamento dos valores do $RCGb_{scale}$ (FLAASH), **Figura 5.9 (b)**, apresentou uma imagem com predominância na cor azul (0,75 - 1,00) não sendo possível verificar a espacialização dos dois minerais. Já o fatiamento do $RCGb_{scale}$ (QUAC) **Figura 5.10(b)**, apresentou variação entre os valores, promovendo a espacialização da relação mineralógica e também indicando um ambiente predominantemente caulínítico.

Segue a análise do comportamento dos transectos espaciais do $RCGb_{scale}$ (FLAASH) e $RCGb_{scale}$ (QUAC) em relação ao comportamento espacial do $RCGb_{ATG}$, realizada por meio dos gráficos apresentados nas **Figuras 5.12 e 5.13**.

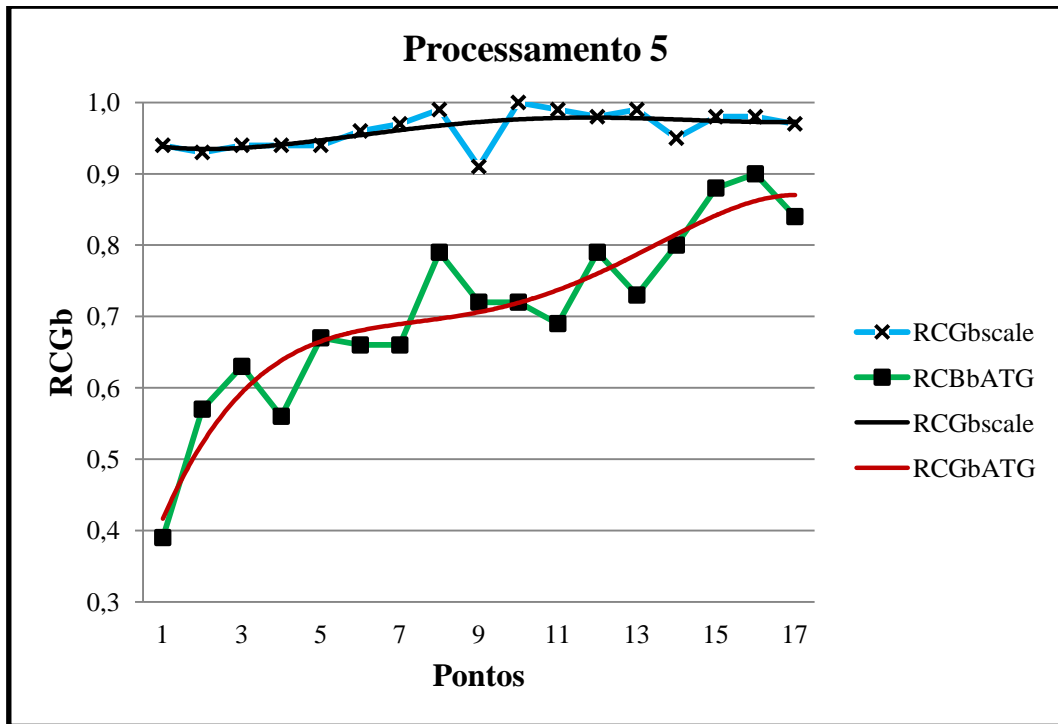


Figura 5.11: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem L1A ASTER-SWIR convertida para reflectância, sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica (FLAASH) e do $RCGb_{ATG}$.

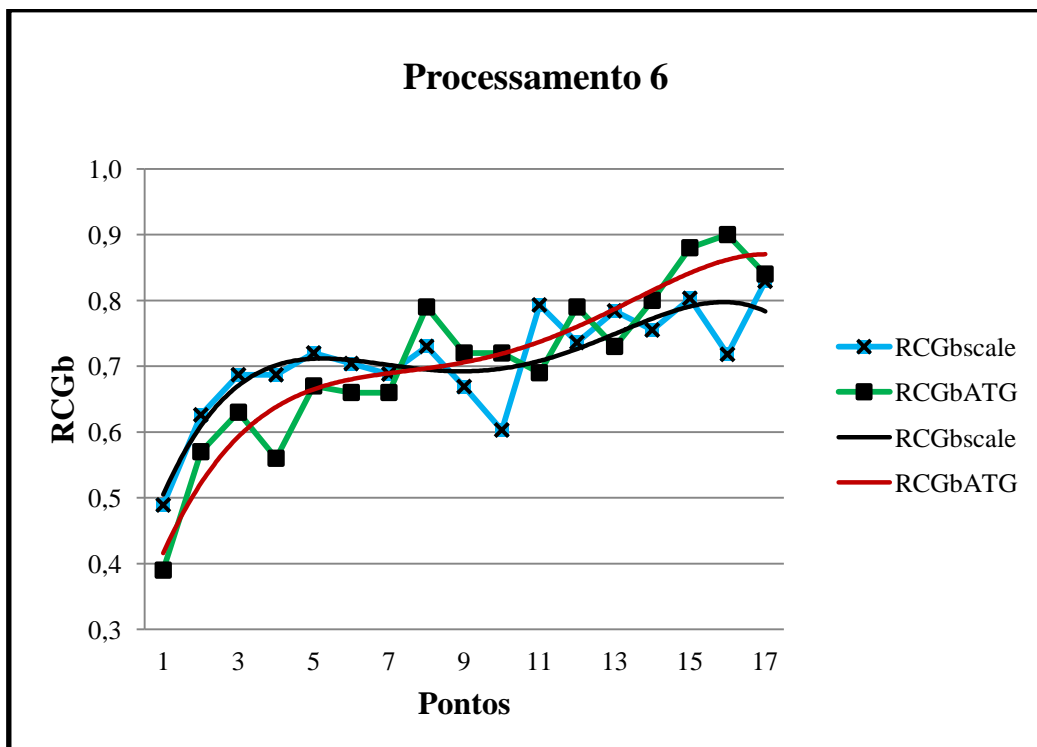


Figura 5.12: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem L1A ASTER-SWIR convertida para reflectância, sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica (QUAC) e do $RCGb_{ATG}$.

Em uma abordagem visual, verificou-se que os resultados obtidos com a aplicação do índice $RCGb_{scale}$ sobre a imagem com a correção atmosférica realizado por meio da aplicação do módulo FLAASH, apresentaram valores muito próximos entre si o que não proporcionou variação suficiente para promover um desenho similar ao do $RCGb_{ATG}$. O que se observou, no entanto, foi uma tendência linear e uniforme no comportamento do transecto $RCGb_{scale}$ (FLAASH), o mesmo fato observado na imagem L1A (processamento 1)

O comportamento aplainado do transecto do $RCGb_{scale}$ (FLAASH) pode estar relacionado à natureza dos dados da imagem L1A (dados brutos), assim como com a preparação dessa imagem, para a aplicação do módulo FLAASH e ainda aos requisitos exigidos pelo módulo para a correção dos efeitos atmosféricos.

Como resultados desses possíveis erros durante a preparação e o pré-processamento da imagem, o índice $RCGb_{scale}$ não foi eficiente na identificação da espacialização da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita).

Já a resposta da aplicação do módulo de correção atmosférica QUAC sobre os mesmos dados, apresentou, de fato, maior similaridade entre os comportamentos espaciais das transectos do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$, mesmo que, a partir do ponto 7, o $RCGb_{scale}$ tenha apresentado valores menores que o $RCGb_{ATG}$, fato esse verificado unicamente nesse processamento.

Como salientado anteriormente, as possíveis justificativas para tais resultados, principalmente no aplainamento verificado com a aplicação do módulo FLAASH, está na diferença das modelagens dos algoritmos, uma vez que o QUAC apresenta-se como um modelo mais simplificado, baseado em modelos empíricos, enquanto que o FLAASH apresenta-se como um modelo mais complexo, baseado em modelos físicos.

As **Tabela 5.5 e 5.6** apresentam os resultados obtidos com a aplicação do Teste U sobre os valores do transecto $RCGb_{scale}$ (FLAASH) e do $RCGb_{ATG}$ e dos transectos do $RCGb_{scale}$ (QUAC) e do $RCGb_{ATG}$, respectivamente.

Quadro 5.5: aplicação do Teste de *Mann-Whitney* sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, sem correção *crossstalk* e com correção atmosférica (FLAASH) e sobre os valores do $RCGb_{ATG}$.

ANÁLISE NÃO PARAMÉTRICA DE MANN-WHITNEY		
Resultado	$RCGb_{scale}$	$RCGb_{ATG}$
Tamanho da amostra	17	17
Soma dos Postos (Ri)	306	289
Mediana =	0	0
$U_{calc} =$		136
p-valor (unilateral) =		0,3848
p-valor (bilateral) =		0,7697

Quadro 5.6: aplicação do Teste de *Mann-Whitney* sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, sem correção *crossstalk* e com correção atmosférica (QUAC) e sobre os valores do $RCGb_{ATG}$.

ANÁLISE NÃO PARAMÉTRICA DE MANN-WHITNEY		
Resultado	$RCGb_{scale}$	$RCGb_{ATG}$
Tamanho da amostra	17	17
Soma dos Postos (Ri)	298,5	296,5
Mediana =	0,72	0,72
$U_{calc} =$		143,5
p-valor (unilateral) =		0,4863
p-valor (bilateral) =		0,9725

Para os processamentos 5 e 6 o U_{calc} (FLAASH) e o U_{calc} (QUAC) apresentaram valores iguais a 136 e 143,5, respectivamente e, segundo a tabela de valores críticos de *Mann-Whitney* ($\alpha = 0,05$), o valor do U_{tab} é igual a 87. Verificou-se que, para ambos, o $U_{calc} \geq U_{tab}$, portanto, rejeitou-se H_0 , isto é, tanto o transecto $RCGb_{scale}$ (FLAASH) como o transecto $RCGb_{scale}$ (QUAC) não apresentaram similaridade estatística com o transecto $RCGb_{ATG}$ entre seus valores.

Porém, apesar da aplicação do teste estatístico de *Mann-Whitney* ter apresentado resultado de não similaridade estatística entre os valores dos transectos $RCGb_{scale}$ (QUAC) e $RCGb_{ATG}$, por meio da análise visual da **Figura 5.12**, e como já comentado e justificado anteriormente, verificou-se a similaridade no comportamento de seus transectos espaciais.

O resultado do Teste U provavelmente está relacionado à inversão de valores a partir do ponto 7, e para a avaliação matemática, isso significou que, na maior separação

dos dados, em conjunto, as amostras eram distintas, rejeitando-se a hipótese de igualdade das medianas.

Concluiu-se que imagem L1A convertido para reflectância, sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica a aplicação do índice $RCGb_{scale}$ proporcionou resultado eficaz, para a aplicação do QUAC e não eficaz para a aplicação do FLAASH, no estudo da relação caulinita/caulinita+gibbsita para a área de estudo no município de Niquelândia.

5.1.7. Processamentos 7 e 8: Imagem de reflectância convertida a partir dos dados L1B ASTER-SWIR, com correção *crosstalk*, por meio do programa CRSTK30 e com correção atmosférica por meio da aplicação dos algoritmos FLAASH e QUAC

As **Figuras 5.13** e **5.14** apresentam a **(a)** aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem de reflectância convertida a partir dos dados L1B com correção *crosstalk*, por meio do programa CRSTK30 e com correção atmosférica por meio da aplicação dos algoritmos FLAASH e QUAC, respectivamente, e **(b)** o fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$.

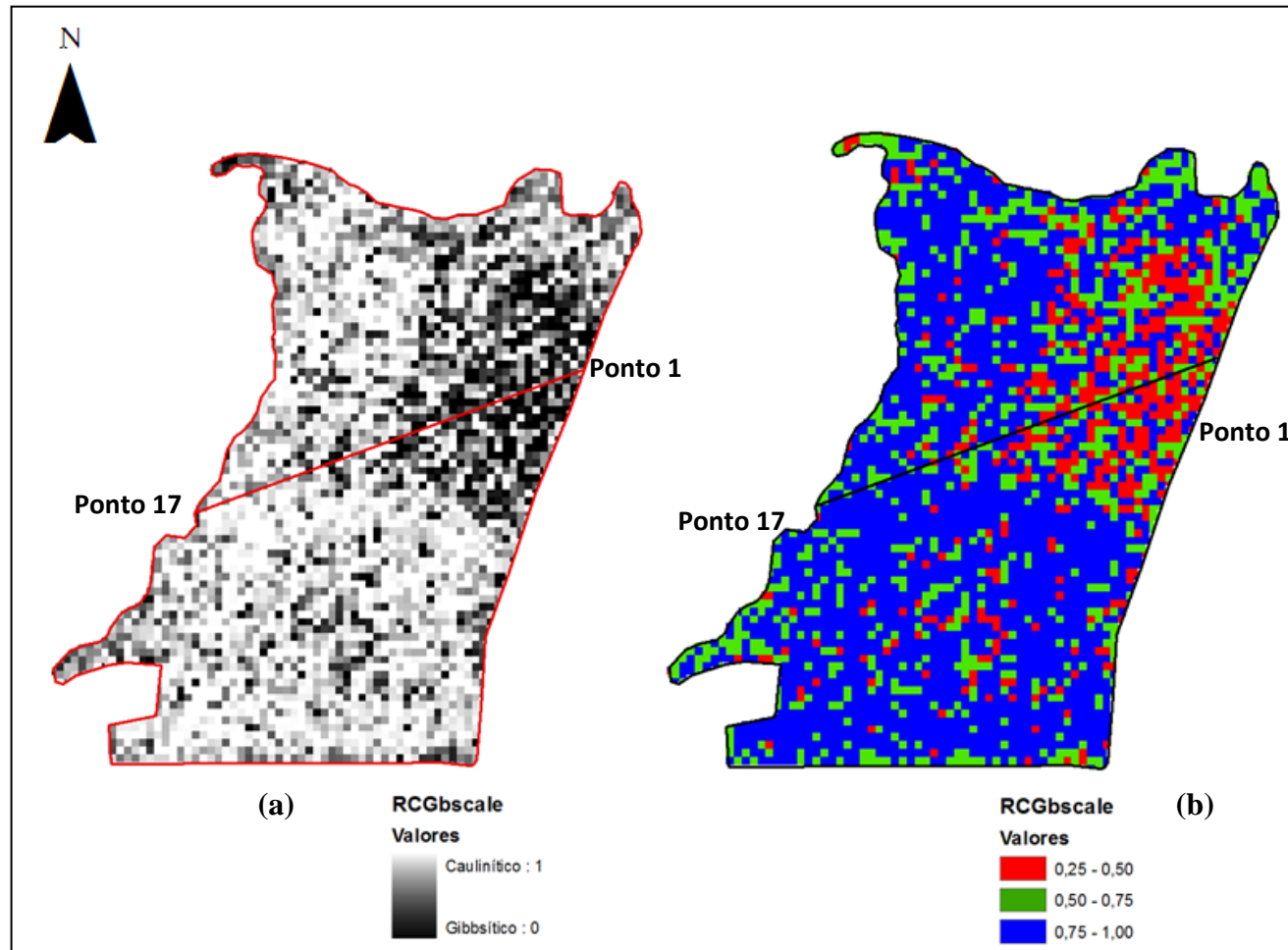


Figura 5.13: (a) aplicação do RCGb_{scale} na imagem L1B de reflectância ASTER-SWIR, com correção *crossstalk* (CRSTK30) e com correção atmosférica (FLAASH), do município de Niquelândia; (b) fatiamento em intervalos dos valores do RCGb_{scale}.

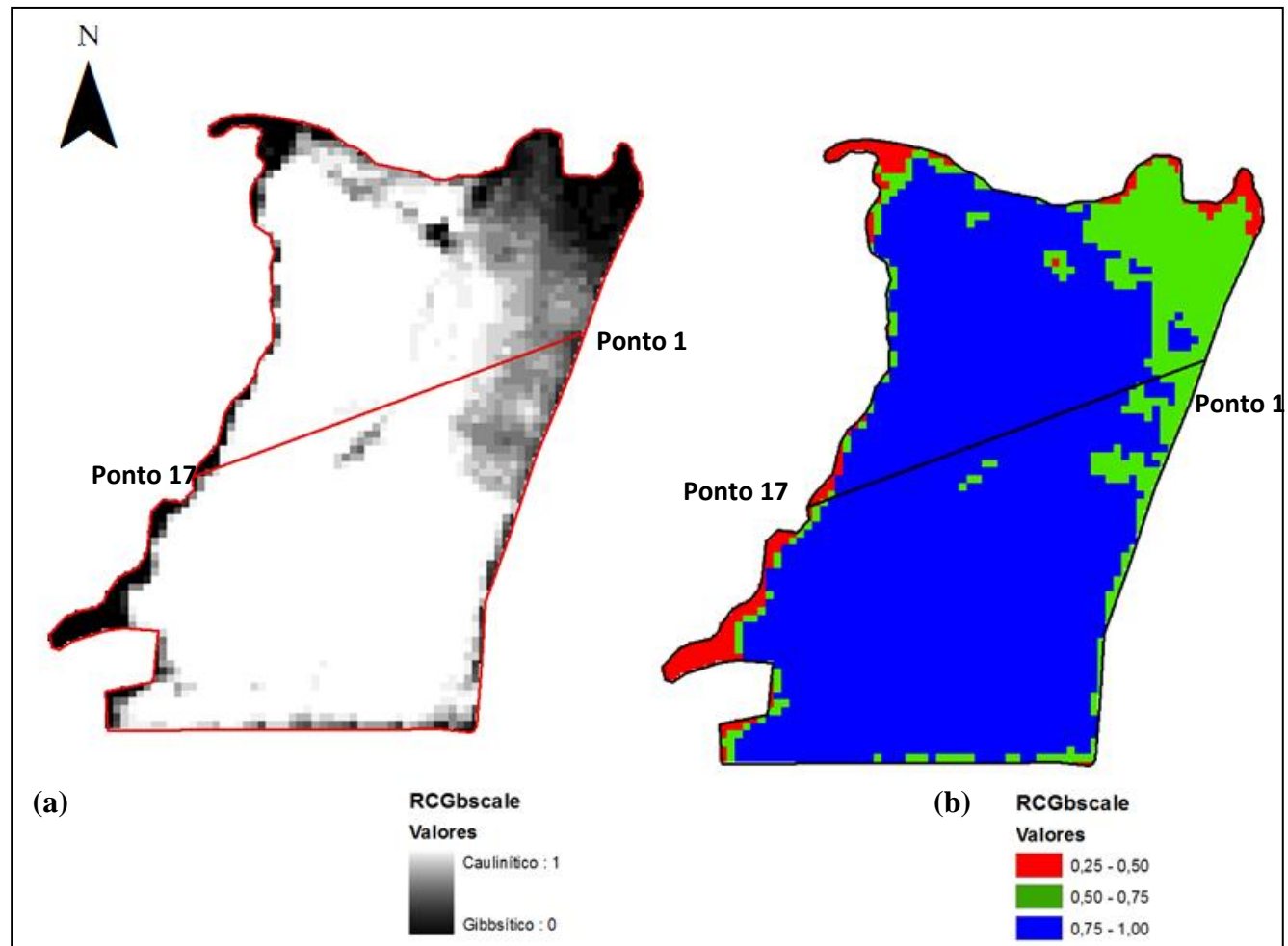


Figura 5.14: (a) aplicação do $RCG_{b_{scale}}$ na imagem L1B de reflectância ASTER-SWIR, com correção *crossstalk* (CRSTK30) e com correção atmosférica (QUAC), do município de Niquelândia; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCG_{b_{scale}}$.

A imagem $RCGb_{scale}$ (FLAASH), **Figura 5.13(a)**, apresentou uma variabilidade espacial significativa da relação $Caulinita/(Caulinita+Gibbsita)$, sendo verificado por meio da variação dos tons de cinza na imagem, indicando um ambiente caulínico, assim como o fatiamento dos valores do $RCGb_{scale}$ (FLAASH), **Figura 5.13(b)**, também proporcionou melhor resultado para a espacialização da relação $Caulinita/(Caulinita+Gibbsita)$.

Já a imagem $RCGb_{scale}$ (QUAC), **Figura 5.14(a)**, não apresentou resultado positivo para a identificação da relação mineralógica. Verificou-se, que a área da imagem apresentou tonalidade homogênea, variando de tons claros a muito claros. Por esse motivo, o fatiamento dos valores $RCGb_{scale}$ (QUAC), **Figura 5.14(b)** também não proporcionou resultado positivo para a espacialização da relação $Caulinita/(Caulinita+Gibbsita)$.

Os gráficos **Figuras 5.15 e 5.16** apresentam o comportamento dos transectos do $RCGb_{scale}$ (FLAASH) e do $RCGb_{ATG}$ e do $RCGb_{scale}$ (QUAC) e do $RCGb_{ATG}$, respectivamente.

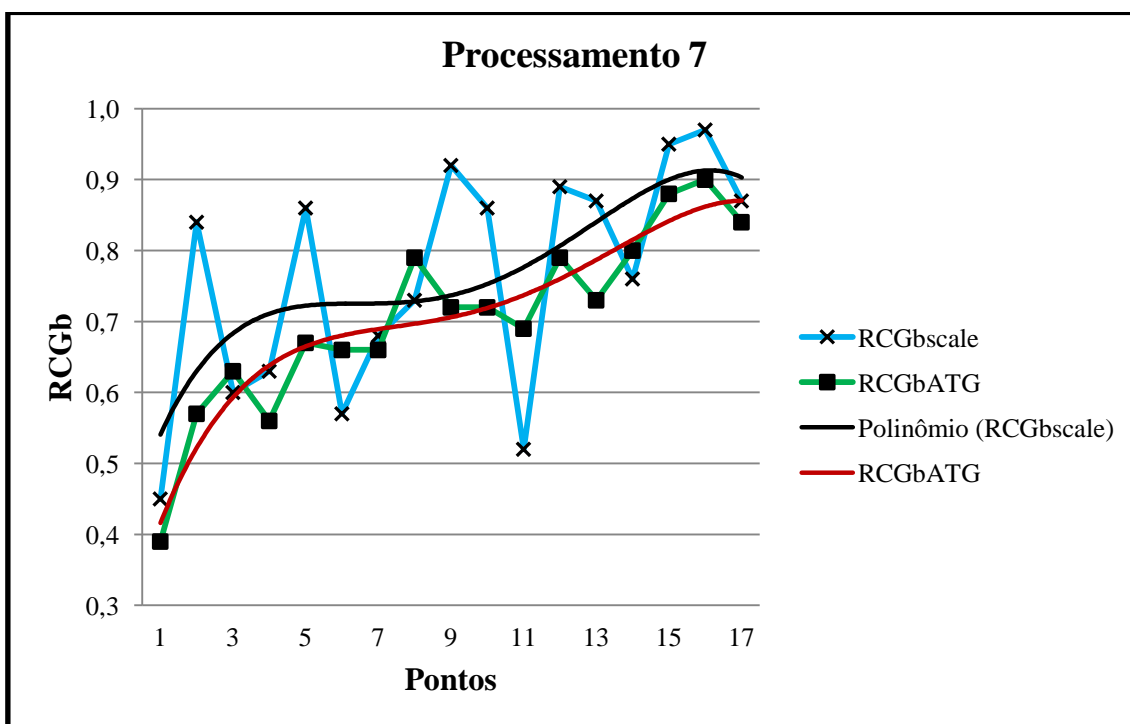


Figura 5.15: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, com correção *crosstalk* (CRSTK30) e com correção atmosférica (FLAASH) e do $RCGb_{ATG}$.

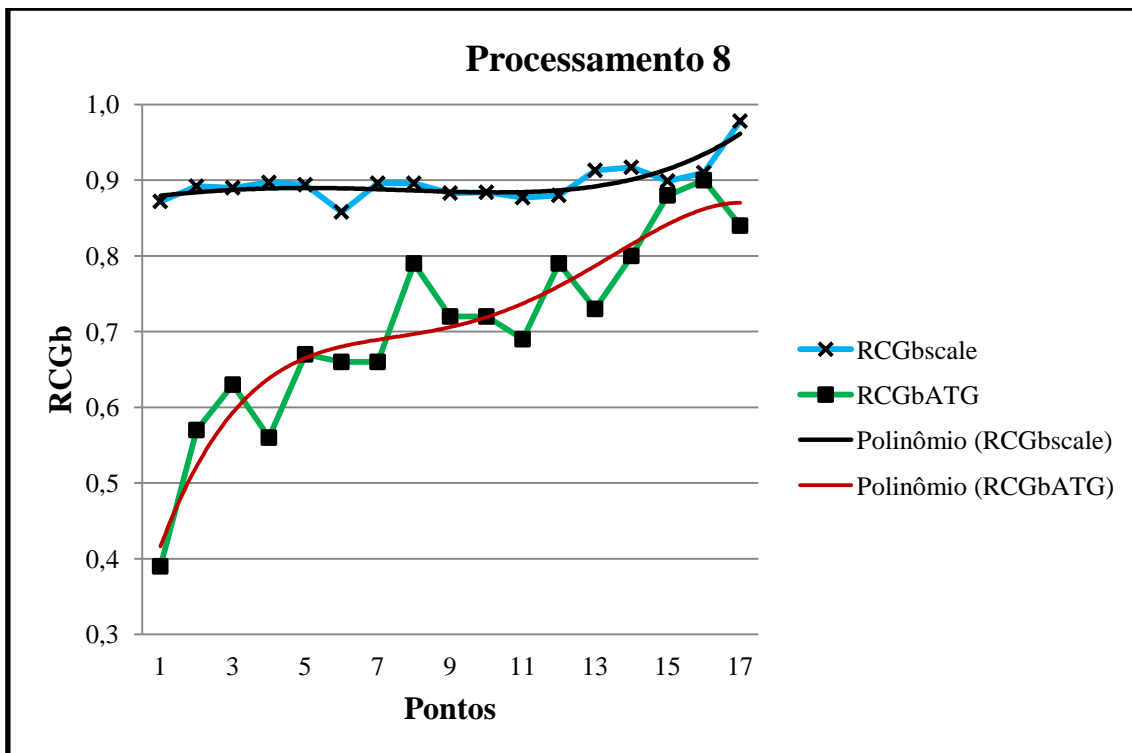


Figura 5.16: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, com correção *crossstalk* (CRSTK30) e com correção atmosférica (QUAC) e do $RCGb_{ATG}$.

Verificou-se, visualmente, que o transecto do $RCGb_{scale}$ (FLAASH) apresentou alta variação em seus valores, valores esses superestimados e subestimados em relação aos valores do $RCGb_{ATG}$. No entanto, o comportamento apresentou similaridade bastante considerável em relação ao transecto do $RCGb_{ATG}$.

Já o transecto do $RCGb_{scale}$ (QUAC), apresentou transecto aplainado, o que pode estar relacionado à possíveis erros na aplicação do módulo QUAC ocasionando a diminuição da eficiência do índice $RCGb_{scale}$ na identificação da espacialização da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita).

As **Tabela 5.7 e 5.8** apresentam os resultados obtidos com a aplicação do teste U para os valores do $RCGb_{scale}$ (FLAASH) e $RCGb_{ATG}$; $RCGb_{scale}$ (QUAC) e $RCGb_{ATG}$, respectivamente.

Tabela 5.7: aplicação do Teste de *Mann-Whitney* sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, com correção *crossstalk* (CRSTK30) e com correção atmosférica (FLAASH) e sobre os valores do $RCGb_{ATG}$.

ANÁLISE NÃO PARAMÉTRICA DE MANN-WHITNEY		
Resultado	$RCGb_{scale}$	$RCGb_{ATG}$
Tamanho da amostra	17	17
Soma dos Postos (Ri)	334	261
Mediana =	0,84	0,72
U_{calc} =	108	
p-valor (unilateral) =	0,1043	
p-valor (bilateral) =	0,2087	

Tabela 5.8: aplicação do Teste de *Mann-Whitney* sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, com correção *crossstalk* (CRSTK30) e com correção atmosférica (QUAC) e sobre os valores do $RCGb_{ATG}$.

ANÁLISE NÃO PARAMÉTRICA DE MANN-WHITNEY		
Resultado	$RCGb_{scale}$	$RCGb_{ATG}$
Tamanho da amostra	17	17
Soma dos Postos (Ri)	427	168
Mediana =	0,89	0,72
U_{calc} =	15	
p-valor (unilateral) =	< 0,0001	
p-valor (bilateral) =	< 0,0001	

Para os processamentos 7 e 8, o U_{calc} (FLAASH) e o U_{calc} (QUAC) apresentaram valores iguais a 108 e 15, respectivamente, sendo o valor do U_{tab} é igual a 87.

Isso significa que, para $RCGb_{scale}$ (FLAASH) $U_{calc} \geq U_{tab}$, portanto, rejeitou-se H_0 , isto é, o transecto $RCGb_{scale}$ (FLAASH) não apresentou similaridade estatística com o transecto $RCGb_{ATG}$.

Para $RCGb_{scale}$ (QUAC), $U_{calc} < U_{tab}$, portanto, aceitou-se H_0 , isto é, o transecto $RCGb_{scale}$ (QUAC) apresentou similaridade estatística com o transecto $RCGb_{ATG}$ entre seus valores.

Tais resultados aparentemente contrariam as observações visuais realizadas nas etapas anteriores, pois, enquanto o $RCGb_{scale}$ (FLAASH) apresentou transecto similar ao $RCGb_{ATG}$, o $RCGb_{scale}$ (QUAC) não apresentou similaridade e sim comportamento com tendência linear e contínua. Porém, ao observar o transecto do FLAASH verificou-se que a oscilação dos dados era muito maior que a observada no QUAC, isso fez com que a relação de similaridade das medianas não acontecesse.

Concluiu-se que para a imagem LIB convertido para reflectância, com correção *crosstalk* e com correção atmosférica a aplicação do índice $RCGb_{scale}$ é eficiente, para a aplicação do FLAASH e, não eficiente para a aplicação do QUAC, no estudo da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) para a área de estudo no município de Niquelândia.

5.1.8. Processamento 9: produto sob demanda ASTER AST_07 – imagem de reflectância, sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica.

O produto ASTER AST_07 é um produto obtido sob demanda, no qual é atribuída a correção atmosférica, para a região do visível e do infravermelho próximo (VNIR) e do infravermelho de ondas curtas (SWIR). Cada pacote do produto inclui dois arquivos HDF: uma para o VNIR, e outro para o SWIR (<http://lpdaac.usgs.gov>).

O *Look Up Table* (LUT) é o algoritmo do ASTER para a correção atmosférica similar ao FLAASH, baseado na relação entre a distribuição angular de espalhamento de luz, e de absorção na atmosfera, e as propriedades da superfície, por meio de uma abordagem de transferência radiativa (RTC). O RTC usado para gerar o LUT, para a correção atmosférica, baseia-se nos seguintes parâmetros: ângulo zenital solar, ângulo de visão de satélite, de ângulo de azimute relativo entre o satélite e o sol, profundidade de dispersão molecular óptico, profundidade de dispersão óptica do aerossol, dispersão aerossol albedo, parâmetro de tamanho de aerossol, e a reflectância da superfície (<http://lpdaac.usgs.gov>). A **Figura 5.17** apresenta a aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem AST_07 do município de Niquelândia e o **(b)** fatiamento em intervalos dos valores do reclassificação da imagem de $RCGb_{scale}$.

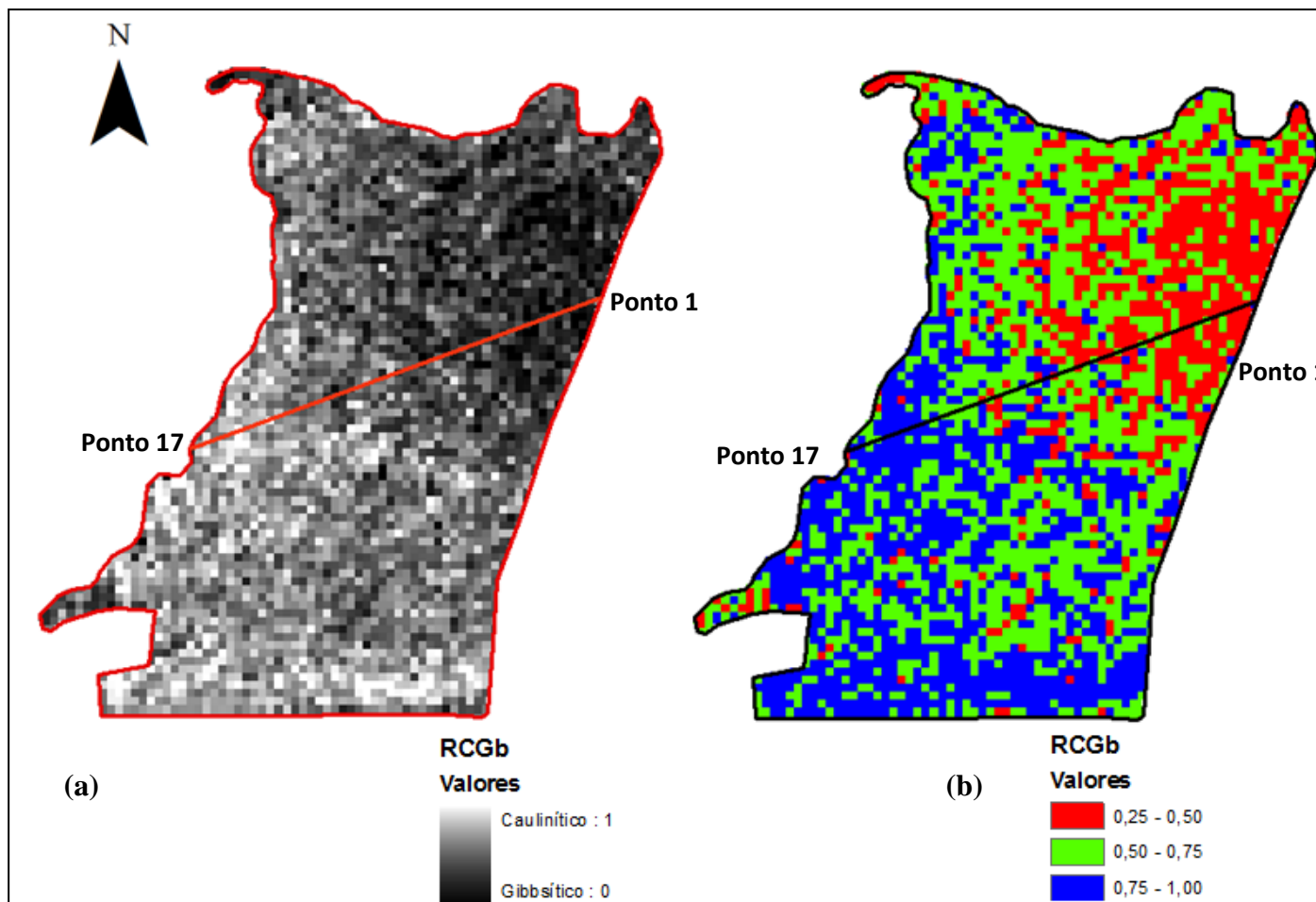


Figura 5.17: (a) aplicação do RCGb_{scale} sobre o produto sob demanda ASTER AST-07 – imagem de reflectância, sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica do município de Niquelândia; (b) fatiamento em intervalos dos valores do RCGb_{scale}.

A imagem $RCGb_{scale}$ **Figura 5.17 (a)** apresentou homogeneidade, em tons mais escuros porém, apesar desse fato, a identificação da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) pôde ser observada.

A classificação dos valores do $RCGb_{scale}$, **Figura 5.17 (b)**, nos mesmos intervalos de classes que os processamentos anteriores, apresentou, de forma positiva, a espacialização da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita).

O próximo passo foi analisar o comportamento do transecto espacial do $RCGb_{scale}$ em relação ao comportamento espacial do $RCGb_{ATG}$. Para isso, os valores do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$ foram plotados gerando o gráfico apresentado na **Figura 5.18**.

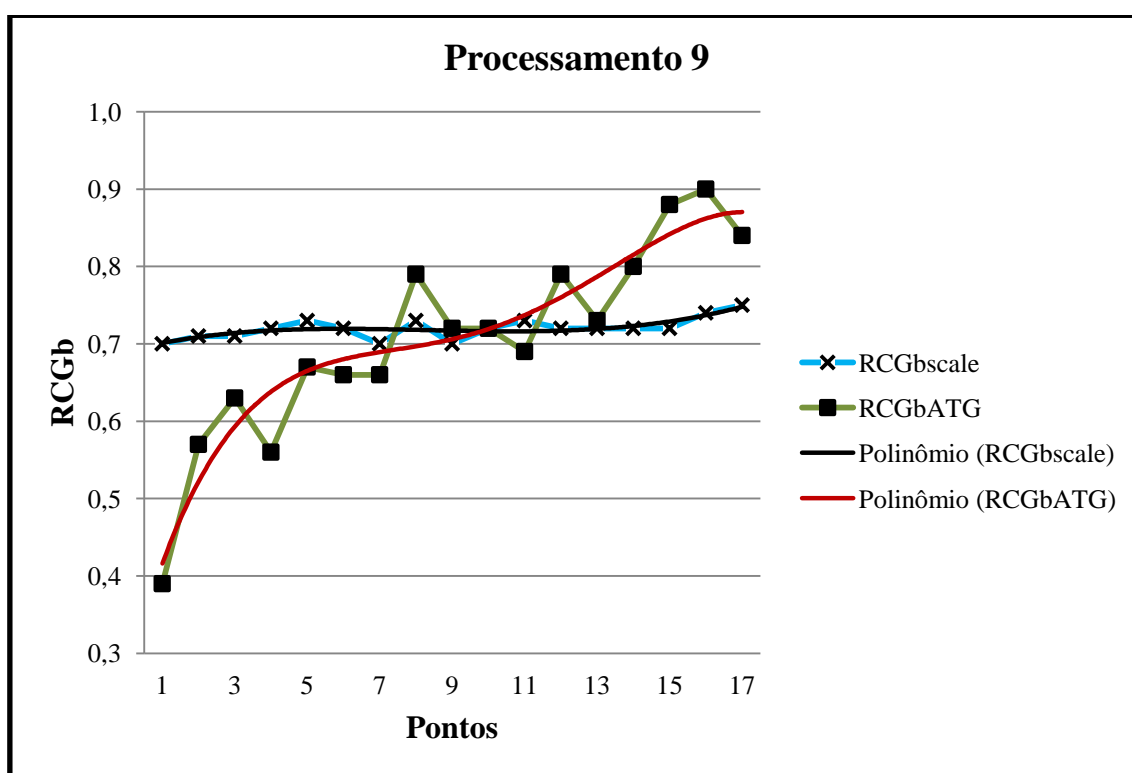


Figura 5.18: transectos do $RCGb_{scale}$ do Produto sob demanda AST_07, sem correção *crossstalk* e com correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$.

Verificou-se, visualmente, que o transecto do $RCGb_{scale}$ na imagem AST_07 sem correção *crossstalk* e com correção atmosférica, apresentou comportamento aplanado. Apesar da imagem com composição colorida ter proporcionado a identificação da relação mineralógica, os pontos coletados no transecto apresentaram valores muito próximos, não possibilitando um comportamento similar ao transecto do $RCGb_{ATG}$. Esse fato pode estar relacionado à possíveis erros na combinação do $RCGb_{scale}$ e do algoritmo de correção atmosférica do ASTER, ocasionando a diminuição da eficiência

do índice na identificação da espacialização da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita). A **Tabela 5.9** apresenta os resultados obtidos com a aplicação do teste U.

Tabela 5.9: aplicação do Teste de *Mann-Whitney* sobre os valores do produto AST_07, sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica e sobre os valores do RCGb_{ATG}.

ANÁLISE NÃO PARAMÉTRICA DE MANN-WHITNEY		
Resultado	RCGb _{scale}	RCGb _{ATG}
Tamanho da amostra	17	17
Soma dos Postos (Ri)	309,5	285,5
Mediana =	0,72	0,72
U _{calc} =		132,50
p-valor (unilateral) =		0,3397
p-valor (bilateral) =		0,6794

Como pôde ser observado na **Tabela 5.9**, o teste estatístico apresentou resultado para a não similaridade entre os dados do RCGb_{scale} e RCGb_{ATG}, pois o U_{calc} apresentou valor igual a 132,5, ou seja, $U_{calc} \geq U_{tab}$, e segundo a tabela de valores críticos de *Mann-Whitney* ($\alpha = 0,05$), para o tamanho de amostra igual a 17, o valor do U_{tab} é igual a 87. Sendo assim, H₀, foi rejeitado.

Desse modo, conclui-se que, para imagem AST_07, com a correção atmosférica e sem a correção *crosstalk*, a aplicação do índice RCGb_{scale} não proporciona resultados positivos para o estudo da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) nos solos da área de estudo de Niquelândia.

5.1.9. Processamento 10: Produto sob demanda AST_07XT – imagem de reflectância com correção *crosstalk* e com correção atmosférica

O produto ASTER AST_07XT é um produto sob demanda já fornecido com a correção atmosférica e a correção do *crosstalk*, para a região do visível, do infravermelho próximo (VNIR) e do infravermelho próximo (SWIR). O módulo utilizado, para correção atmosférica é o mesmo do produto AST_07.

O SWIR é afetado por um problema de “vazamento” de sinal, o *crosstalk*, observado após o lançamento do ASTER em 1999. O detector SWIR contém 2.048 PT-SI (platina siliceto) matrizes para cada uma de suas seis bandas espectrais. Existem seis pares de matrizes escalonadas CCD lineares para cada banda, as quais estão espaçadas

1,33 μm na ordem em que as bandas se encontram, ou seja, 7, 8, 9, 4, 5, e 6. Na frente de cada par de matriz CCD, existem filtros de interferência que espectralmente separam a radiação reflectida provinda da superfície da terra (<http://lpdaac.usgs.gov>).

O problema está, de fato, nos detectores da banda 4, nos quais, a luz incidente é reflectida pelos detectores revestidos de alumínio os quais produzem o “vazamento” sobre os detectores das bandas vizinhas, ou seja, bandas 5 e 9. Além disso, o problema é agravado pelo efeito de paralaxe de banda para banda e a distância entre os pares de matriz CCD. A banda 4, além de ser a banda mais larga do SWIR, com largura de 0,092 μm , também é a banda com maior potência de reflectividade, sendo sua radiação, cerca de 4 a 5 vezes mais intensa que as demais bandas (<https://lpdaac.usgs.gov>).

Para tentar resolver o problema, a equipe de Ciência japonesa desenvolveu o algoritmo original da correção *crosstalk* que é usado para corrigir o pacote de dados ASTER Nível-1B (<https://lpdaac.usgs.gov>).

O modelo original é baseado na compreensão fundamental de que a radiação incidente na banda 4, que é reflectida ou “vazada” para as outras bandas, principalmente as vizinhas, tende a seguir um certo padrão de direção de deslocamentos ao longo da trajetória da REM. O algoritmo original não é simétrico à direção transversal da trajetória, e para isso, outras funções mais ajustadas são usadas no algoritmo. Os coeficientes de sensibilidade radiométrica são estatisticamente derivados para garantir que uma consistência de calibração seja mantida nas fases pré-e pós-correção *crosstalk* (<https://lpdaac.usgs.gov>).

A **Figura 5.19** apresenta a aplicação do RCGb_{scale} na imagem AST_07XT ASTER-SWIR do município de Niquelândia **(a)** e o fatiamento em intervalo dos valores do RCGb_{scale} **(b)**.

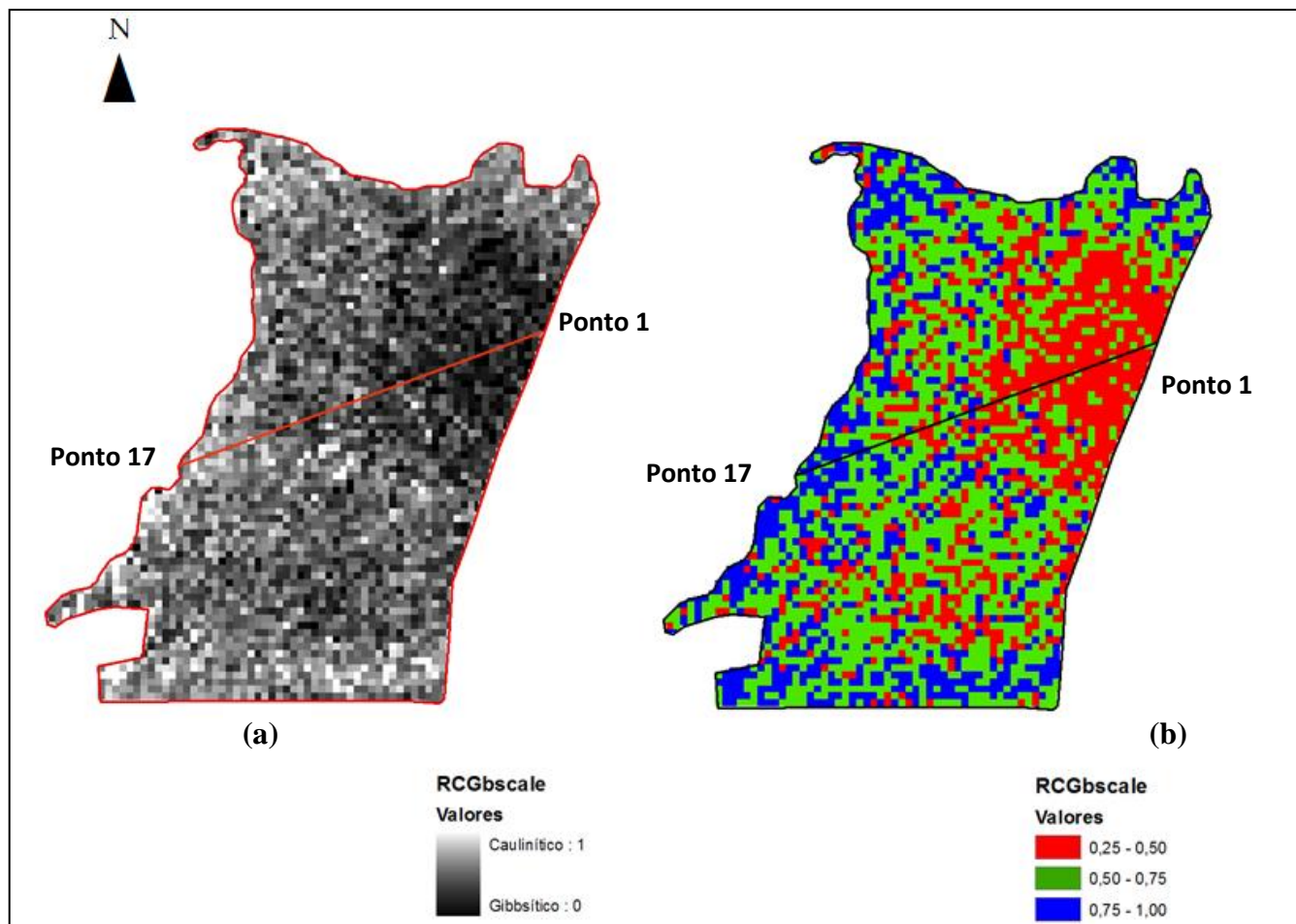


Figura 5.19: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ sobre o produto sob demanda ASTER AST_07XT – imagem de reflectância com correção *crossstalk* e com correção atmosférica do município de Niquelândia; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$.

Apesar da imagem $RCGb_{scale}$ **Figura 5.19 (a)**, ter apresentado homogeneidade, em tons mais escuros, a relação $Caulinita/(Caulinita+Gibbsita)$ pôde ser observada de forma discreta.

O fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$, **Figura 5.19 (b)**, também possibilitou a observação da espacialização da relação $Caulinita/(Caulinita+Gibbsita)$, iniciando com valores representados pela cor vermelha (0,25 - 0,50), seguindo por um ambiente com o predomínio da cor verde (0,50-0,75) e terminando com valores representados pela cor azul (0,75 - 1,00). Observou-se que os valores da imagem pertenciam, em sua maioria, aos intervalos (0,25 - 0,50) e (0,50 - 0,75).

A **Figura 5.20** apresenta a comparação entre os transectos do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$.

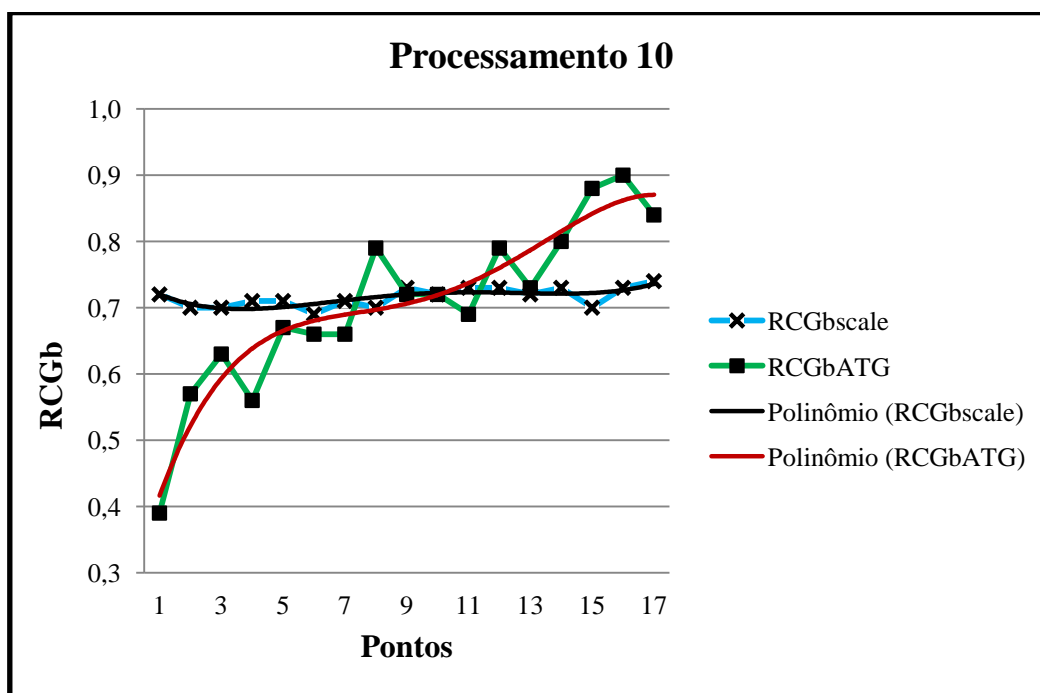


Figura 5.20: transectos do $RCGb_{scale}$ do Produto sob demanda AST_07XT, com correção *crossstalk* e com correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$.

Na análise visual do transecto do $RCGb_{scale}$ em relação ao transecto do $RCGb_{ATG}$, **Figuras 5.20**, observou-se que, por ter apresentado todos os valores dos 17 pontos coletados em um único intervalo (0,50 - 0,75), o transecto do $RCGb_{scale}$ apresentou comportamento aplanado, não tendo qualquer similaridade com o transecto do $RCGb_{ATG}$.

O motivo para esse comportamento pode estar relacionado a possíveis erros na combinação entre o $RCGb_{scale}$ e os algoritmos de correção atmosférica e da correção do *crosstalk* do ASTER, ocasionando a diminuição da eficiência do índice na identificação da espacialização da relação mineralógica. A **Tabela 5.10** apresenta os resultados obtidos com a aplicação do Teste U.

Tabela 5.10: aplicação do Teste de *Mann-Whitney* sobre os valores do $RCGb_{scale}$ do Produto sob demanda AST_07XT, com correção *crosstalk* e com correção atmosférica e sobre os valores do $RCGb_{ATG}$.

ANÁLISE NÃO PARAMÉTRICA DE MANN-WHITNEY		
Resultado	$RCGb_{scale}$	$RCGb_{ATG}$
Tamanho da amostra	17	17
Soma dos Postos (Ri)	307,0	288,0
Mediana =	0,72	0,72
$U_{calc} =$	135,00	
p-valor (unilateral) =	0,3718	
p-valor (bilateral) =	0,7435	

O resultado obtido pela aplicação do teste de *Mann-Whitney* não apresentou similaridade estatística entre os dados do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$, pois $U_{calc} \geq U_{tab}$, com valor igual a 135 e, segundo a tabela de valores críticos de *Mann-Whitney* ($\alpha = 0,05$) e tamanho de amostra igual a 17, o valor do U_{tab} é igual a 87 rejeitando-se H_0 .

Sendo assim, verificou-se que, para imagem AST_07XT, com correção atmosférica com a correção *crosstalk*, a aplicação do índice $RCGb_{scale}$ não proporcionou resultados positivos para o estudo da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) nos solos da área de estudo de Niquelândia.

5.2. Aplicação do Índice Espectral $RCGb_{scale}$ em imagens ASTER-SWIR do município de São João d'Aliança – GO.

Para o estudo em São João d'Aliança foram investigados, nas imagens, os treze pontos coletados no transecto, com espaçamento de 100m, equivalentes aos pontos coletados em campo por Baptista (2001).

Para a realização do presente estudo utilizou-se imagens ASTER do município de São João D'Aliança são do dia 24 de outubro de 2001 do sensor SWIR. Escolheram-se as imagens L1A, entendida como dado bruto de radiância e sem correções no nível do sensor; L1B que é a imagem de radiância corrigida ao nível do sensor; os produtos ASTER sob demanda AST_07 que representa o dado de reflectância com correção atmosférica e AST_07XT, com correção atmosférica e de *crosstalk*.

Para a análise das imagens dos processamentos descritos, foram escolhidos como quesitos: a análise do comportamento do transecto, a qual foi considerada a mais relevante, por fornecer o resultado mais completo, em relação aos demais, ou seja, os valores dos pontos coletados no transecto e a tendência do seu comportamento. A análise da imagem fatiada, por apresentar a classificação dos valores do transecto em intervalos, possibilitando assim uma melhor visualização da espacialização da relação mineralógica. A análise da imagem em tons de cinza, por apresentar a tendência dos ambientes caulíníticos e gibbsíticos, por meio da variação de cinza e, por fim, a análise estatística, por ter o papel de complementação.

Assim como para Niquelândia, considerou-se para São João d'Aliança, em relação ao $RCGb_{scale}$, que, quanto maior seu valor, maior seria o teor de sílica presentes na caulinita. E, para valores menores, maior seria a tendência de teor de alumina, presentes tanto na caulinita como na gibbsita. Considerou-se também que tonalidades mais claras indicariam ambientes caulíníticos e, tonalidades mais escuras, ambientes gibbsíticos (BAPTISTA, 2006).

5.2.1. Processamento 1: Imagem de radiância L1A (dados brutos) ASTER-SWIR, sem correção *crossstalk* e sem correção atmosférica

A **Figura 5.21** apresenta a **(a)** aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem de radiância L1A (dados brutos) ASTER-SWIR do município de São João D'Aliança e o **(b)** fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$.

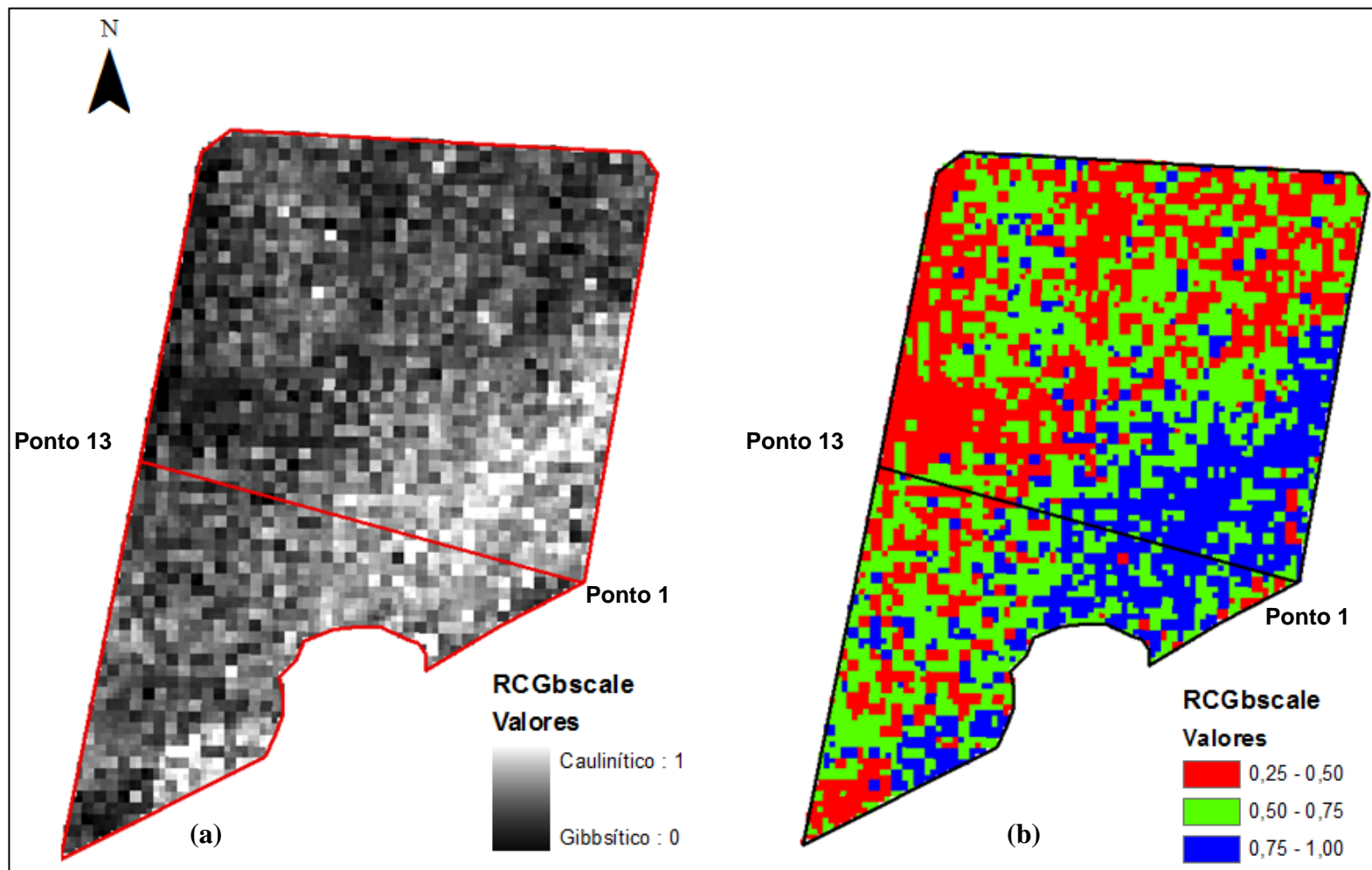


Figura 5.21: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem de radiância L1A (dados brutos) ASTER-SWIR, sem correção *crossstalk* e sem correção atmosférica do município de São João d'Aliança; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$.

A variação dos tons de cinza indicou a espacialização da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) e que, as áreas mais claras indicaram provavelmente áreas com maior teor de sílica. De acordo com as características físicas da região, descritas por Baptista (2006), essas áreas com tonalidade mais clara referem-se a uma vertente convexa alongada, portanto, áreas mais preservadas de processos erosivos. Por sua vez, as áreas mais escuras, referem-se à uma pequena depressão côncava e, ainda de acordo com Baptista (2006), seriam áreas mais sujeitas à alteração.

Em relação à **Figura 5.21 (b)**, apesar de o fatiamento dos valores do $RCGb_{scale}$ nos intervalos (0,25 - 0,50); (0,50 - 0,75) e (0,75 - 1,00) ter apresentado uma espacialização da relação mineralógica considerável, os pontos coletados do transecto apresentaram valores pertencentes a um único intervalo (0,75 - 1,00), representado pela cor azul, não sendo possível verificar a espacialização da relação entre os dois minerais.

Seguindo-se as etapas da análise, verificou-se o comportamento dos transectos do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$ representados na **Figura 5.22** a seguir.

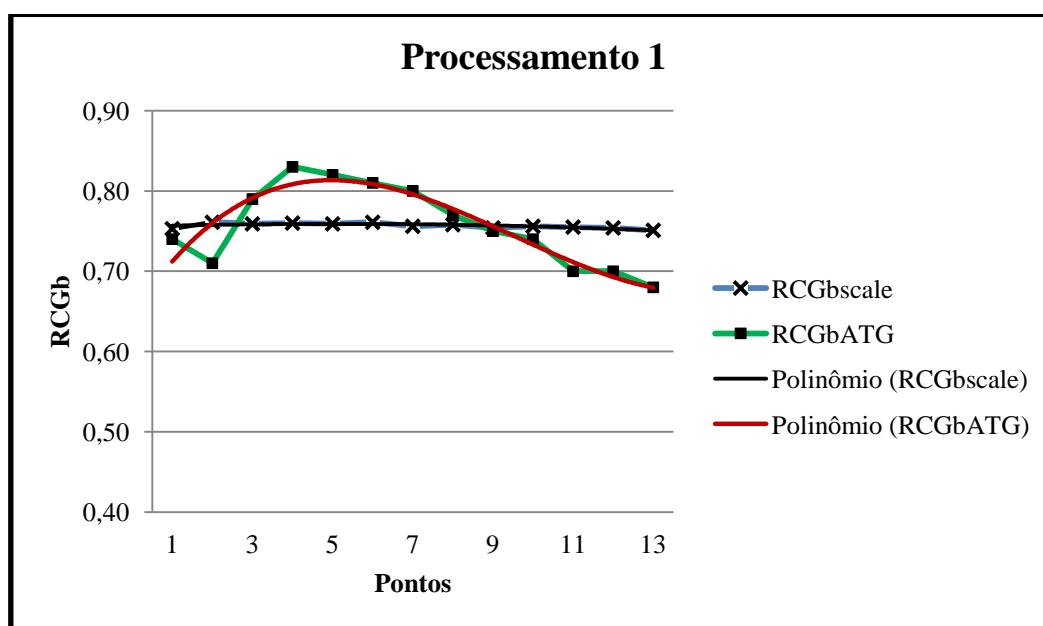


Figura 5.22: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem de radiância L1A (dados brutos) ASTER-SWIR, sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica e $RCGb_{ATG}$.

O transecto $RCGb_{scale}$, para os dados da imagem de radiância L1A (dados brutos) apresentou os 13 valores muito próximos todos oscilando de 0,75 a 0,76, o que não possibilitou a visualização da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita).

Da mesma forma que nas imagens do município de Niquelândia, que apresentaram transecto com as mesmas características, o comportamento aplainado do

transecto do $RCGb_{scale}$ pode estar relacionado à natureza dos dados L1A (dados brutos) pois, como já mencionado, esse tipo de imagem mantém os valores dos dados originais, os coeficientes radiométricos, os coeficientes geométricos, os coeficientes para correção do erro de paralaxe do SWIR e outros dados auxiliares sem a aplicação desses coeficientes nos dados, de fato.

E assim, a aplicação do índice espectral $RCGb_{scale}$ sob os dados L1A (dados brutos) não possibilitou, de forma eficiente, a identificação da espacialização da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita).

Para a aplicação do teste de *Mann-Whitney* (Teste U), a fim de verificar a similaridade estatística entre os valores do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$, foram considerados:

- Como funções de distribuição correspondentes às populações: o $RCGb_{scale}$ e o $RCGb_{ATG}$, respectivamente;
- Como Hipótese nula, $H_0: RCGb_{scale} = RCGb_{ATG}$, ou seja, há similaridade estatística entre os valores do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$;
- Como Hipótese alternativa, $H_1: RCGb_{scale} \neq RCGb_{ATG}$, ou seja, não há similaridade estatística entre os valores do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$;
- E, como condicionantes:
 - ✓ rejeita-se H_0 , se $U_{calc} \geq U_{tab}$;
 - ✓ não se rejeita H_0 , se $U_{calc} < U_{tab}$.

A **Tabela 5.11** apresenta os resultados obtidos com a aplicação do Teste U.

Tabela 5.11: aplicação do Teste de *Mann-Whitney* sobre os valores do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$ da imagem de radiância L1A (dados brutos) ASTER-SWIR, sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica e sobre os valores do $RCGb_{ATG}$.

ANÁLISE NÃO PARAMÉTRICA DE MANN-WHITNEY		
Resultado	$RCGb_{scale}$	$RCGb_{ATG}$
Tamanho da amostra	13	13
Soma dos Postos (Ri)	180	171
Mediana =	0,76	0,75
$U_{calc} =$	80	
p-valor (unilateral) =	0,4087	
p-valor (bilateral) =	0,8175	

Para o processamento 1 o U_{calc} apresentou valor = 80, e, segundo a tabela de valores críticos de *Mann-Whitney*, $\alpha = 0,05$, para o tamanho de amostra = 13, o valor do U_{tab} é = 45. Verificou-se que $U_{\text{calc}} \geq U_{\text{tab}}$, portanto, rejeitou-se H_0 , isto é, os valores do $\text{RCGb}_{\text{scale}}$ e do RCGb_{ATG} não apresentaram similaridade estatística entre si.

Desse modo, verificou-se que, para imagem de radiância L1A (dados brutos) a aplicação do índice $\text{RCGb}_{\text{scale}}$ não proporcionou resultados positivos, não sendo eficaz para o estudo da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) em solos da área estudada no município de São João d'Aliança, possivelmente por causa da natureza dos dados da imagem L1A.

5.2.2. Processamento 2: Imagem de radiância L1B (radiância no nível do sensor) ASTER-SWIR, sem correção *crossstalk* e sem correção atmosférica

Seguem as observações extraídas por meio da análise da **Figura 5.23**, a qual representa **(a)** a aplicação do $\text{RCGb}_{\text{scale}}$ na imagem de radiância L1B (no nível do sensor) ASTER-SWIR do município de São João D'Aliança e o **(b)** fatiamento em intervalos dos valores do $\text{RCGb}_{\text{scale}}$.

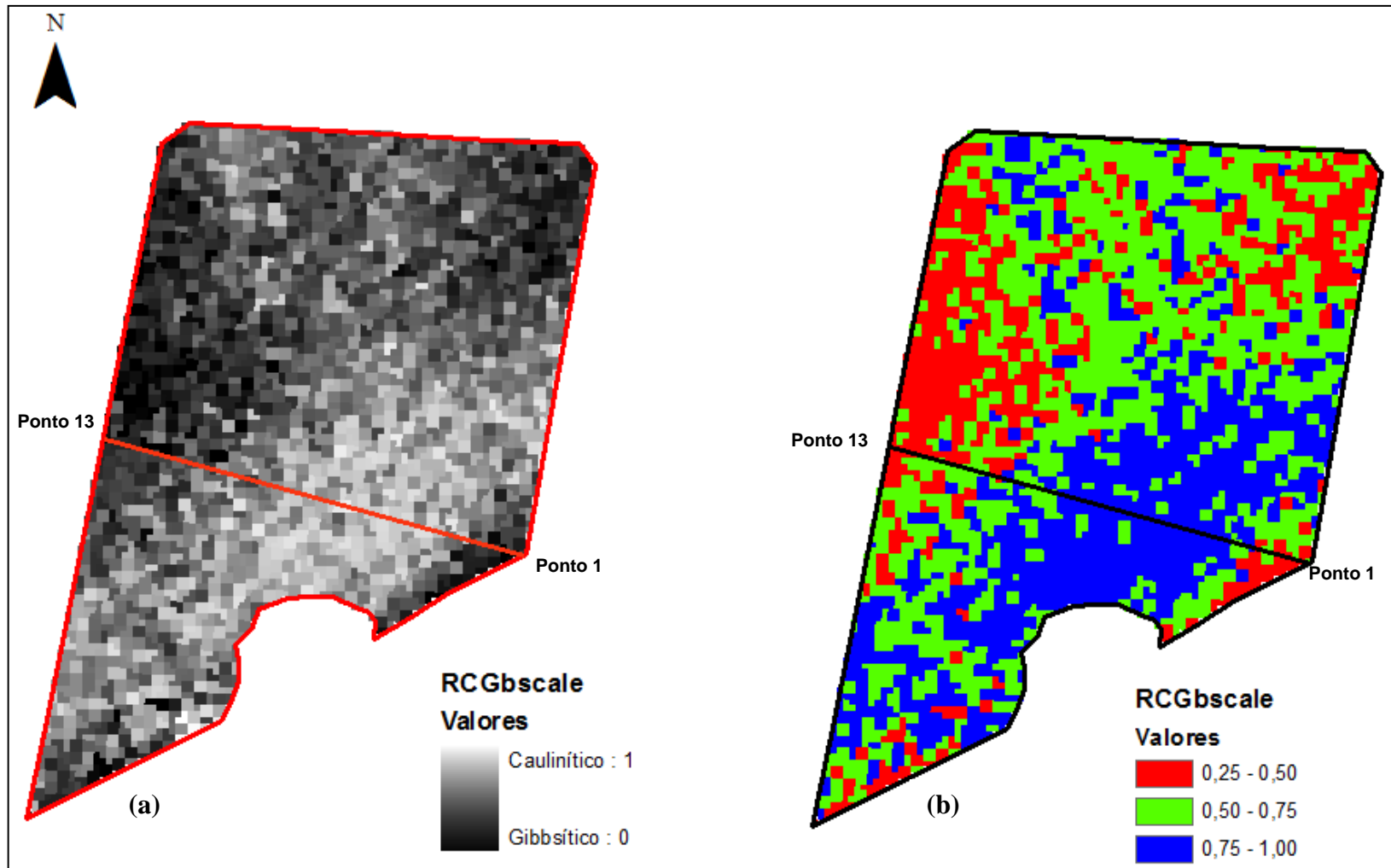


Figura 5.23: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem de radiância L1B (no nível do sensor) ASTER-SWIR, sem correção *crossstalk* e sem correção atmosférica do município de São João d'Aliança; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$.

Aparentemente o mapeamento da relação $\text{Caulinita}/(\text{Caulinita}+\text{Gibbsita})$ pôde ser observado pela variação dos tons de cinza **Figura 5.23(a)**, sendo o ponto 1 e os pontos finais os relacionados à áreas com tendência à ambientes predominantemente gibbsítico.

A relação $\text{Caulinita}/(\text{Caulinita}+\text{Gibbsita})$ foi observada de forma satisfatória, por meio do fatiamento em intervalos dos valores do RCGb_{scale} , **Figura 5.23(b)**, iniciando com valores do intervalo (0,25 – 0,50), em vermelho, seguindo pelo intervalo (0,50 – 0,75), em verde, e pelo intervalo (0,75 – 1,00), em azul, e retornando ao intervalo (0,50 – 0,75) e terminando no intervalo (0,25 – 0,50).

Após a análise do mapeamento da relação $\text{Caulinita}/(\text{Caulinita}+\text{Gibbsita})$, verificou-se o comportamento do transecto do RCGb_{scale} em relação ao transecto do RCGb_{ATG} representados na **Figura 5.24**.

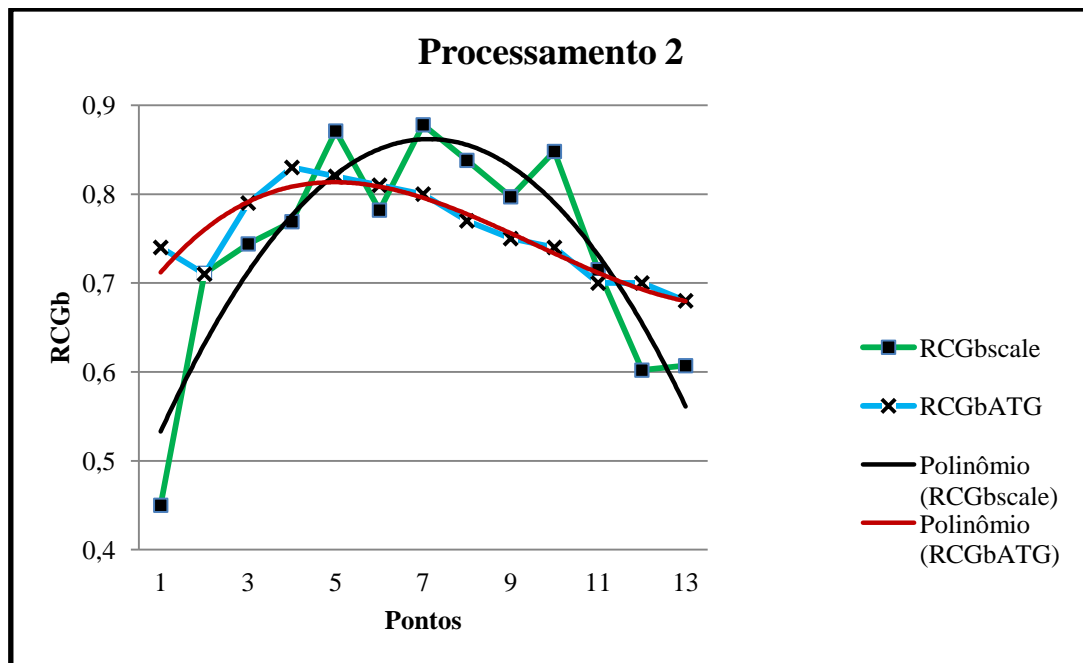


Figura 5.24: transectos do RCGb_{scale} da imagem de radiância L1B (no nível do sensor) ASTER-SWIR, sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica e do RCGb_{ATG} .

Quando o transecto do RCGb_{scale} foi observado, no gráfico da **Figura 5.24**, verificou-se que, apresentava o comportamento de uma parábola, sendo que o primeiro trecho, do ponto 1 ao ponto crítico, identificado no ponto 7, refere-se ao aumento da relação $\text{Caulinita}/(\text{Caulinita}+\text{Gibbsita})$. Do ponto crítico ao ponto 13, os valores apresentaram um decréscimo contínuo, indicando a diminuição da relação

Caulinita/(Caulinita+Gibbsita). Verificou-se, ainda, que os valores mínimos do $RCGb_{scale}$ foram subestimados em relação aos valores do $RCGb_{ATG}$.

Desse modo, verificou-se, visualmente, que o transecto do $RCGb_{scale}$, mesmo não apresentando desenho similar ao do $RCGb_{ATG}$, apresentou um transecto que indicou a variação da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita). Sendo assim, considerou-se como positiva a aplicação do índice espectral $RCGb_{scale}$ sob os dados de radiância L1B (no nível do sensor) na identificação da espacialização da relação mineralógica.

A partir dessa constatação, seguiu-se à verificação da similaridade estatística entre os valores do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$, por meio da análise estatística não paramétrica de *Mann-Whitney* (Teste U). Os parâmetros considerados encontram-se descritos no processamento 1. A **Tabela 5.12** apresenta os resultados obtidos com a aplicação do Teste U.

Tabela 5.12: aplicação do Teste de *Mann-Whitney* sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem de radiância L1B (no nível do sensor) ASTER-SWIR, sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica e sobre os valores do $RCGb_{ATG}$.

ANÁLISE NÃO PARAMÉTRICA DE MANN-WHITNEY		
Resultado	$RCGb_{scale}$	$RCGb_{ATG}$
Tamanho da amostra	13	13
Soma dos Postos (Ri)	180,5	170,5
Mediana =	0,77	0,75
$U_{calc} =$		79,50
p-valor (unilateral) =		0,3988
p-valor (bilateral) =		0,7976

Sendo o tamanho das amostras de ambos os grupos < 20 unidades, utilizou-se a tabela de valores críticos de *Mann-Whitney*, para $\alpha = 0,05$.

Para o processamento 2 o U_{calc} apresentou valor = 79,50, e, segundo a tabela de valores críticos de *Mann-Whitney*, para o tamanho de amostra = 13, o valor do U_{tab} é = 45. Verificou-se que $U_{calc} \geq U_{tab}$, portanto, rejeitou-se H_0 , isto é, os valores do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$ não apresentaram similaridade estatística entre si.

De fato os valores não apresentaram similaridade devido, provavelmente, à oscilação dos valores do $RCGb_{scale}$ com amplitudes bem maiores que os valores do $RCGb_{ATG}$. Porém, isso não significa que a aplicação do $RCGb_{scale}$ não tenha sido eficiente na identificação da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita).

Portanto, conclui-se que, para imagem de radiância L1B (no nível do sensor) a aplicação do índice $RCGb_{scale}$ proporcionou resultados positivos para a identificação da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) em solos da área estudada no município de São João d'Aliança.

5.2.3. Processamento 3: Imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância por meio do *Flat Field*, sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica

Seguem as observações extraídas por meio da análise da **Figura 5.25**, a qual representa **(a)** a aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem denominada *Flat Field* do município de São João d'Aliança e o **(b)** fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$.

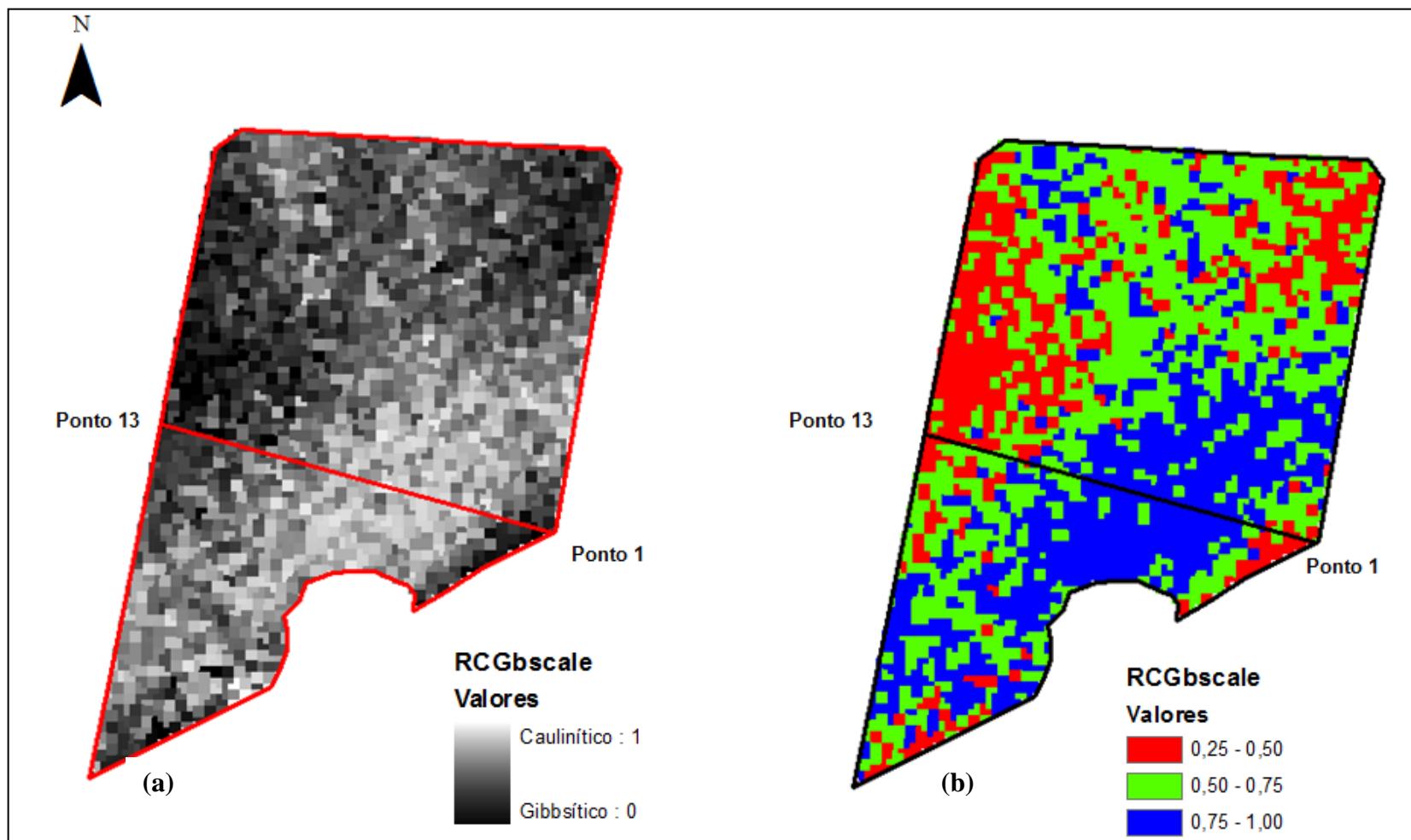


Figura 5.25: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem LIB ASTER-SWIR convertida para reflectância (*Flat Field*), sem correção *crossstalk* e sem correção atmosférica do município de São João d'Aliança; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$.

O resultado da aplicação do índice $RCGb_{scale}$ sobre a imagem convertida para reflectância por meio do módulo *Flat Field*, **Figura 5.25 (a)**, em tons de cinza, foram eficientes para espacialização da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita). As áreas mais claras indicaram maior tendência de ambientes predominantemente cauliniticos e as áreas mais extremas referentes ao início e ao final do transecto, indicaram maior tendência da presença de alumina, em tons mais escuros.

O fatiamento dos valores do $RCGb_{scale}$ em intervalos, **Figura 5.25 (b)**, também proporcionou bons resultados na identificação da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita). Os pontos do transecto apresentaram valores que proporcionaram uma distribuição significativa das cores representantes dos três intervalos pré-estabelecidos.

Os 13 pontos coletados do transecto mantiveram essa distribuição, iniciando com valores pertencentes ao intervalo (0,25 – 0,50), em vermelho, seguindo com valores do intervalo (0,50 – 0,75) e do intervalo (0,75 – 1,00), em azul, retornando ao intervalo (0,50 – 0,75) e terminando com valores do intervalo (0,25 – 0,50).

A fim de verificar a similaridade entre os perfis do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$, os valores foram plotados no gráfico representados pela **Figura 5.26**.

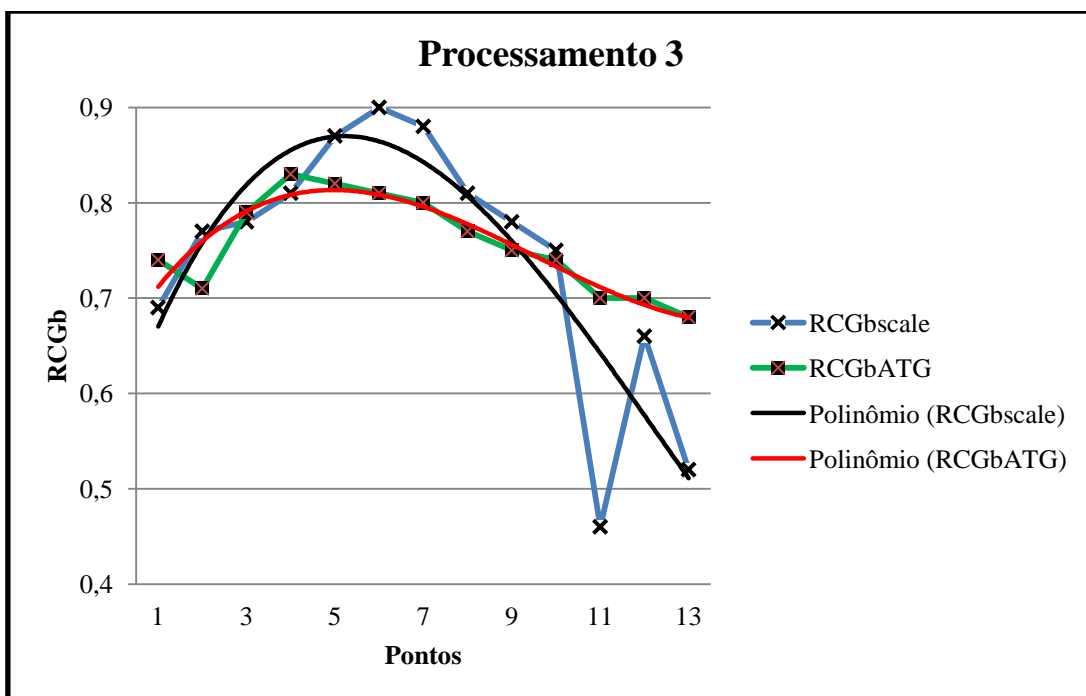


Figura 5.26: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (*Flat Field*), sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$.

Quando comparados, os transectos $RCGb_{scale}$ e $RCGb_{ATG}$ apresentaram similaridade entre seus comportamentos. Observou-se que o transecto do $RCGb_{scale}$ apresentou valores crescentes até o ponto 6 e, desse ponto em diante, valores decrescentes até o ponto 13. Observou-se também que o ponto 11 apresentou valor muito menor que o equivalente no transecto do $RCGb_{ATG}$, sendo 0,46 e 0,70, respectivamente.

O desempenho positivo observado pode estar relacionado, às propriedades dos dados das imagens, como também às etapas de preparação da imagem, isto é, a transformação dos dados de radiância para dados de reflectância aparente, pelo módulo *Flat Field* também foi aplicada. Isso também foi verificado em Niquelândia.

Visto que as análises da imagem $RCGb_{scale}$ e do comportamento dos transectos apresentaram, em uma análise visual preliminar, resultados satisfatórios para a espacialização da relação caulinia/(caulinata+gibbsita), o próximo passo foi verificar se o $RCGb_{scale}$ e o $RCGb_{ATG}$ apresentavam, também, similaridade estatística entre os seus valores, e para isso, aplicou-se o teste estatístico de *Mann-Whitney* (Teste U). Os parâmetros considerados encontram-se descritos no processamento 1. A **Tabela 5.13** apresenta os resultados obtidos com a aplicação do Teste U.

Tabela 5.13: aplicação do Teste de *Mann-Whitney* sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (*Flat Field*), sem correção *crossstalk* e sem correção atmosférica e sobre os valores do $RCGb_{ATG}$.

ANÁLISE NÃO PARAMÉTRICA DE MANN-WHITNEY		
Resultado	$RCGb_{scale}$	$RCGb_{ATG}$
Tamanho da amostra	13	13
Soma dos Postos (Ri)	182	169
Mediana =	0,78	0,75
$U_{calc} =$	78	
p-valor (unilateral) =	0,3694	
p-valor (bilateral) =	0,7389	

Para o processamento 3 o U_{calc} apresentou valor = 78, e, segundo a tabela de valores críticos de *Mann-Whitney* ($\alpha = 0,05$), para o tamanho de amostra igual a 13, o valor do $U_{tab} = 45$. Verificou-se que $U_{calc} \geq U_{tab}$, portanto, rejeitou-se H_0 , isto é, os valores do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$ não apresentaram similaridade estatística entre si.

Apesar da aplicação do teste estatístico de *Mann-Whitney* ter apresentado resultado de não similaridade estatística entre os dados, provocada provavelmente pela discrepância entre os transectos, como no ponto 11, considerou-se como similares os dados do $RCGb_{scale}$ e $RCGb_{ATG}$ por terem apresentado comportamentos espaciais similares na **Figura 5.26**.

Desse modo, conclui-se que, para a imagem L1B convertida para reflectância por meio do *Flat Field*, sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica a aplicação do índice $RCGb_{scale}$ proporciona bons resultados para o estudo da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) em solos das áreas estudadas no município de São João D'Aliança.

5.2.4. Processamento 4: Imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (*Flat Field*) com correção *crosstalk* e sem correção atmosférica

A **Figura 5.27** apresenta a aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem de reflectância L1B ASTER-SWIR, com correção *crosstalk* e sem correção atmosférica do município de São João D'Aliança **(a)** e o fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$. **(b)**.

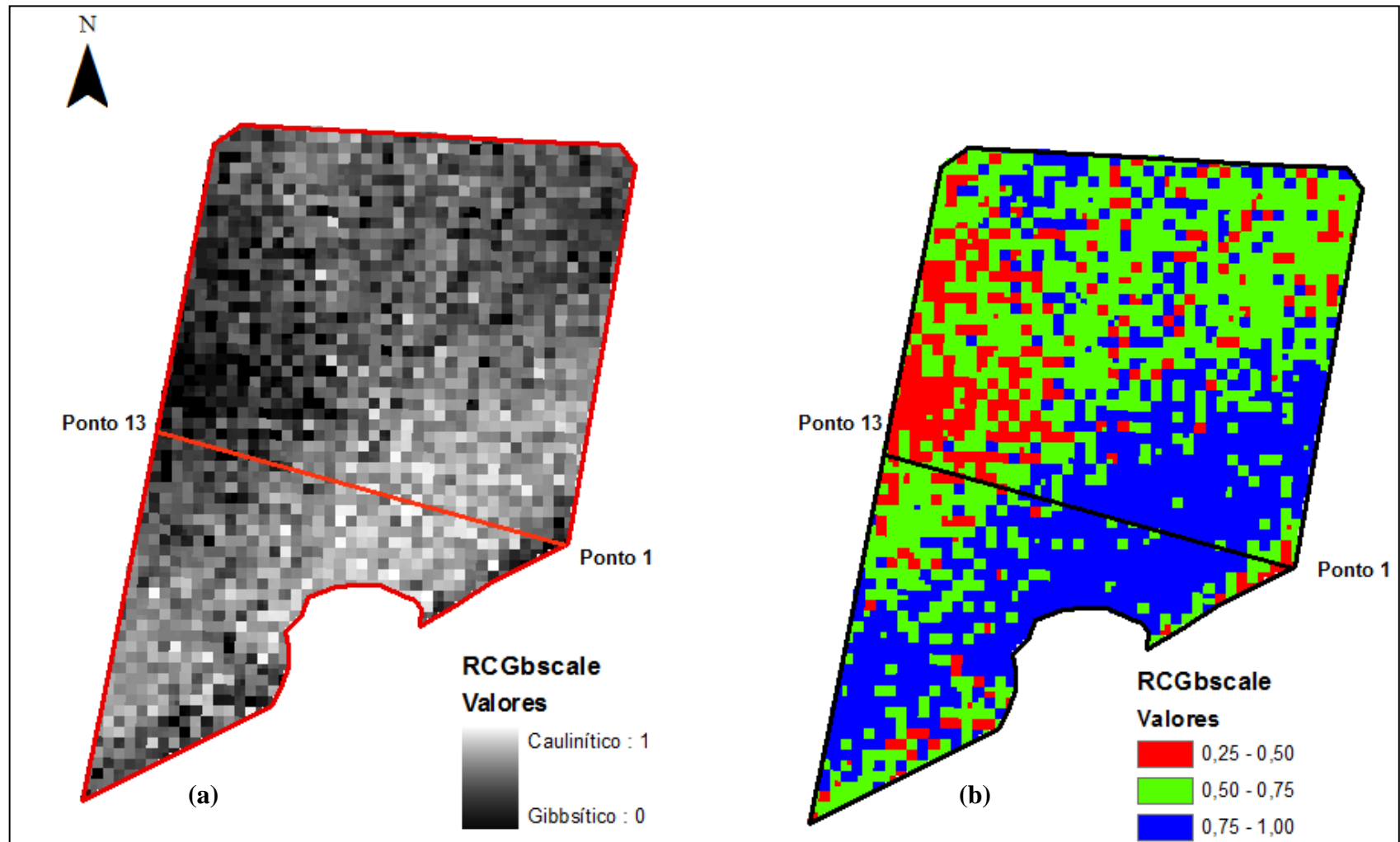


Figura 5.27: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem LIB ASTER-SWIR convertida para reflectância (*Flat Field*), com correção *crosstalk* e sem correção atmosférica do município de São João d'Aliança; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$.

Com base na análise da **Figura 5.27**, verificou-se que a variação dos tons de cinza percebida na imagem $RCGb_{scale}$ indicaram bons resultados para a identificação da relação $Caulinita/(Caulinita+Gibbsita)$, sendo as áreas mais claras, as áreas predominantemente cauliníticas (**a**).

Quando os valores foram fatiados em classes (**b**), percebeu-se de forma mais clara a espacialização da relação mineralógica. Os valores apresentaram uma distribuição mais heterogênea, tendo início com valores menores, representados pela cor vermelha (0,25 – 0,50), seguindo com valores pertencentes ao intervalo (0,50 – 0,75) representado pela cor verde, em seguida por valores do intervalo (0,75–1,0) representado pela cor azul, retornando ao intervalo (0,50 – 0,75) e terminando com valores do intervalo (0,25 – 0,50). Observou-se, também, que o intervalo representado pela cor azul, apresentou área menor que as demais imagens dos processamentos anteriores.

Um ponto importante considerado no processamento da imagem de LIB, convertida para reflectância (*Flat Field*), é a aplicação da correção do efeito *crossstalk*, ou seja, corrigiu-se o “vazamento” da energia que ocorre do detector da banda 4 para o detectores das bandas 5 e 9, que ocasiona uma resposta maior do que a esperada nas bandas do SWIR.

A fim de verificar a similaridade entre os comportamentos dos transectos $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$, os valores respectivos foram plotados no gráfico representado pela **Figura 5.28** a seguir.

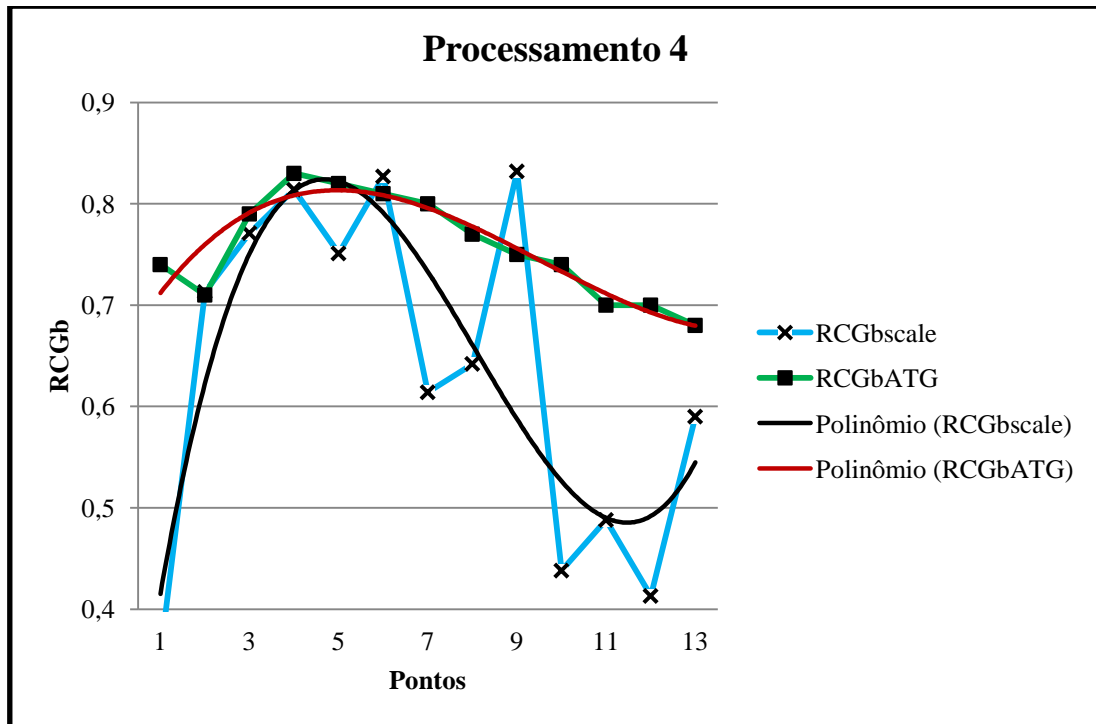


Figura 5.28: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (*Flat Field*), sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$.

Por meio da análise da **Figura 5.28** notou-se que o transecto do $RCGb_{scale}$ apresentou valores muito oscilantes com valores mínimos subestimados em relação aos valores equivalentes do transecto do $RCGb_{ATG}$. O ponto 9 do transecto do $RCGb_{scale}$ também apresentou valor máximo superestimado. Apesar disso, notou-se, entre os transectos, uma similaridade em suas tendências.

Esse comportamento pode estar relacionado à aplicação da correção *crosstalk*, em imagem convertida por meio do módulo *Flat Field*, uma vez que, o ruído foi diminuído e, aparentemente, essa correção causou alterações significativas no produto final quando comparado ao produto das outras imagens originadas da L1B.

Seguiu-se à verificação da similaridade estatística entre os valores do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$, por meio da aplicação do Teste de *Mann-Whitney*, considerando para esse, os mesmos parâmetros descritos no processamento 1. A **Tabela 5.14** apresenta os resultados obtidos com a aplicação do Teste U.

Tabela 5.14: aplicação do Teste de *Mann-Whitney* sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância (*Flat Field*), sem correção *crossstalk* e sem correção atmosférica e sobre os valores do $RCGb_{ATG}$.

ANÁLISE NÃO PARAMÉTRICA DE MANN-WHITNEY		
Resultado	$RCGb_{scale}$	$RCGb_{ATG}$
Tamanho da amostra	13	13
Soma dos Postos (Ri)	144	207
Mediana =	0,64	0,75
U_{calc} =		53
p-valor (unilateral) =		0,0531
p-valor (bilateral) =		0,1062

Para o processamento 4 o U_{calc} apresentou valor igual a 53, e, segundo a tabela de valores críticos de *Mann-Whitney* ($\alpha = 0,05$), para o tamanho de amostra igual a 13, o valor do U_{tab} é igual a 45. Verificou-se que $U_{calc} \geq U_{tab}$, portanto, rejeitou-se H_0 , isto é, os valores do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$ não apresentaram similaridade estatística em relação à variabilidade espacial. O resultado estatístico está relacionado à oscilação significativa dos valores do $RCGb_{scale}$.

Portanto, constatou-se que, para imagem L1B convertida para reflectância (*Flat Field*) com correção *crossstalk* e sem correção atmosférica, a aplicação do índice $RCGb_{scale}$ proporcionou resultado eficiente, porém, não o mais adequado para o estudo da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) em solos da área estudada no município de São João D'Aliança.

5.2.5. Processamentos 5 e 6: Imagem L1A ATER-SWIR convertida para reflectância (FLAASH e QUAC) sem correção *crossstalk* e com correção atmosférica

Assim como para as imagens de Niquelândia e ainda, em conformidade às considerações feitas no processamento 1, esse processamento teve, por objetivo, verificar, a eficiência do índice $RCGb_{scale}$ sobre imagens com correção atmosférica.

As **Figuras 5.29** e **5.30** apresentam a aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem L1A convertido para reflectância (FLAASH e QUAC) sem correção *crossstalk* e com correção atmosférica **(a)** e o fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$ **(b)**.

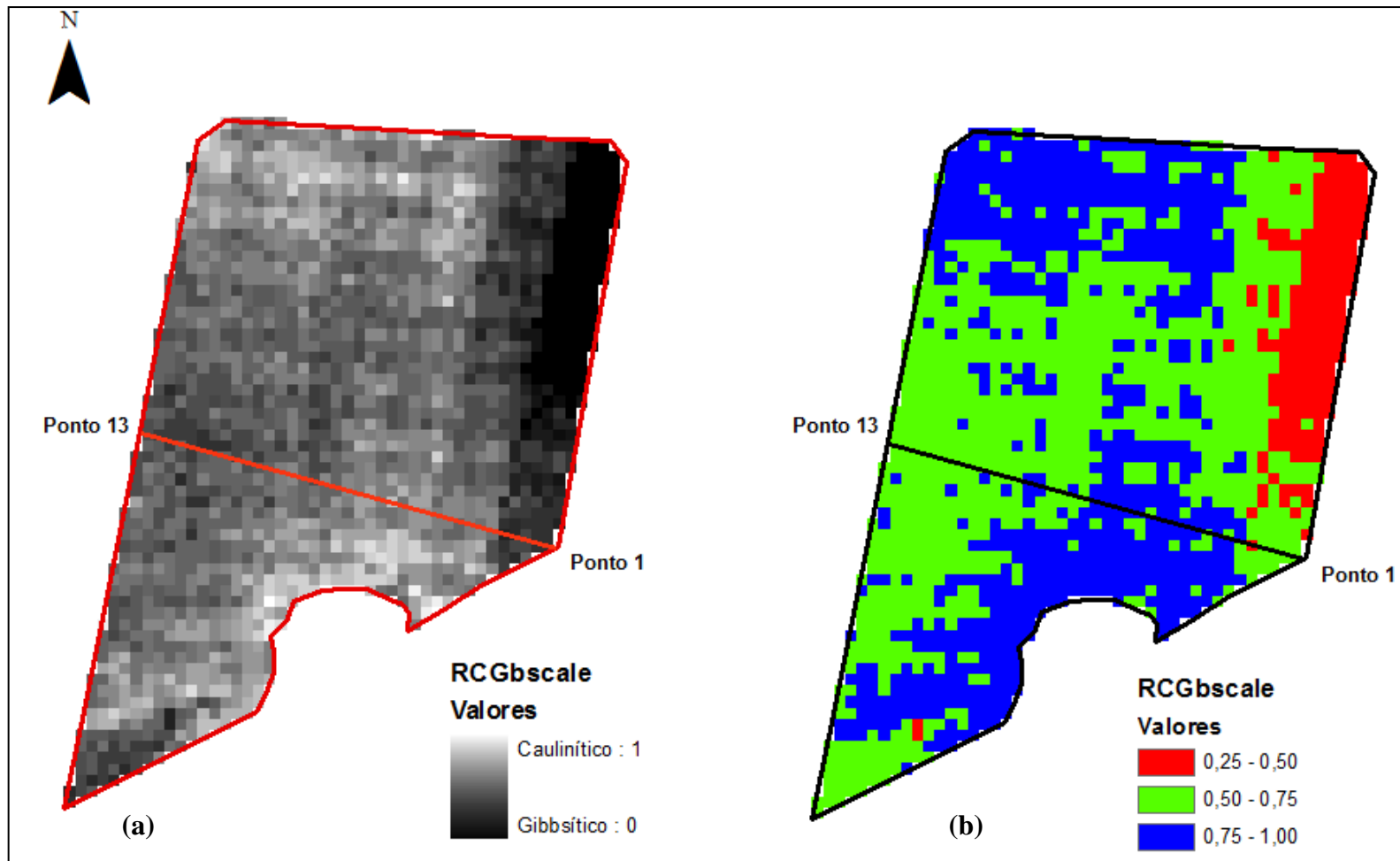


Figura 5.29: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem L1A ASTER-SWIR convertida para reflectância (FLAASH), sem correção *crossstalk* e com correção atmosférica do município de São João d'Aliança; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$.

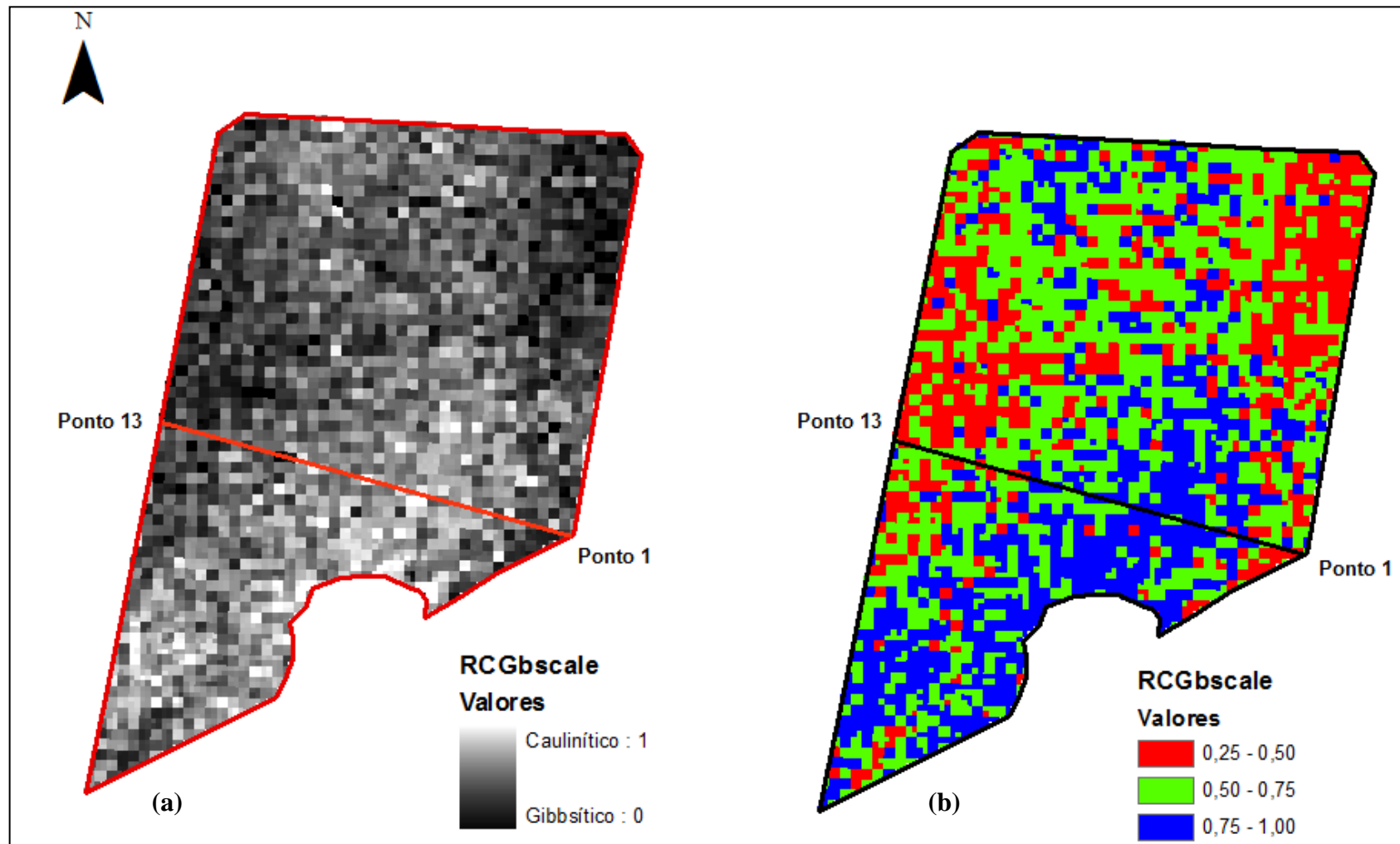


Figura 5.30: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem L1A ASTER-SWIR convertida para reflectância (QUAC) sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica do município de São João d'Aliança; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$.

A imagem $RCGb_{scale}$ (FLAASH), **Figura 5.29 (a)**, apresentou variação nos tons de cinza, um pouco mais homogênea, além de uma mancha em tons de cinza muito escura, dificultando a identificação da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita).

Porém, quando os valores foram fatiados nos intervalos **Figura 5.29 (b)**, verificou-se que os valores referentes ao intervalo (0,75 – 1,00) representado pela cor azul e, até então, o intervalo predominante nos demais produtos resultantes dos processamentos anteriores, apresentaram distribuição menor. O intervalo (de 0,50 – 0,75) apresentou-se predominante.

Quando comparado com o resultado AVIRIS obtido por Baptista (2011) e, sendo esse resultado o mais próximo aos dados ATG do que os dados ASTER, para área de estudo em questão, não foi observado esse tipo de comportamento mineralógico.

Já a imagem $RCGb_{scale}$ (QUAC), **Figura 5.30(a)**, apresentou uma imagem mais heterogênea, apresentando a área mais clara um pouco mais reduzida e, quando os valores foram fatiados nos intervalos determinados, confirmou-se a distribuição mais heterogênea o que dificultou a identificação da relação mineralógica de forma eficaz.

Os requisitos de entrada de dados diferem entre o FLAASH e o QUAC. Em geral, o QUAC não exige tais dados, por outro lado, o FLAASH necessita a inserção de vários requisitos de dados (ENVI, 2009). A heterogeneidade observada na imagem QUAC e a distinção dos ambientes caulíníticos e os gibbsíticos, observados na imagem FLAASH, podem estar relacionadas não só à forma de processamento de cada algoritmo, mas também à quantidade de informações que cada um requisita para a correção dos efeitos atmosféricos.

As **Figuras 5.31 e 5.32**. apresentam os transectos do $RCGb_{scale}$ (FLAASH) e do $RCGb_{ATG}$ e do $RCGb_{scale}$ (QUAC) e do $RCGb_{ATG}$, respectivamente.

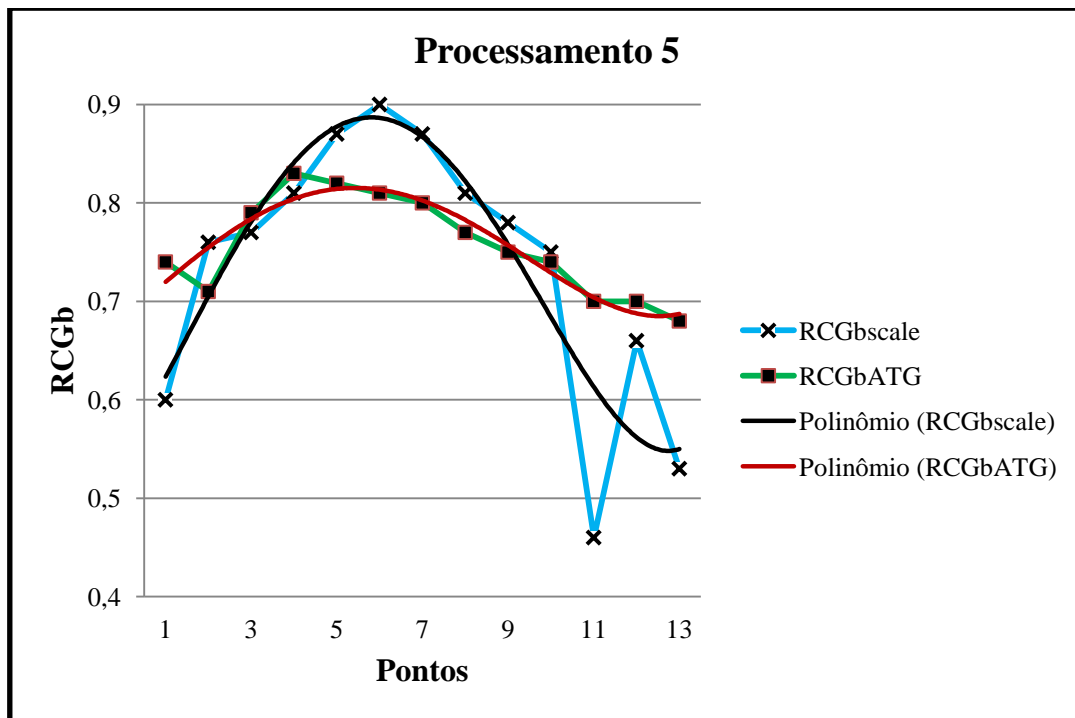


Figura 5.31: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem L1A ASTER-SWIR convertida para reflectância, sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica (FLAASH) e do $RCGb_{ATG}$.

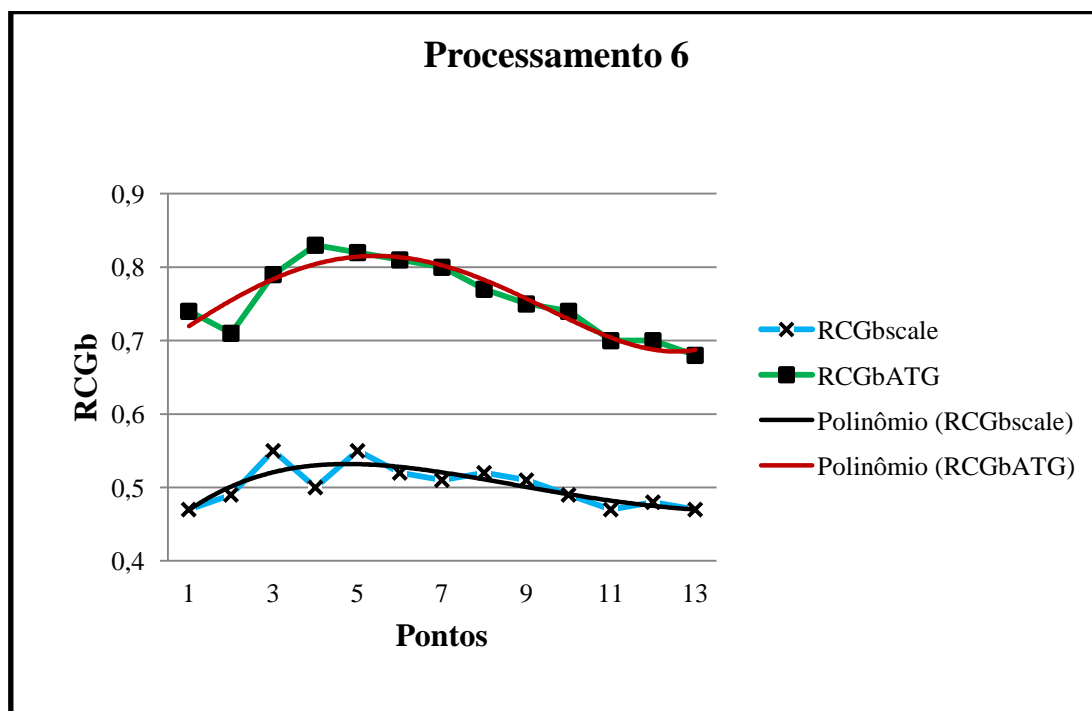


Figura 5.32: transectos do $RCGb_{scale}$ em imagem L1A ASTER-SWIR convertida para reflectância, sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica (QUAC) e do $RCGb_{ATG}$.

Em uma abordagem visual, verificou-se que, os resultados obtidos com a aplicação do índice $RCGb_{scale}$ sobre a imagem com a correção atmosférica realizado por meio da aplicação do módulo FLAASH, apresentou valores que promoveram uma parábola, com valores mínimos subestimados, sendo o ponto 11 o de menor valor (0,46), enquanto que o equivalente no transecto $RCGb_{ATG}$ apresentou valor igual a 0,70. Os valores máximos também foram superestimados em comparação aos valores do $RCGb_{ATG}$, sendo o ponto 6 o que apresentou maior valor (0,90) enquanto que o ponto equivalente no transecto do $RCGb_{ATG}$ apresentou valor igual a 0,81. Mesmo assim, os transectos apresentaram comportamentos similares.

Já o transecto do $RCGb_{scale}$ com a aplicação do QUAC, apresentou valores muito próximos entre si, porém subestimados se comparados aos dados de ATG, variando de 0,48 a 0,52, com apenas dois pontos, 3 e 5, com valor igual a 0,55. Valores tão próximos assim não possibilitaram verificar uma variação do comportamento do transecto de forma eficiente, porém verificou-se uma pequena similaridade, devido aos pontos 3 e 5, de forma suavizada com tendência ao aplainamento. O $RCGb_{scale}$ (QUAC) apresentou valores subestimados em relação aos valores do $RCGb_{ATG}$.

Como dito no início da discussão do processamento, as possíveis justificativas para tais resultados, principalmente no aplainamento verificado com a aplicação do módulo QUAC, está na diferença das modelagens dos algoritmos, uma vez que o QUAC apresenta-se como um modelo mais simplificado, baseado em modelos empíricos, enquanto que o FLAASH apresenta-se como um modelo mais complexo, baseado em modelos físicos.

As **Tabela 5.15 e 5.16** apresentam os resultados obtidos com a aplicação do Teste U sobre os valores do $RCGb_{scale}$ (FLAASH) e do $RCGb_{ATG}$ e do $RCGb_{scale}$ (QUAC) e sobre os valores do $RCGb_{ATG}$, respectivamente.

Tabela 5.15: aplicação do Teste de *Mann-Whitney* sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica (FLAASH) e sobre os valores do $RCGb_{ATG}$.

ANÁLISE NÃO PARAMÉTRICA DE MANN-WHITNEY		
Resultado	$RCGb_{scale}$	$RCGb_{ATG}$
Tamanho da amostra	13	13
Soma dos Postos (Ri)	182	169
Mediana =	0	0
$U_{calc} =$		78
p-valor (unilateral) =		0,3694
p-valor (bilateral) =		0,7389

Tabela 5.16: aplicação do Teste de *Mann-Whitney* sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1A ASTER-SWIR convertida para reflectância, sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica (QUAC) e sobre os valores do $RCGb_{ATG}$.

ANÁLISE NÃO PARAMÉTRICA DE MANN-WHITNEY		
Resultado	$RCGb_{scale}$	$RCGb_{ATG}$
Tamanho da amostra	13	13
Soma dos Postos (Ri)	91,0	260,0
Mediana =	0,50	0,75
$U_{calc} =$		0,00
p-valor (unilateral) =		< 0,0001
p-valor (bilateral) =		< 0,0001

Para os processamentos 5 e 6 o U_{calc} (FLAASH) e o U_{calc} (QUAC) apresentaram valores iguais a 78 e 0 respectivamente, ou seja, o U_{calc} (FLAASH) $\geq U_{tab}$, sendo H_0 rejeitado, isto é, os dados do $RCGb_{scale}$ (FLAASH) não apresentaram similaridade estatística com os dados do $RCGb_{ATG}$ em relação à variabilidade espacial.

No caso do $RCGb_{scale}$ (QUAC) o U_{calc} (QUAC) $< U_{tab}$, portanto, aceitou-se H_0 , isto é, o transecto $RCGb_{scale}$ (QUAC) apresentou similaridade estatística com o transecto $RCGb_{ATG}$.

O resultado para o $RCGb_{scale}$ (FLAASH) aparentemente contraria as observações visuais realizadas na etapa anterior, pois, o transecto do $RCGb_{scale}$ (FLAASH) apresentou transecto similar ao $RCGb_{ATG}$.

O resultado do Teste U provavelmente está relacionado à oscilação que os dados do FLAASH apresentam, a qual é muito maior que a observada no QUAC, isso faz com que a relação de similaridade das medianas não aconteça.

Portanto, pode-se afirmar que, para imagem L1A convertido para reflectância (FLAASH e QUAC) sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica a aplicação do índice espectral $RCGb_{scale}$ é eficiente para ambos os módulos na espacialização da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita), sendo que o módulo FLAASH apresentou melhor desempenho.

5.2.6. Processamentos 7 e 8: Imagem de reflectância convertida a partir dos dados L1B com correção *crosstalk*, por meio do programa CRSTK30 e com correção atmosférica por meio da aplicação dos algoritmos FLAASH e QUAC

As **Figuras 5.33 e 5.34** apresentam a aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem de reflectância convertida a partir dos dados L1B com correção *crosstalk*, por meio do programa CRSTK30 e com correção atmosférica por meio da aplicação dos algoritmos FLAASH e QUAC do município de São João d'Aliança (a) e o fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$ (b).

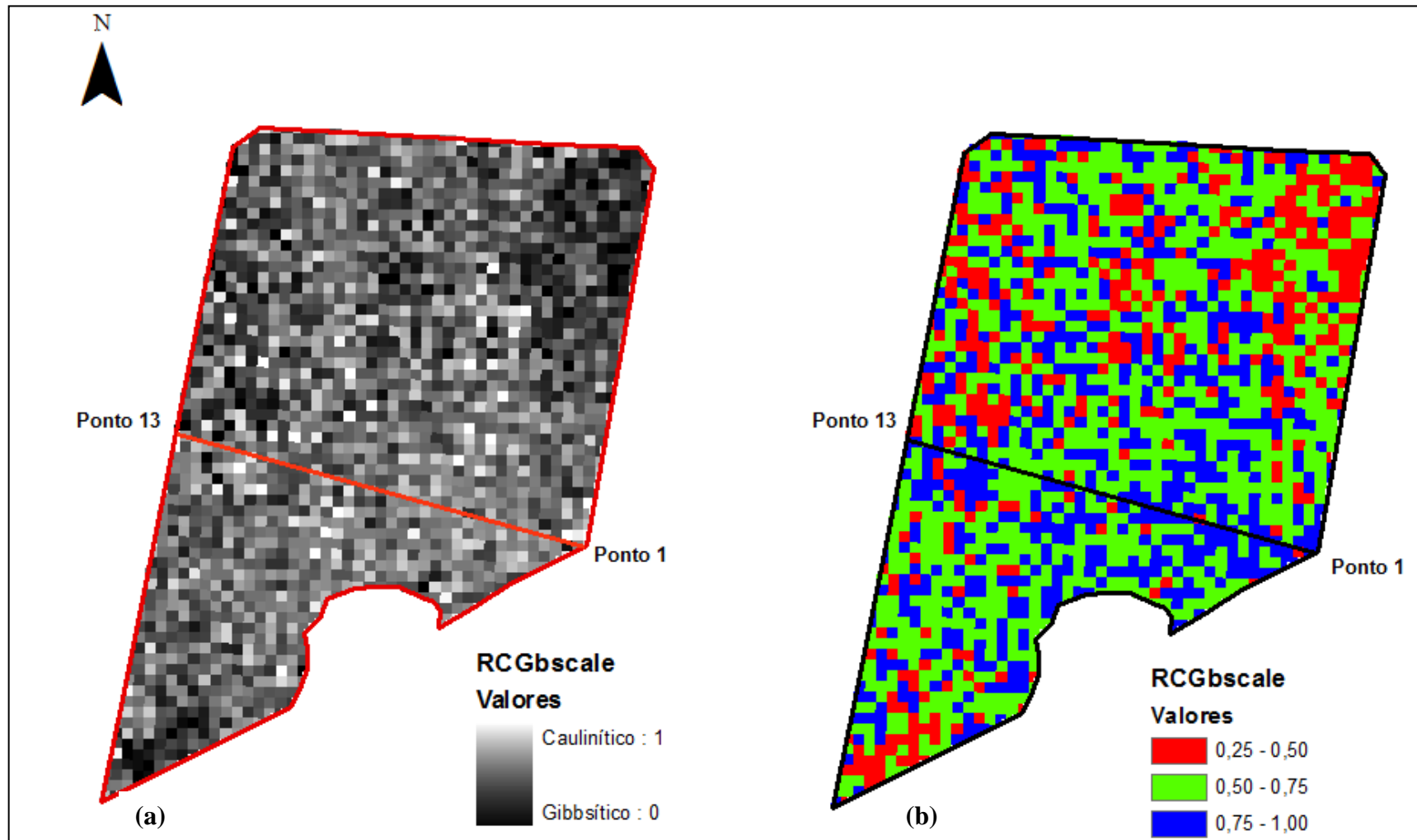


Figura 5.33: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem L1B de reflectância ASTER-SWIR, com correção *crosstalk* (CRSTK30) e com correção atmosférica (FLAASH), do município de São João d'Aliança; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$.

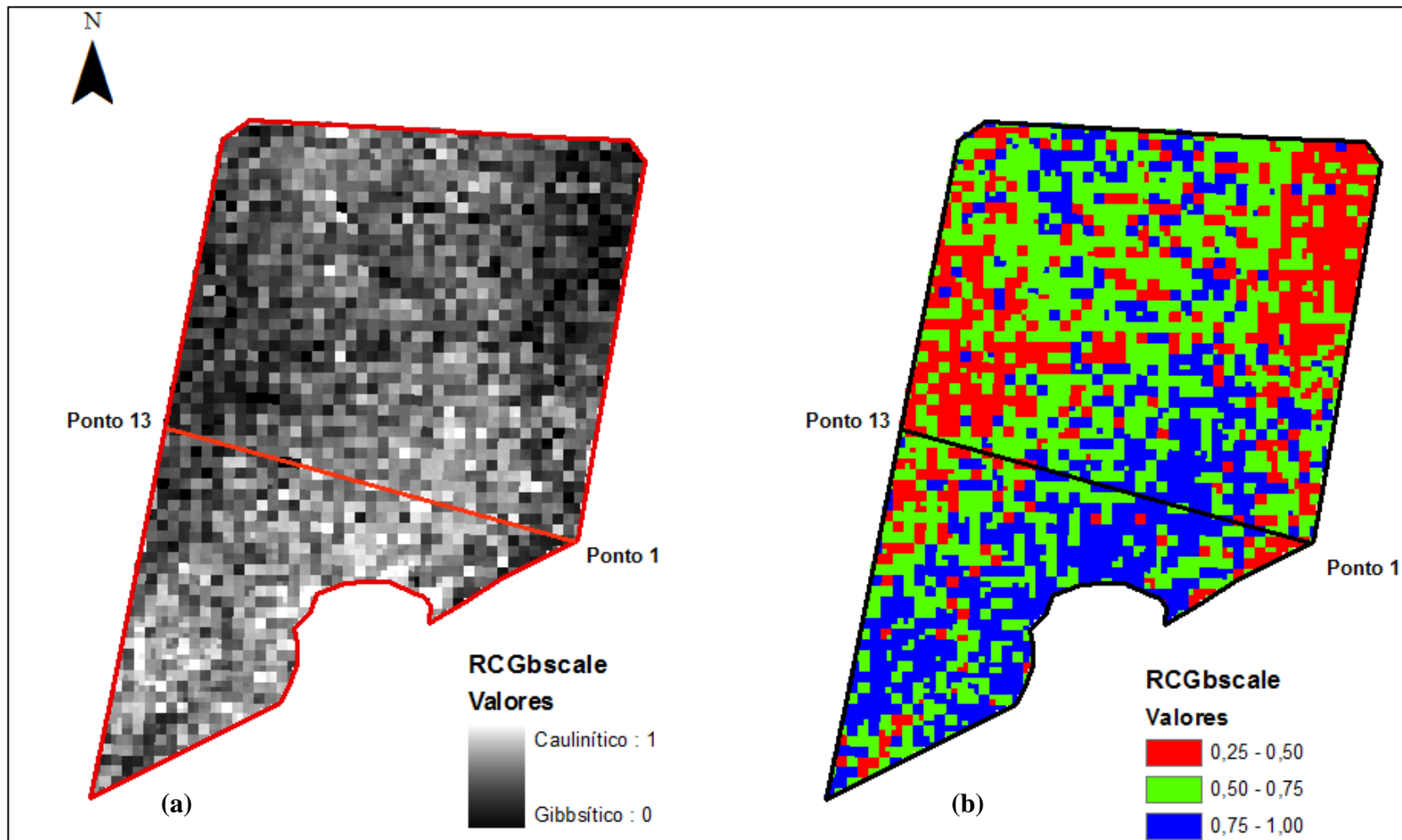


Figura 5.34: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ na imagem L1B de reflectância ASTER-SWIR, com correção *crossstalk* (CRSTK30) e com correção atmosférica (QUAC), do município de São João d'Aliança; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$.

Antes, de prosseguir com a explanação das observações desses processamentos, é importante informar que, o tipo de dado utilizado na correção atmosférica difere do utilizado na correção do *crosstalk*, sendo que na primeira correção utiliza-se a imagem L1A (dados brutos), enquanto que na segunda, o dado utilizado é o L1B radiância no nível do sensor, e que a ordem das correções implica nos resultados. Portanto, aplicou-se, primeiramente a correção do *crosstalk*.

Assim como nos processamentos anteriores, os dados do SWIR, nesse caso, da imagem L1B foram reamostrados de 30 m para 15 m e combinados com os do VNIR formando um único conjunto de dados com 9 bandas, para a aplicação dos módulos FLAASH e QUAC.

A imagem $RCGb_{scale}$ (FLAASH) em tons de cinza, **Figura 5.33(a)**, não proporcionou resultados positivos para a identificação da relação $Caulinita/(Caulinita+Gibbsita)$, pois apresentou uma imagem bastante heterogênea. Quando os valores foram fatiados nos intervalos determinado, **Figura 5.33(b)**, a dificuldade da identificação da relação mineralógica permaneceu.

Apesar da pequena variação nos tons de cinza, na imagem $RCGb_{scale}$ (QUAC), **Figura 5.34(a)**, a espacialização da relação $Caulinita/(Caulinita+Gibbsita)$, foi identificada. Na **Figura 5.34(b)**, quando os valores foram fatiados nos intervalos determinados, observou-se que a área representada pelos maiores valores (cor azul), áreas com maior tendência ao predomínio de caulinita, estava reduzida em comparação às imagens dos processamentos anteriores, os quais apresentaram bons resultados para a espacialização da relação mineralógica.

Para verificar a similaridade dos transectos do $RCGb_{scale}$ (FLAASH) e do $RCGb_{scale}$ (QUAC) em relação ao comportamento espacial do $RCGb_{ATG}$, os valores foram plotados nos gráficos representados nas **Figuras 5.35 e 5.36** a seguir.

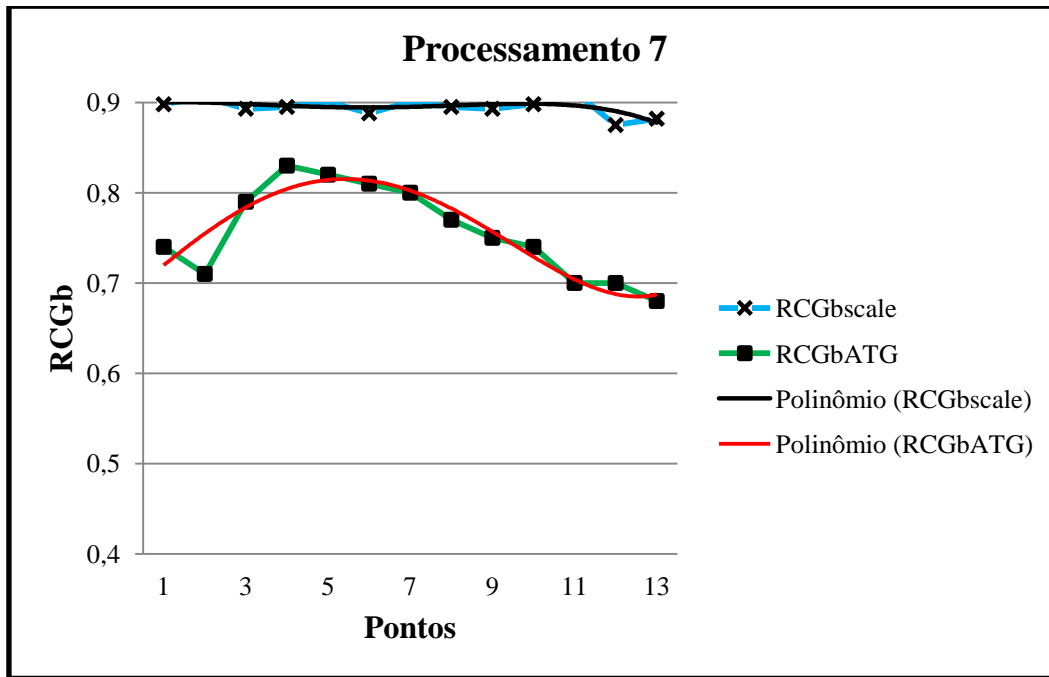


Figura 5.35: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, com correção *crossstalk* (CRSTK30) e com correção atmosférica (FLAASH) e do $RCGb_{ATG}$.

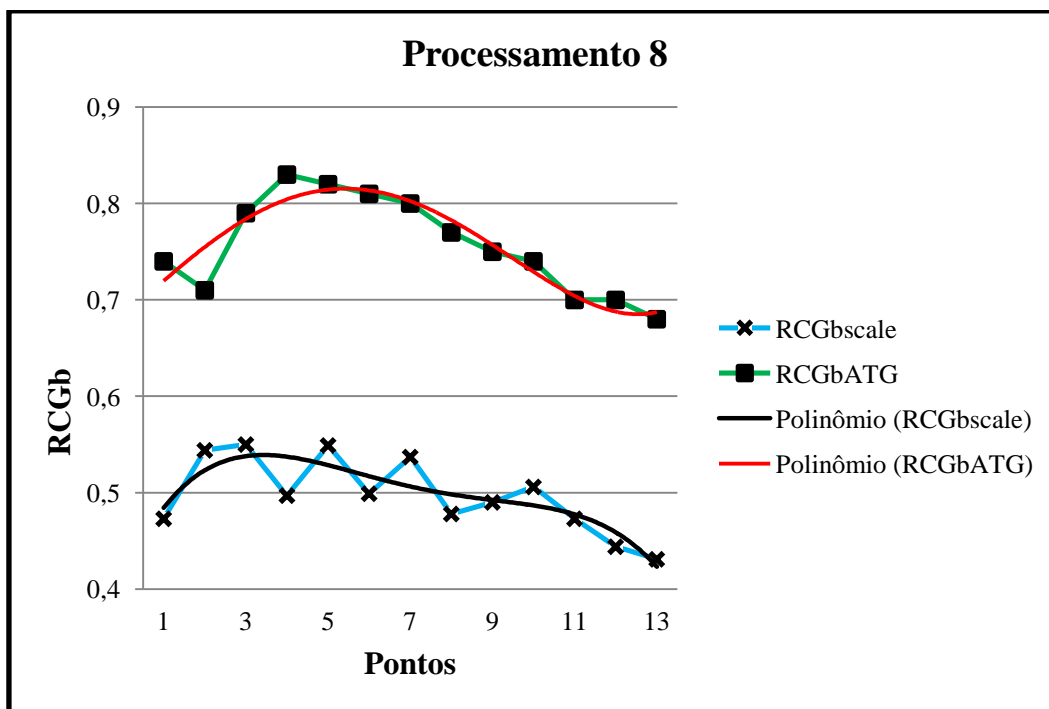


Figura 5.36: transectos do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, com correção *crossstalk* (CRSTK30) e com correção atmosférica (QUAC) e do $RCGb_{ATG}$.

Ao analisar o comportamento dos transectos do $RCGb_{scale}$ (FLAASH) e $RCGb_{scale}$ (QUAC), verificou-se que os pontos coletados no transecto do $RCGb_{scale}$ (FLAASH) não apresentaram valores com variação suficiente para promover um transecto similar ao do $RCGb_{ATG}$ e sim um transecto aplainado, formado por valores superestimados.

Em relação ao transecto do $RCGb_{scale}$ (QUAC), verificou-se similaridade com o $RCGb_{ATG}$, porém, com valores subestimando e com maior oscilação.

O aplainamento verificado no transecto do $RCGb_{scale}$ (FLAASH) pode estar relacionado à combinação do módulo FLAASH, bastante complexo, com o de correção *crosstalk* CRSTK30, ocasionando a degradação dos dados originais e, assim, a diminuição da eficiência do índice $RCGb_{scale}$ na identificação da espacialização da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita).

Seguindo as etapas de análise dos resultados, pré-estabelecidas, seguiu-se, então à verificação da similaridade estatística entre os dados do $RCGb_{scale}$ (FLAASH), o $RCGb_{scale}$ (QUAC) e o $RCGb_{ATG}$, por meio da aplicação do Teste de *Mann-Whitney*. As **Tabela 5.17** e **5.18** apresentam os resultados para o $RCGb_{scale}$ (FLAASH) e $RCGb_{ATG}$; $RCGb_{scale}$ (QUAC) e $RCGb_{ATG}$, respectivamente.

Tabela 5.17: aplicação do Teste de *Mann-Whitney* sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, com correção *crosstalk* (CRSTK30) e com correção atmosférica (FLAASH) e sobre os valores do $RCGb_{ATG}$.

ANÁLISE NÃO PARAMÉTRICA DE MANN-WHITNEY		
Resultado	$RCGb_{scale}$	$RCGb_{ATG}$
Tamanho da amostra	13	13
Soma dos Postos (Ri)	260,0	91,0
Mediana =	0,90	0,75
U_{calc} =	0,00	
p-valor (unilateral) =	< 0,0001	
p-valor (bilateral) =	< 0,0001	

Tabela 5.18: aplicação do Teste de *Mann-Whitney* sobre os valores do $RCGb_{scale}$ da imagem L1B ASTER-SWIR convertida para reflectância, com correção *crosstalk* (CRSTK30) e com correção atmosférica (QUAC) e sobre os valores do $RCGb_{ATG}$.

ANÁLISE NÃO PARAMÉTRICA DE <i>MANN-WHITNEY</i>		
Resultado	$RCGb_{scale}$	$RCGb_{ATG}$
Tamanho da amostra	13	13
Soma dos Postos (Ri)	91,0	260,0
Mediana =	0,50	0,75
U_{calc} =		0,00
p-valor (unilateral) =		< 0,0001
p-valor (bilateral) =		< 0,0001

Para os processamentos 7 e 8 tanto o U_{calc} (FLAASH) como o U_{calc} (QUAC) apresentaram valores iguais a 0. Verificou-se que, o $U_{calc} < U_{tab}$, portanto, aceitou-se H_0 , isto é, os dados $RCGb_{scale}$ (FLAASH) e $RCGb_{scale}$ (QUAC) apresentaram similaridade estatística com os dados do $RCGb_{ATG}$ em relação à variabilidade espacial.

Nesse caso, o resultado para o $RCGb_{scale}$ (FLAASH) aparentemente não condiz com o observado na etapa anterior, pois, apresentou transecto com aplainamento.

O resultado do Teste U provavelmente está relacionado à menor oscilação dos dados do FLAASH em relação à observada no QUAC, isso faz com que a relação de similaridade das medianas não aconteça.

Portanto, pode-se afirmar que, para imagem L1B convertido para reflectância (FLAASH e QUAC) com correção *crosstalk* (CRSTK30) e com correção atmosférica, a aplicação do índice espectral $RCGb_{scale}$ é eficiente na espacialização da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita), somente quando aplicado o módulo QUAC.

5.2.7. Processamento 9: produto sob demanda ASTER AST_07 – imagem de reflectância sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica.

A **Figura 5.37** apresenta a aplicação do $RCGb_{scale}$ sobre o produto ASTER AST_07, sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica do município de São João D’Aliança **(a)** e o fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$ **(b)**.

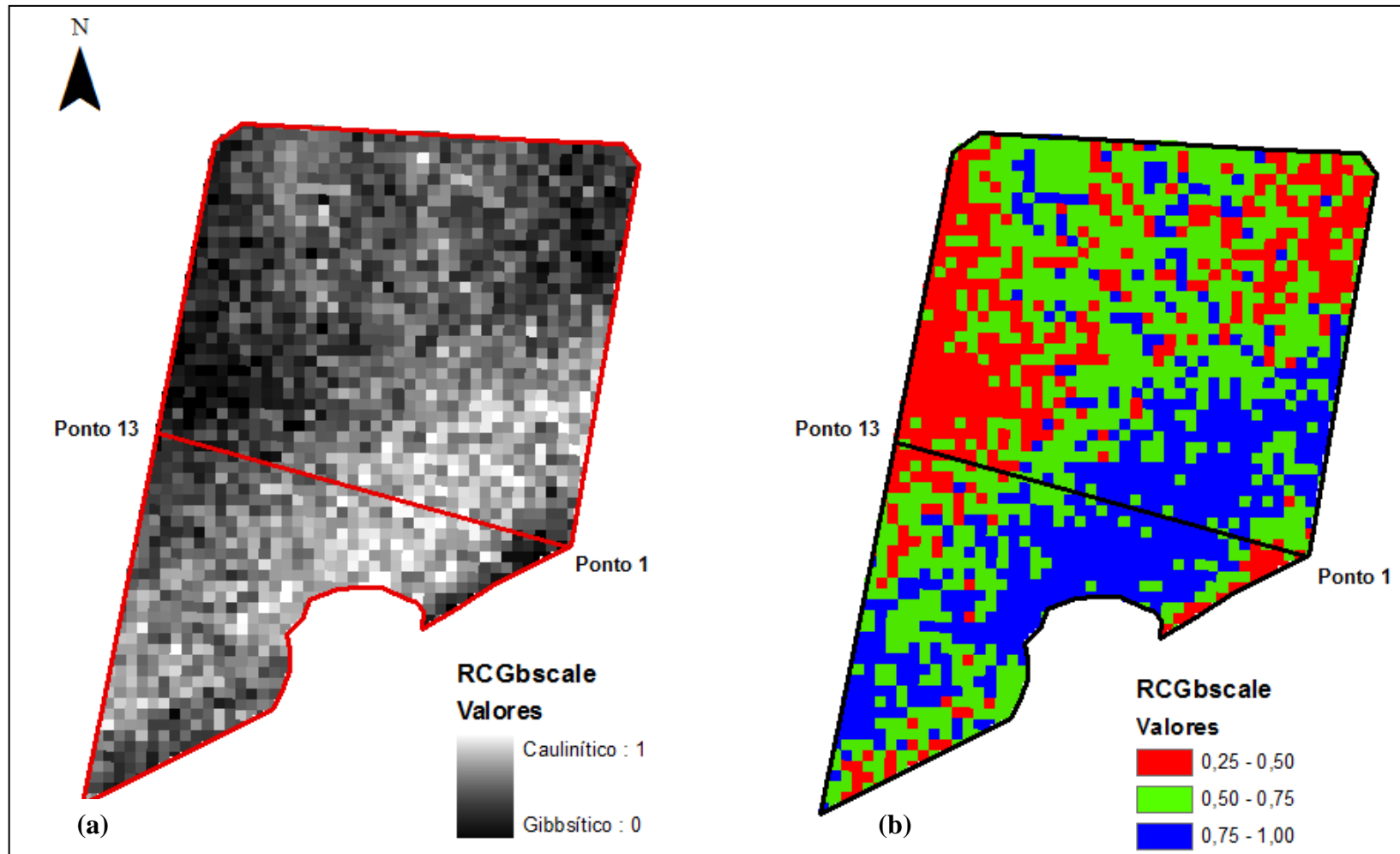


Figura 5.37: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ sobre o produto sob demanda ASTER AST_07 – imagem de reflectância, sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica do município de São João d'Aliança; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$.

A imagem $RCGb_{scale}$ **Figura 5.37 (a)**, apresentou variação dos tons de cinza, possibilitando a identificação da relação caulinita/(caulinira+gibbsita). Os tons mais claros indicaram as áreas predominantemente caulíníficas.

O fatiamento dos valores em intervalos **Figura 5.37 (b)**, também possibilitou a observação da espacialização da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita). Os valores iniciaram com a representação da cor vermelha, referente ao intervalo (0,25 – 0,50) seguindo a cor verde (0,50 – 0,75) depois pela cor azul (0,75 – 1,00), retornando para a cor verde e terminando com valores menores representados pela cor vermelha.

O próximo passo foi analisar o comportamento do transecto do $RCGb_{scale}$ em relação ao comportamento do $RCGb_{ATG}$. Para isso, os valores do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$ foram plotados gerando o gráfico apresentado nas **Figuras 5.38**.

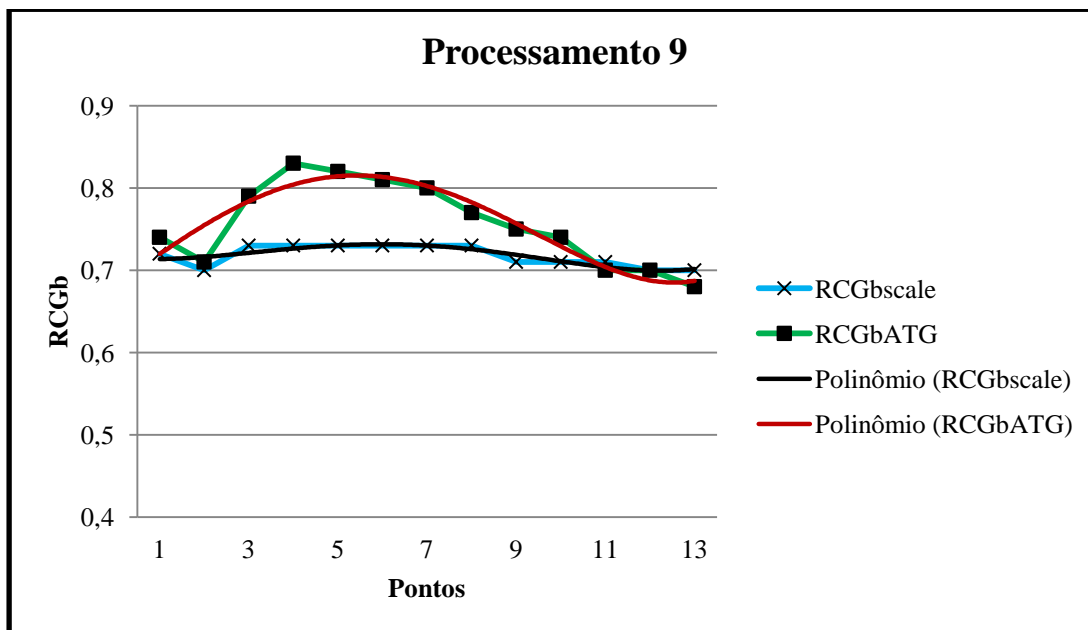


Figura 5.38: transectos do $RCGb_{scale}$ do Produto sob demanda AST_07, sem correção *crossstalk* e com correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$.

Verificou-se, visualmente, que o transecto resultante da aplicação do índice $RCGb_{scale}$ na imagem AST_07 sem correção *crossstalk* e com correção atmosférica, apresentou comportamento similar ao do $RCGb_{ATG}$, apesar da variação na escala de valores entre os dois transectos do ponto 3 a 11 e do aplainamento verificado entre 3 e 8. A **Tabela 5.19** apresenta os resultados obtidos com a aplicação do Teste U.

Tabela 5.19: aplicação do Teste de *Mann-Whitney* sobre os valores do produto AST_07, sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica e sobre os valores do RCGb_{ATG}.

ANÁLISE NÃO PARAMÉTRICA DE MANN-WHITNEY		
Resultado	RCGb _{scale}	RCGb _{ATG}
Tamanho da amostra	13	13
Soma dos Postos (Ri)	135,5	215,5
Mediana =	0,72	0,75
U _{calc} =		44,50
p-valor (unilateral) =		0,0201
p-valor (bilateral) =		0,0402

Para o processamento 9 o U_{calc} apresentou valor igual a 44,5 e, segundo a tabela de valores críticos de *Mann-Whitney* ($\alpha = 0,05$), para o tamanho de amostra igual a 13, o valor do U_{tab} é igual a 45. Verificou-se que U_{calc} < U_{tab}, portanto, aceitou-se H₀, isto é, os transectos RCGb_{scale} e RCGb_{ATG} apresentaram similaridade estatística em relação à variabilidade espacial.

Desse modo, conclui-se que, para imagem AST_07, com a correção atmosférica e sem a correção *crosstalk*, a aplicação do índice RCGb_{scale} proporcionou resultado eficiente para o estudo da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) em solos da área estudada no município de São João d’Aliança apresentando comportamento mais próximo aos obtidos por Baptista e colaboradores (2011) com os dados AVIRIS.

5.2.8. Processamento 10: Produto sob demanda AST_07XT – imagem de reflectância com correção *crosstalk* e com correção atmosférica

É importante lembrar, de forma resumida, e a fim de contextualização, que o SWIR é afetado por um problema de “vazamento” de sinal denominado *crosstalk*. Esse vazamento ocorre da banda 4 para as bandas vizinhas 5 e 9. Além disso, o problema é agravado pelo efeito de paralaxe de banda para banda e a distância entre os pares de matriz CCD. A banda 4, além de ser a banda mais larga do SWIR, com 0,092 μm , também é a banda com maior potência de reflectividade, sendo sua radiação cerca de 4 a 5 vezes mais intensa que as demais bandas (<http://lpdaac.usgs.gov>).

Ante o exposto, seguem as observações extraídas da análise da **Figura 5.39:**

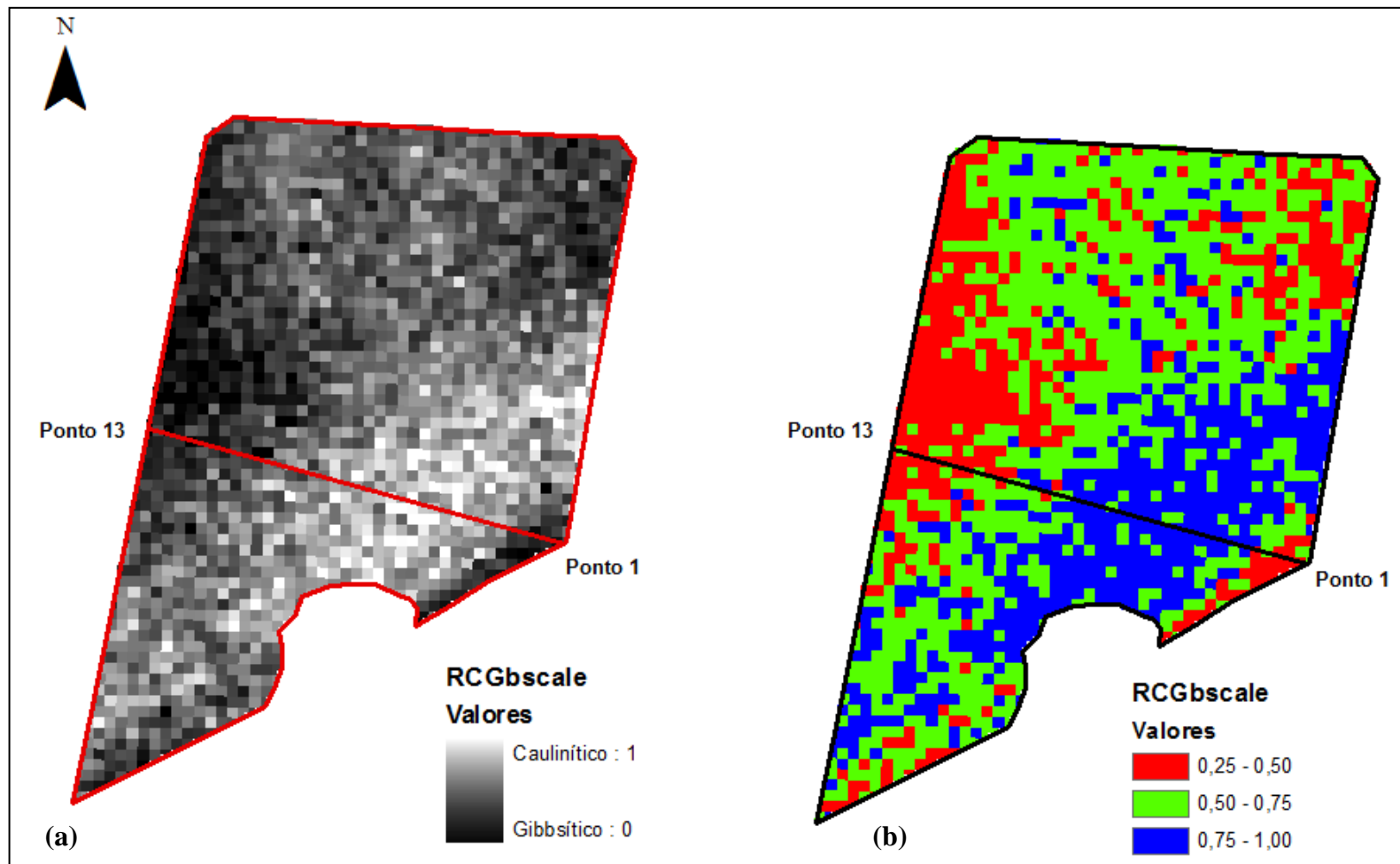


Figura 5.39: (a) aplicação do $RCGb_{scale}$ sobre o produto sob demanda ASTER AST_07XT – imagem de reflectância com correção *crosstalk* e com correção atmosférica do município de São João d'Aliança; (b) fatiamento em intervalos dos valores do $RCGb_{scale}$.

A imagem da aplicação do $RCGb_{scale}$, **Figura 5.39 (a)**, apresentou a espacialização da relação $Caulinita/(Caulinita+Gibbsita)$, o que pôde ser visualizada por meio da variação dos tons de cinza, em que as tonalidades mais claras indicaram áreas com tendências da predominância da caulinita e, assim, solos mais preservados de intemperismo.

A classificação dos valores do $RCGb_{scale}$, em intervalos, **Figura 5.39 (b)**, proporcionou a visualização da relação $Caulinita/(Caulinita+Gibbsita)$, por meio da variação das cores referentes aos intervalos pré determinados. Ao longo do transecto observou-se a seguinte variação: os valores iniciaram com a representação da cor vermelha, referente ao intervalo (0,25 – 0,50), seguiram com a cor verde, intervalo (0,50 – 0,75), seguido pela cor azul (0,75 – 1,00) retornando a ser representado pela cor verde e terminando com valores pertencentes ao intervalo (0,25 – 0,50). Visualmente, o resultado obtido a partir dos dados AST_07XT apresenta-se menos coerente com a realidade mineralógica observado por meio dos dados AVIRIS (BAPTISTA e colaboradores, 2011), se comparado ao obtido como o AST_07.

A **Figura 5.40** apresenta o gráfico dos transectos do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$.

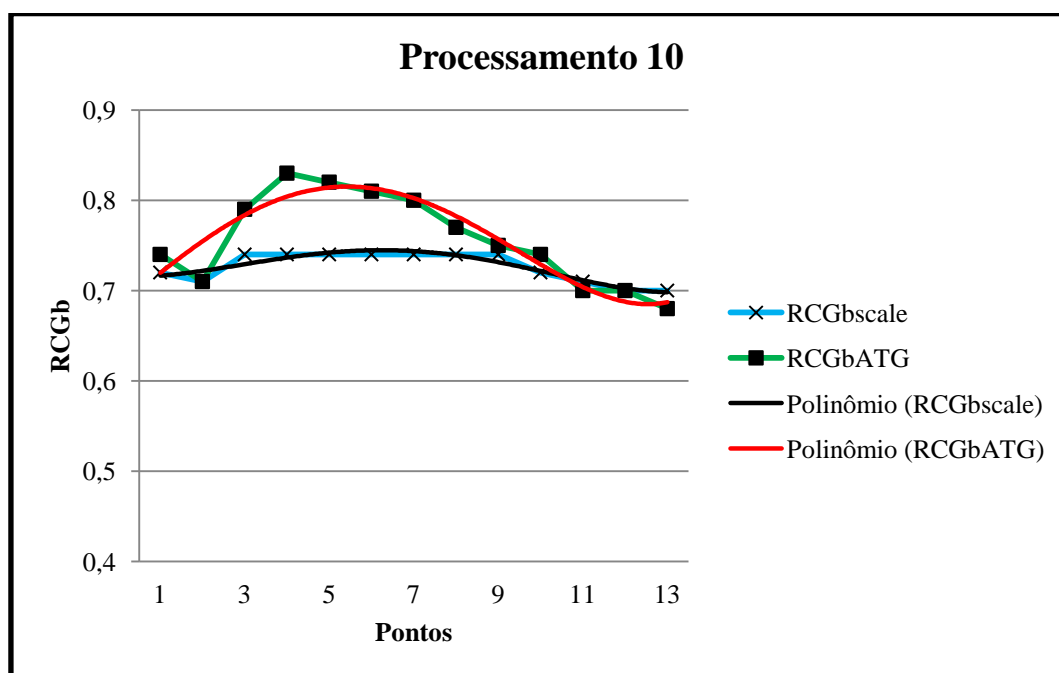


Figura 5.40: transectos do $RCGb_{scale}$ do Produto sob demanda AST_07XT, com correção *crossstalk* e com correção atmosférica e do $RCGb_{ATG}$.

Observou-se que, apesar dos 13 pontos coletados do transecto terem apresentado valores pertencentes ao intervalo (0,50 - 0,75), mesmo assim, mostraram comportamento

com tendência similar ao do ATG, destacando o aplainamento entre os pontos 3 e 9, além da cruzamentos dos transectos a partir do ponto 11. A **Tabela 5.20** apresenta os resultados obtidos com a aplicação do Teste U.

Tabela 5.20: aplicação do Teste de *Mann-Whitney* sobre os valores do produto AST_07XT, com correção *crosstalk* e com correção atmosférica e sobre os valores do RCGb_{ATG}.

ANÁLISE NÃO PARAMÉTRICA DE MANN-WHITNEY		
Resultado	RCGb _{scale}	RCGb _{ATG}
Tamanho da amostra	13	13
Soma dos Postos (Ri)	146,5	204,5
Mediana =	0,74	0,75
U _{calc} =		55,50
p-valor (unilateral) =		0,0685
p-valor (bilateral) =		0,1370

Para o processamento 10 o U_{calc} apresentou valor igual a 55,50 e, segundo a tabela de valores críticos de *Mann-Whitney* ($\alpha = 0,05$), e sendo o valor do U_{tab} igual a 45, verificou-se que, para RCGb_{scale}, $U_{calc} \geq U_{tab}$, portanto, rejeitou-se H₀, isto é, os valores do RCGb_{scale} não apresentaram similaridade estatística com os valores do RCGb_{ATG} em relação à variabilidade espacial. Essa rejeição pode ser decorrente do cruzamento dos transectos observado a partir do ponto 11.

Desse modo, conclui-se que, para o produto sob demanda AST_07XT, com a correção atmosférica e com a correção *crosstalk*, a aplicação do índice RCGb_{scale} proporcionou resultados positivos para o estudo da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) em solos da área estudada no município de São João d'Aliança, apesar do cruzamento dos transectos a partir do ponto 11 e do aplainamento verificado entre os pontos 3 e 9.

Por fim, as **Tabelas 5.21 e 5.22** apresentam os resultados de cada processamento para os dois municípios, ordenados do mais para o menos eficiente, sendo considerado como mais eficiente, o processamento que apresentou o resultado “positivo” para os quatro quesitos determinados.

Para essa ordem de classificação foram escolhidos como quesitos: a análise do comportamento do transecto foi considerada a mais relevante, por fornecer o resultado mais completo, em relação aos demais, ou seja, os valores dos pontos coletados no trasecto

e a sua tendência. Em segunda ordem, considerou-se a análise da imagem fatiada, por apresentar a classificação dos valores do transecto em intervalos, possibilitando assim uma melhor visualização da espacialização da relação mineralógica. Em terceira ordem, a análise da imagem em tons de cinza, por apresentar a tendência dos ambientes caulíníticos e gibbsíticos, por meio da variação de cinza e, por fim, pela análise estatística, por ter o papel de complementação.

Tabela 5.21: *ranking* dos resultados dos processamentos de Niquelândia.

PROCESSAMENTO	NIQUELÂNDIA			
	TRANSECTO	IMAGEM		TESTE U
		FATIAMENTO	CINZA	
Processamento 4: Imagem L1B convertida para reflectância, por meio do módulo <i>Flat Field</i> , com correção <i> Crosstalk</i> , por meio do programa CRSTK30 e sem correção atmosférica	POSITIVO	POSITIVO	POSITIVO	POSITIVO
Processamento 7: Imagem L1B convertida para reflectância, com correção <i> Crosstalk</i> , por meio do programa CRSTK30 e com correção atmosférica por meio da aplicação do algoritmo FLAASH	POSITIVO	POSITIVO	POSITIVO	POSITIVO
Processamento 3: Imagem L1B convertida para reflectância, por meio do módulo <i>Flat Field</i> , sem correção <i> Crosstalk</i> e sem correção atmosférica	POSITIVO	POSITIVO	POSITIVO	POSITIVO
Processamento 2: Imagem de radiância L1B (radiância no nível do sensor) sem correção <i> Crosstalk</i> e sem correção atmosférica	POSITIVO	POSITIVO	POSITIVO	POSITIVO
Processamento 6: Imagem de radiância L1A convertida para reflectância, sem correção <i> Crosstalk</i> e com correção atmosférica por meio da aplicação do algoritmo QUAC	POSITIVO	POSITIVO	NEGATIVO	POSITIVO
Processamento 10: Produto sob demanda ASTER AST-07XT – imagem de reflectância com correção <i> Crosstalk</i> e com correção atmosférica.	NEGATIVO	POSITIVO	POSITIVO	NEGATIVO
Processamento 9: Produto sob demanda ASTER AST-07 – imagem de reflectância sem correção <i> Crosstalk</i> e com correção atmosférica.	NEGATIVO	POSITIVO	POSITIVO	NEGATIVO
Processamento 1: Imagem de radiância L1A (dados brutos) sem correção <i> Crosstalk</i> e sem correção atmosférica	NEGATIVO	POSITIVO	POSITIVO	NEGATIVO
Processamento 8: Imagem L1B convertida para reflectância, com correção <i> Crosstalk</i> , por meio do programa CRSTK30 e com correção atmosférica, por meio da aplicação do algoritmo QUAC	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
Processamento 5: Imagem de radiância L1A convertido para reflectância, sem correção <i> Crosstalk</i> e com correção atmosférica , por meio da aplicação do algoritmo FLAASH.	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO

Tabela 5.22: ranking dos resultados dos processamentos de São João d’Aliança.

PROCESSAMENTO	SÃO JOÃO D’ALIANÇA			
	TRANSECTO	IMAGEM		TESTE U
		FATIAMENTO	CINZA	
Processamento 9: Produto sob demanda ASTER AST-07 – imagem de reflectância sem correção <i>crossstalk</i> e com correção atmosférica.	POSITIVO	POSITIVO	POSITIVO	POSITIVO
Processamento 8: Imagem L1B convertida para reflectância, com correção <i>crossstalk</i> , por meio do programa CRSTK30 e com correção atmosférica, por meio da aplicação do algoritmo QUAC	POSITIVO	POSITIVO	POSITIVO	POSITIVO
Processamento 10: Produto sob demanda ASTER AST-07XT – imagem de reflectância com correção <i>crossstalk</i> e com correção atmosférica.	POSITIVO	POSITIVO	POSITIVO	NEGATIVO
Processamento 3: Imagem L1B convertida para reflectância, por meio do módulo <i>Flat Field</i> , sem correção <i>crossstalk</i> e sem correção atmosférica	POSITIVO	POSITIVO	POSITIVO	NEGATIVO
Processamento 4: Imagem L1B convertida para reflectância, por meio do módulo <i>Flat Field</i> , com correção <i>crossstalk</i> , por meio do programa CRSTK30 e sem correção atmosférica	POSITIVO	POSITIVO	POSITIVO	NEGATIVO
Processamento 2: Imagem de radiância L1B (radiância no nível do sensor) sem correção <i>crossstalk</i> e sem correção atmosférica	POSITIVO	POSITIVO	POSITIVO	NEGATIVO
Processamento 5: Imagem de radiância L1A convertido para reflectância, sem correção <i>crossstalk</i> e com correção atmosférica, por meio da aplicação do algoritmo FLAASH.	POSITIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	POSITIVO
Processamento 6: Imagem de radiância L1A convertida para reflectância, sem correção <i>crossstalk</i> e com correção atmosférica por meio da aplicação do algoritmo QUAC	POSITIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
Processamento 1: Imagem de radiância L1A (dados brutos) sem correção <i>crossstalk</i> e sem correção atmosférica	NEGATIVO	POSITIVO	POSITIVO	NEGATIVO
Processamento 7: Imagem L1B convertida para reflectância, com correção <i>crossstalk</i> , por meio do programa CRSTK30 e com correção atmosférica por meio da aplicação do algoritmo FLAASH	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	POSITIVO

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Ao final desse estudo, cabe destacar as seguintes conclusões:

De acordo com a abordagem referente à análise visual da imagem em variação de cinza e da imagem com composição colorida referente ao fatiamento em classes dos valores do $RCGb_{scale}$, observou-se que, para Niquelândia 70% das imagens em variação de cinza e 80% das imagens fatiadas apresentaram resultados positivos na identificação da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbista). Os melhores resultados observados foram da imagem de radiância L1B (radiância no nível do sensor), sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica e da imagem L1B convertida para reflectância (*Flat Field*) com correção *crosstalk* e sem correção atmosférica.

Para São João d'Aliança, a porcentagem de resultados positivos na identificação da relação mineralógica foi de 70% tanto para as imagens em variação de cinza quanto para imagens com composição colorida referente ao fatiamento, sendo que o melhor resultado foi atribuído ao produto sob demanda AST_07.

Na análise comparativa do comportamento espacial dos transectos de $RCGb_{scale}$ e de $RCGb_{ATG}$, observou-se que, 50% dos resultados de Niquelândia, apresentaram aplainamento e, dentre esses, 80% apresentavam a correção atmosférica, por meio da aplicação dos módulos FLAASH ou QUAC, assim como os produtos AST_07 (com correção atmosférica) e AST_07XT (com correção atmosférica e de *crosstalk*). Esse comportamento aplainado também foi observado no resultado do processamento da imagem de radiância L1A (dados brutos) sem correção atmosférica e de *crosstalk*.

Já para São João d'Aliança, somente 20% dos transectos apresentaram comportamento aplainado. Esse comportamento foi observado na imagem de radiância L1A (dados brutos) sem correção atmosférica ou *crosstalk* e na de reflectância convertida a partir dos dados L1B com correção *crosstalk*, por meio do programa CRSTK30 e com correção atmosférica por meio da aplicação do algoritmo QUAC.

Ainda sobre São João d'Aliança, os transectos $RCGb_{scale}$ referentes às imagens L1A convertida para reflectância e correção atmosférica por meio do módulo QUAC e L1B de reflectância com correção *crosstalk*, por meio do programa CRSTK30 e correção atmosférica, por meio da aplicação do módulo QUAC, além dos produtos sob demanda AST_07 e AST_07XT apresentaram comportamento mais próximos ao do $RCGb_{ATG}$, apesar desses transectos serem subestimados. Salienta-se que esses produtos sob demanda não apresentaram resultados positivos para os dados de Niquelândia.

Segundo a literatura específica, o comportamento de aplainamento é observado, geralmente, em perfis espectrais de solos ricos em minerais opacos (MADEIRA NETTO, 1993) e, tais espectros, normalmente, apresentam albedos muito baixos - inferiores a 5%, justamente por esses minerais, mesmo que em proporções ínfimas, absorverem bastante a radiação eletromagnética, em quase todos os comprimentos de onda (MENESES e colaboradores, 2001).

Em termos espaciais, Baptista (2006), por meio de um exercício específico de modelagem matemática para aferir a influência dos minerais opacos sobre os espectros de solos tropicais, mostrou que a adição gradativa de teores de minerais opacos contribuía na redução das intensidades de absorção da caulinita e da gibbsita, causando assim uma menor eficiência do índice espectral RCGb. Porém, essa diminuição da eficiência do RCGb só foi, de fato, percebida a partir de 50% de acréscimo de minerais opacos nas amostras em análise.

Em Niquelândia, a variabilidade dos teores de minerais opacos é bastante significativa, porém, por meio da aplicação do método de difratometria de raios X, realizada por Baptista (2001), verificou-se que a quantidade dos teores de minerais opacos existentes era inferior a 40%.

Isso implica dizer que o comportamento aplainado do perfil do $RCGb_{scale}$ dos dados processados no presente estudo não possui relação com a presença dos minerais opacos, do contrário, os demais transectos também apresentariam o aplainamento.

Além disso, nos solos da área de estudo de São João d'Aliança não há registro da presença de minerais opacos e, de acordo com os resultados do processamento 1 com dados de radiância L1A (dados brutos) e do processamento 6, com imagem de reflectância convertida a partir dos dados L1B com correção *crosstalk*, por meio do programa CRSTK30 e com correção atmosférica por meio da aplicação dos algoritmos FLAASH, comportamento aplainado do perfil $RCGb_{scale}$ também foi observado.

Portanto, o aplainamento desses transectos está, de fato, relacionado mais diretamente, à natureza dos dados das imagens trabalhadas, seja de radiância (dados brutos), de radiância (no nível do sensor) ou de reflectância, assim como o tipo de processamentos aplicados sobre os dados de cada imagem.

A aplicação do índice $RCGb_{scale}$ em imagens L1B, seja de radiância no nível de sensor, seja de reflectância e ainda, com ou sem a correção do *crosstalk* e com correção atmosférica e, ainda, as imagens L1A convertidas para reflectância e com correção

atmosférica, tanto pelo FLAASH, como pela QUAC apresentaram perfis com similaridade espacial significativa ao perfil do $RCGb_{ATG}$. Isso significa dizer que, a aplicação do índice $RCGb_{scale}$ as imagens citadas mostra-se eficiente na identificação da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) em solos da área estudada no município de São João d'Aliança.

Apesar de estudos comparativos na aplicação de índices espectrais para a determinação de relações mineralógicas em solos, tanto em dados corrigidos como em dados brutos de radiância, não apresentaram diferenças significativas quando comparados com os valores obtidos analiticamente em laboratório (MENESES e ALMEIDA, 2012), um dos resultados que mais se aproximou dos dados de campo foi justamente o processamento que envolveu tanto a correção do *crosstalk* como a correção atmosférica por meio do módulo QUAC, para os dados de São João d'Aliança e por meio do módulo FLAASH, para Niquelândia.

Porém, é importante esclarecer que a correção atmosférica é uma etapa crítica durante o pré-processamento das imagens, isso pode ser verificado nos demais processamentos e, de acordo com Meneses e Almeida (2012), a correção atmosférica pode mascarar resultados, principalmente quando as feições de água a 1,4 e a 1,9 μm não são bem removidas.

Com relação à análise da similaridade estatística entre os valores do $RCGb_{scale}$ e do $RCGb_{ATG}$, observou-se que Niquelândia apresentou 30% dos resultados positivos para similaridade e São João d'Aliança 40%.

De acordo com os *rankings* dos dois municípios, conclui-se que, para Niquelândia, a imagem L1B convertida para reflectância, por meio do módulo *Flat Field*, com correção *crosstalk*, por meio do *programa* CRSTK30 e sem correção atmosférica; a imagem L1B convertida para reflectância, com correção *crosstalk*, por meio do *programa* CRSTK30 e com correção atmosférica por meio da aplicação do algoritmo FLAASH; a imagem L1B convertida para reflectância, por meio do módulo *Flat Field*, sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica; a imagem de radiância L1B (radiância no nível do sensor) sem correção *crosstalk* e sem correção atmosférica são as mais adequadas para a investigação da espacialização da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) nessa ordem.

No caso do município de São João d'Aliança, para a investigação da relação mineralógica, o produto sob demanda ASTER AST_07 – imagem de reflectância sem correção *crosstalk* e com correção atmosférica; a imagem L1B convertida para

reflectância, com correção *crossstalk*, por meio do *programa* CRSTK30 e com correção atmosférica, por meio da aplicação do algoritmo QUAC; o produto sob demanda ASTER AST_07XT – imagem de reflectância com correção *crossstalk* e com correção atmosférica; a imagem L1B convertida para reflectância, por meio do módulo *Flat Field*, sem correção *crossstalk* e sem correção atmosférica; a imagem L1B convertida para reflectância, por meio do módulo *Flat Field*, com correção *crossstalk* e sem correção atmosférica e a imagem de radiância L1B (radiância no nível do sensor) sem correção *crossstalk* e sem correção atmosférica são as mais adequadas nessa ordem.

Por fim, pode-se concluir que apesar de algumas limitações observadas em relação à combinação entre a natureza dos dados ASTER (derivados de L1A ou de L1B ou produto sob demanda AST_07 e AST_07XT para Niquelândia) e o tipo de processamento aplicado sobre esses dados, dependendo da especificidade da análise, correção atmosférica, por meio dos módulos FLAASH e QUAC correção *crossstalk*, por meio do programa CRSTX30 e conversão para imagem de reflectância, por meio do módulo *Flat Field*, 90% dos resultados obtidos permitiram a identificação da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) de forma satisfatória.

Recomenda-se, portanto a utilização do produto AST_07 e da imagem L1B convertida para reflectância, com correção *crossstalk*, por meio do *programa* CRSTK30 e com correção atmosférica, por meio da aplicação do algoritmo QUAC para o estudo da relação caulinita(caulinita+gibbsita) para área de São João d'Aliança.

E, para Niquelândia, recomenda-se a utilização da imagem L1B convertida para reflectância, por meio do módulo *Flat Field*, com correção *crossstalk*, por meio do *programa* CRSTK30 e sem correção atmosférica.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMS, M.; HOOK, S.; RAMACHANDRAN, B. **Aster user handbook**: version 2. California: jpl - jet propulsion laboratory, 2007.

ADLER-GOLDEN, S.M.; MATTHEW, M.W.; BERNSTEIN, L.S.; LEVINE, R.Y.; BERK, A.; RICHTSMEIER, S.C.; ACHARYA, P.K.; ANDERSON, G.P.; FELDE, G.; GARDNER, J.; HIKE, M.; JEONG, L.S.; PUKALL, B.; MELLO, J.; RATKOWSKI, A.; BURKE, H. Atmospheric correction for shortwave spectral imagery based on MODTRAN4. *SPIE Proc. Imaging Spectrometry*, v. 3753, p. 61-69, 1999.

BAPTISTA, G. M. M.; CORRÊA, R. S.; SANTOS, P. F.; MADEIRA NETTO, J.S.; MENESES, P.R. **Use of Imaging Spectroscopy for Mapping and Quantifying the Weathering Degree of Tropical Soils in Central Brazil**. Hindawi Publishing Corporation Applied and Environmental Soil Science Volume 2011, Article ID 641328, 7 pag.

BAPTISTA, G.M.M; CORRÊA, R.S.; TORRES, M.G.; BIAS, E.S.; RESENDE, M.G.; RIBEIRO, R.J.C.; SILVA, D.J. **Identificação de relação mineral Caulinita/Gibbsita em solos tropicais, por meio dos dados SWIR do sensor ASTER**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 7043-7050.

BAPTISTA, G.M.M. . **Sensoriamento Remoto Hiperespectral**: o novo paradigma nos estudos de solos tropicais. 1. ed. Brasília: Editora Universa, 2006. v. 1. 212 p.

BAPTISTA, G.M.M, MADEIRA NETTO, J.D.S. RCGb Index: a tool for mapping the weathering degree of the tropical soils in Brazil. In: The AVIRIS Earth Science and Applications Workshop, 2001, Pasadena. **Proceedings** of The AVIRIS Earth Science and Applications Workshop., 2001.

BAPTISTA, G.M.M. Mapeamento e quantificação da relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) de solos tropicais, por meio dos dados do sensor AVIRIS (JPL/NASA). Tese de Doutorado, Instituto de Geociências Aplicadas, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2001.

BAPTISTA, G.M.M.; MADEIRA-NETTO, J.D.S.; MENESES, P.R. Determinação Da relação sílica - alumina a partir dos dados do sensor aviris (jpl/nasa), para Discretização espacial do grau de intemperismo de solos tropicais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. **Anais...** São José Dos campos: INPE, 1998. p. 1345-1355.

BAUMGARDNER, M. F.; SILVA LEROY, F.; BIEHL, L.L.; STONER, E.R. Reflectance properties of soils. **Advances in Agronomy**, v. 38, p. 1-43, 1985.

BERK , A.G.P.; ADLER-GOLDEN, S.M.; RATKOWSKI, A.J.; FELDE, G.W.; ANDERSON, G.P.; HOKE, M.L.; COOLEY, T.; CHETWYND, J.H.; GARDNER, J.A.; MATTHEW, M.W.; BERNSTEIN, L.S. ACHARYA, P.K.; MILLER, D.; LEWIS, P. Exploiting MODTRAN radiation transport atmospheric correction: the FLAASH algorithm. *SPIE Proceeding, Optical Spectroscopic Techniques and Instrumentation for Atmospheric and Space Research*, p. 798-803, 2002.

CARVALHO JR, O.A.; R.F. GUIMARÃES; E.S. MARTINS; A.P. FERREIRA DE CARVALHO; R.A.T. GOMES. Análise comparativa do processo de identificação automatizada de membros finais a partir de imagens com diferentes resoluções espectrais para a região de Niquelândia (AVIRIS, ETM+ e ASTER) *Revista Brasileira. Geofísica*. vol.23. no.1. São Paulo, 2005.

CASELLE, V.; LOPES GARCIA, M.J. (1989). **An alternative simple approach to estimate atmospheric correction in multitemporal studies**. International Journal of Remote Sensing, 10, 1127-1134.

CEMIN, G. **Utilização do sensoriamento remoto para a Caracterização e discriminação espectral de Vinhedos em diferentes *terroirs***. Rio Grande do Sul: UFRS Centro estadual de pesquisa em sensoriamento remoto), 2009. 96 p.

CONOVER, W. J. **Practical nonparametric statistics**. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1999.

DALMOLIN, R. S. D.; GONÇALVES, C. N.; DICK, E. K. D. P. Relações entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, v. 35, n. 2, p. 481-489, mar./abr., 2005.

EARTH REMOTE SENSING DATA ANALYSIS CENTER (ERSDAC). **Algorithm Theoretical Basis Document for ASTER Level-1 Data Processing (Ver. 3.0)**. Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC) Nov. 1 1996, p.125. Disponível em: <http://www.science.aster.ersdac.or.jp/en/documnts/pdf/1a1b.pdf>. Data de acesso: 20 de mai, 2012.

EARTH REMOTE SENSING DATA ANALYSIS CENTER. **CrossTalk correction programa user's guide**. Tokyo: ERSDAC, 2003. 21p. Disponível em: http://www.gds.ASTER.ersdac.or.jp/gds_www2002/service_e/u.tools_e/cross/GUIDEED.PDF. Data de acesso: 20 de mai, 2012.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Reuniões do Comitê Executivo de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 2000, 1001 e 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) Solos. 1999. 412 p.

ENVI. User's Guide: Atmospheric Correction Module: QUAC and FLAASH. ESRI, 2009.

ENVI: AST_07. Disponível em: https://lpdaac.usgs.gov/products/aster_products_table/ast_07. Acesso em: 4 mar. 2013.

ENVI: ASTX_07. Disponível em: https://lpdaac.usgs.gov/products/aster_products_table/astx_07. Acesso em: 4 mar. 2013.

FARIA, A. (1995). **Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança - Alto Paraíso de Goiás**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, UnB, Brasília.

FERREIRA FILHO C.F; PIMENTEL M.M. 2000. Sm-Nd isotope systematics and REE-Hf-Ta The data of leucotroctolites and their amphibolitized equivalents of the Niquelândia Complex Upper Layered Series, central Brazil: futher constraints for the timing of magmatism and high-grade metamorphism. Journal of South American Earth Sciences. 13:647-659.

FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, J. C. N.; VALERIANO, M. M.; OLIVEIRA, J. B. Comportamento espectral (450-2.450 nm) de solos tropicais de São Paulo. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 467-474, 1996.

FORMAGGIO, A. R.; EIPHANIO, J. C. N. Feições espectrais e parâmetros analíticos de solos tropicais brasileiros. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 1399-1401. Cd-rom, on-line. ISBN 85-17-00016-1. (INPE-8252-pre/4042). Disponível em: <http://urlib.net/dpi.inpe.br/lise/2001/09.20.18.07>. Acesso em: 22 maio 2011.

GALVÃO, L. S.; FORMAGGIO, A. R.; COUTO, E. G.; ROBERTS, D. A. Estudo das relações entre tipos de solos, alteração, mineralogia e topografia por sensoriamento remoto hiperespectral. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007a. p. 6453-6460. CD-ROM; On-line. ISBN 978-85-17-00031-7.

GALVÃO, L. S.; VITORELLO, I.; FORMAGGIO, A. R. Relationships of spectral reflectance and color among surface and subsurface horizons of tropical soil profiles. **Remote Sens. Environ.**, v. 61, p. 24-33, 1997.

GAO, B.C.; GOETZ Heidebrecht, K. B.; Goetz, A. F. H. (1993), Derivation of scaled surface reflectance from AVIRIS data. *Remote Sens. Environ.* 44: 165-178.

GREEN, R.O.; SHIMADA, M. (1997). **On-orbit calibration of a multispectral satellite sensor using a high altitude airborne imaging spectrometer.** *Adv. Space Res.*, 19:1387-1398.

GROVE, C.I.; HOOK, S.J.; TAYLOR, E.D. Laboratory reflectance of 160 minerals, 0,4to 2,5 micrometers. Pasadena: National Aeronautics and Space Administration, 1992, 355p.

IBGE. Primeira Divisão de geociências do nordeste. **Introdução ao processamento digital de imagens.** Rio de Janeiro: IBGE, 1999.

INPE. **Introdução ao sensoriamento remoto.** São José dos Campos, SP, 2001.

IWASAKI, A.; TONOOKA, H. Validation of crosstalk correction algorithm for Aster/sawir. **Ieee transactions on geoscience and remote sensing**, v. 43, n. 12, p. 2747-2751, 2005.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente:** uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

KRUSE, F. A. **Comparison of atrem, acorn, flaash atmospheric corrections using low-alitude aviris data of bouder,** co. 1-10, 2004.

KRUSE, F.A., LEFKOFF, A.B.; DIETZ, J.B. Expert system-based mineral mapping in northern Death Valley, California/Nevada using the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS). **Remote Sensing os Environment.** 44: 145-163. 1993.

LATORRE, M.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; CARVALHO, A. P. F.; SHIMABUKURO, Y. E. Correção atmosférica: **conceitos e fundamentos.** Espaço & Geografia, Vol. 5, n. 1. 2002. P. 153-178.

MADEIRA NETTO, J.S. Comportamento espectral dos solos. In: MENESES, P.R.; MADEIRA NETTO, J.S. **Sensoriamento remoto - reflectância dos alvos naturais.** Brasília, DF : UnB; Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2001. p.127-157.

MEDEIROS, E. S.; FERREIRA FILHO, C. F. **Caracterização geológica e estratigráfica das mineralizações de Platina e paládio associadas à zona máfica superior do complexo de Niquelândia, GO.** Revista Brasileira de Geociências, 2001.

- MENESES e ALMEIDA (org.), Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto: 1 ed. Brasília: UnB/CNPq, 2012.
- MENESES, P. R. Fundamentos de radiometria óptica espectral. In: MENESES, P. R.; MADEIRA-NETTO, J. S. **Sensoriamento remoto**: reflectância de alvos naturais. Brasília: UnB; Embrapa, 2003. p. 15-60.
- MENESES, P. R.; FERREIRA JUNIOR, L. G. Comportamento espectral de minerais e rochas. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. **Sensoriamento remoto**: reflectância dos alvos naturais. Brasília: UnB, 2001. 262 p. Cap. 3, p. 63-123.
- MORAN, M.S.; BRYANT, R.; THOME, K.; NI, W.; NOUVELLON, Y.; GONZALES-DUGO, M.P.; QI, J.; CLARKE, T.R. (2001). A refined empirical line approach for reflectance factor retrieval from Landsat-5 TM and Landsat-7 ETM+. *Remote Sensing of Environment* 78:71-82.
- MOREIRA, M.A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicação. São José dos Campos: INPE, 2001. 250 p.
- MOREIRA LIMA, B.E.; ALMEIDA FILHO, R.; GALVÃO, L.S.; MENESES, P.R. Avaliação das imagens do sensor aster para discriminação espectral de variações Faciológicas no granito serra branca, goiás. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 1815-1822.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto**: princípios e aplicações. São Paulo: Blucher, 2008.
- PEREIRA, R. S. **Princípios físicos em sensoriamento remoto**. Rio Grande do Sul: Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de engenharia agrícola, 2004.
- PRADO, H. . **Pedologia facil - Aplicações na agricultura**. 1. ed. Piracicaba: , 2007. v. 1. 105p.
- PRESS, Frank. (org). **Para entender a terra**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. p. 170-192.
- REATTO, A (org.). **Mapa pedológico digital SIG atualizado do Distrito Federal, escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo**. EMBRAPA, 2004.
- REMPEL, C. Aplicação do sensoriamento remoto para determinação da evolução da mata nativa da Bacia Hidrográfica do rio Forqueta - RS, entre 1985 e 1995. Dissertação de Mestrado. CEPSSRM - UFRGS - 2000. 70p.
- SMITH, P. C.; DELLEPIANE, S. G.; SCHOWENGERT, R. A. Quality assessment of image classification algorithms for land-cover mapping: a review and a proposal for a cost based approach. *International Journal of Remote Sensing*, v. 20, n.8, p. 1461-86, 1999.
- Sulsoft. **AsterDTM 2.2**: instalation & user's guide. Porto Alegre: Sulsoft, 2005. 24p.
- TEIXEIRA, W. Decifrando a terra. 2. ed. São Paulo: Companhia editora nacional, 2009. p. 139-166.
- WAGNER, A. P. **Aplicação de imagens ASTER para estudos Territoriais no nordeste do estado do Rio Grande do Sul**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.