



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

THIAGO COSTA DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ÍNDICES ESPECTRAIS NA IDENTIFICAÇÃO DE
ÁREAS DESERTIFICADAS

FORTALEZA

2017

THIAGO COSTA DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ÍNDICES ESPECTRAIS NA
IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DESERTIFICADAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre. Área de concentração: Pedologia

Orientador: Prof. Dr. Raul Shiso Toma.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S239a Santos, Thiago Costa.
Avaliação do desempenho de índices espectrais na identificação de áreas desertificadas / Thiago Costa Santos. – 2017.
244 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Raul Shiso Toma.

1. Degradação. 2. Aridez. 3. Teledeteção. I. Título.

CDD 631.4

THIAGO COSTA DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ÍNDICES ESPECTRAIS NA
IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DESERTIFICADAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre. Área de concentração: Pedologia.

Aprovada em: 04/08/2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raul Shiso Toma (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Fabrício da Silva Terra
Universidade Federal de Pelotas (UFPel)

Prof. Phd Adunias dos Santos Teixeira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus, Aos meus pais, A minha querida irmã Tamires Taiane Costa dos Santos (*In memoriam*), a minha querida avô paterna Zulmira Moreira de Oliveira (*In memoriam*) e minha esposa Jozeany Amorim pelo carinho e apoio nesta jornada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, fé, força e coragem para enfrentar os desafios da vida.

Aos meus pais por me ensinarem sempre a ser honesto, humilde, batalhador e respeitar ao próximo.

A minha Avó paterna pelo carinho e apoio em toda minha vida.

A minha Querida Irmã Tamires Taiane (*in memorian*) por sempre acreditar em meu potencial e desejar a mim tudo que um homem de bom possa ter na vida.

Ao Prof. Dr. Raul Shiso Toma, pela excelente orientação, paciência e amizade.

Ao Prof. Dr. Fabrício da Silva Terra, pela atenção e sugestões dadas a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Luís Clênio Jário Moreira, pelos ensinamentos e dicas para realização do trabalho.

Ao Prof. Phd Adunias dos Santos Teixeira, pelo aprendizado na disciplina de Sistemas de Informações Geográficas.

Ao Prof. Dr. José Gerardo, pela autorização concedida para coleta de amostras de solos nas áreas de exclusão.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da UFC, pela nobre oportunidade.

À CAPES, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao PROAP e Pro – Integração pelas ajudas de custo para com a realização desta pesquisa.

Aos funcionários do departamento de Ciência do solo, pelo apoio e auxílio de atividades em laboratório.

Aos colegas de pós-graduação, pela boa convivência e amizade nestes 24 meses de intenso aprendizado.

RESUMO

Os índices NDVI, TGSI, Albedo, Linha de solo, Tasseled Cap e Termal mostram-se essenciais para mapeamento da superfície terrestre, sendo importantes para estudos de desertificação. A hipótese foi de que índices espectrais obtidos a partir de imagens de sensoriamento remoto permitem a identificação e mapeamento da desertificação. Foram aplicados NDVI, TGSI, Albedo, Linha de solo, Tasseled Cap e Termal para o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte, FLONA e as áreas de exclusão nos períodos de 2000 a 2008. Foram usadas as imagens do sensor TM da plataforma USGS, órbita/ponto (217/063; 218/062; 218/063, do final do período chuvoso e final do período seco dos anos 2000, 2001, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007 e 2008; A correção atmosférica foi realizada com algoritmo Flaash e correção geométrica com imagem Landsat 08. Foi feito mosaico das cenas e recorte das áreas de interesse. Foram utilizados intervalos para cada índice. O NDVI foi compatível com áreas desertificadas no núcleo, FLONA e áreas de exclusão. O TGSI indicou a presença de areia em relação ao silte e argila em todas as áreas estudadas. O albedo apresentou valores compatíveis com áreas desertificadas no núcleo de desertificação e nas áreas de exclusão, com relação ao FLONA o albedo foi reduzido devido a presença de resíduos e corpos hídricos apresentando valores compatíveis com áreas não desertificadas. A linha de solo indicou vegetação rala em todas as áreas estudadas. A transformação Tasseled Cap Brightness indicou maior agrupamento de pixels em torno de seu eixo, enquanto foram verificados maior dispersão em torno do eixo Greenness em todas áreas estudadas durante todos os períodos da série temporal. A temperatura de superfície apresentou valores reduzidos em épocas de boa cobertura vegetal, contudo, em todas as áreas estudadas foram verificados valores de temperaturas compatíveis com solos exposto. A interação entre o NDVI, TGSI e Albedo no núcleo e no FLONA, foram apresentadas em gráfico do tipo radar, indicando a relação existente entre eles. O empilhamento dos dados foi realizado e se verificou a não modificação dos índices ao longo dos anos estudados, denotando a ocorrência da desertificação. Com as análises dos resultados pode-se concluir que os índices NDVI, TGSI, Albedo, linha de solo e Tasseled Cap permitiram a identificação e o mapeamento da desertificação no núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte e nas áreas de exclusão e a suscetibilidade do FLONA a desertificação.

Palavras-chave: Degradação. Aridez. Teledeteção.

ABSTRACT

The NDVI, TGSi, Albedo, bare soil line, Tasseled Cap and Thermal index are essential for terrestrial surface mapping and are important for desertification studies. The hypothesis was that spectral indexes from remote sensing images allow the identification and mapping of desertification. NDVI, TGSi, Albedo, Soil Line, Tasseled Cap and Thermal were applied to the Irauçuba Centro Norte desertification area, FLONA and the exclusion areas from 2000 to 2008. The TM sensor images of the USGS platform, path / row (217/063; 218/062; 218/063, from the end of the rainy season and the end of the dry period of 2000, 2001, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007 and 2008; Flaash and geometric correction with Landsat 08 image. Mosaic of the scenes and cut of the areas of interest was done. To identify and evaluate desertification, range were used for each index, according to the literature. NDVI values were compatible with desertified areas in the Irauçuba Centro Norte desertification area, FLONA and exclusion areas. The TGSi indicated the presence of sand in superior amounts in relation to the silt and clay in all the studied areas. The albedo presented values compatible with desertified areas in the desertification field and in the exclusion areas. In relation to FLONA, the albedo was reduced due to the presence of residues and water bodies presenting values compatible with non-desertified areas. The bare soil line indicated sparse vegetation in all studied areas. The Tasseled Cap Brightness transformation indicated greater clustering of pixels around its axis, while greater dispersion around the Greenness axis was observed in all areas studied during all periods of the time series. The surface temperature presented reduced values in times of good vegetation cover, however, in all the studied areas, values of temperatures compatible with exposed soils were verified. The interaction between the NDVI, TGSi and Albedo in the core and FLONA, were presented in a radar-type graph, indicating the relation between them. Stacking of the data was performed and there was no change in the indices over the years studied, denoting the occurrence of desertification. With the analysis of the results, it can be concluded that the NDVI, TGSi, Albedo, bare soil line and Tasseled Cap indexes allowed the identification and mapping of desertification in the Irauçuba Center North desertification area and in the exclusion areas and the susceptibility of FLONA to desertification.

Keywords: Degradation. Aridity. Teledetection.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Fluxograma do projeto.....	46
Figura 02 – Localização Espacial do núcleo de Irauçuba Centro Norte.....	48
Figura 03 – Precipitação nos municípios do Núcleo.....	50
Figura 04 – Localização Espacial da Floresta Nacional de Sobral.....	52
Figura 05 – Posto pluviométrico Jaibaras - CE 2000 a 2008.....	53
Figura 06 – Localização das áreas de exclusão no núcleo.....	54
Figura 07 – Mapas de NDVI no núcleo de 2000 a 2008.....	72
Figura 08 – Mapas de NDVI no FLONA na série temporal de 2000 a 2008.....	76
Figura 09 – Valores de NDVI para as áreas de exclusão de 2001 a 2008.....	78
Figura 10 – Box plot do NDVI para o núcleo de desertificação e FLONA.....	79
Figura 11 – Box plot do NDVI para as áreas de exclusão.....	80
Figura 12 – Mapas de TGSÍ no núcleo de 2000 a 2008.....	83
Figura 13 – Mapas de TGSÍ para o FLONA de 2000 a 2008.....	88
Figura 14 – Valores de TGSÍ para as áreas de exclusão 2001 a 2008.....	92
Figura 15 – Box Plot do TGSÍ para as áreas desertificadas e preservadas.....	93
Figura 16 – Box Plot de TGSÍ para as áreas de exclusão.....	94
Figura 17 – Mapas de Albedo no núcleo de 2000 a 2008.....	97
Figura 18 – Mapas de Albedo para o FLONA de 2000 a 2008.....	102
Figura 19 – Valores de Albedo para as áreas de exclusão 2001 a 2008.....	105
Figura 20 – Box Plot de Albedo para as áreas desertificadas e preservadas.....	106
Figura 21 – Box Plot de Albedo para as áreas de exclusão.....	107
Figura 22 – Classes de solos no núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte.....	109
Figura 23 – Linha de solo em Bom Jesus, Fumo, Saco de Boi Tiracanga.....	110
Figura 24 – Linha de solo para as comunidades Maniçoba e Riacho da Pedra.....	119

Figura 25 – Área de solo exposto em 2000 a 2008.....	124
Figura 26 – Áreas ocupadas por vegetação e solo exposto FLONA 2000 a 2008.....	128
Figura 27 – Linha de solo para o FLONA.....	130
Figura 28 – Linha de solo para as áreas de exclusão A1, A2 e A3.....	134
Figura 29 – Linha de solo para as áreas de exclusão A4 e A5.....	139
Figura 30 – Brightness e Greenness no núcleo.....	142
Figura 31 – Brightness e Greenness em Bom Jesus, Fumo e Saco de Boi.....	144
Figura 32 – Brightness e Greenness em Tiracanga, Riacho das Pedras e Maniçoba.....	152
Figura 33 – Mapas de Brightness para o núcleo.....	161
Figura 34 – Mapas de Greenness para o núcleo.....	163
Figura 35 – Brightness e Greenness para o FLONA.....	165
Figura 36 – Mapa de Brightness para o FLONA.....	167
Figura 37 – Mapa de Greenness para o FLONA.....	170
Figura 38 – Brightness e Greenness FLONA.....	172
Figura 39 – Brightness e Greenness para as áreas de exclusão.....	176
Figura 40 – Plano de Vegetação de áreas de exclusão A1,A2 e A3.....	178
Figura 41 – Plano de Vegetação de áreas de exclusão A4 e A5.....	183
Figura 42 – Mapas de Temperatura de Superfície no núcleo.....	186
Figura 43 – Mapas de Temperatura de Superfície no FLONA.....	190
Figura 44 – Temperatura de áreas de exclusão.....	195
Figura 45 – NDVI, TGSi e Albedo no núcleo.....	197
Figura 46 – NDVI, TGSi e Albedo no FLONA.....	201
Figura 47 – Brightness e Greenness no núcleo e no FLONA.....	203
Figura 48 – Temperatura de Superfície do núcleo e FLONA.....	204
Figura 49 – Pixels de NDVI no núcleo.....	205

Figura 50 – Pixels de NDVI no FLONA.....	207
Figura 51 – Pixels de Albedo no núcleo.....	208
Figura 52 – Fazenda Aroeira 1 - A1.....	213
Figura 53 – Fazenda Aroeira 2 - A2.....	215
Figura 54 – Fazenda Formigueiro - A3.....	217
Figura 55 – Fazenda Cacimba Salgada 1 - A4.....	219
Figura 56 – Fazenda Cacimba Salgada 2 - A5.....	220
Figura 57 – Núcleo de desertificação.....	223
Figura 58 – Áreas de exclusão.....	224

LISTAS DE TABELAS

Tabela 01 – Caracterização das áreas de exclusão.....	55
Tabela 02 – Cenas entre 2000 a 2008 e validação.....	56
Tabela 03 – Descrição das bandas do mapeador temático (TM).....	60
Tabela 04 – Descrição das bandas do OLI.....	60
Tabela 05 – Coeficientes usados para cálculo do albedo.....	61
Tabela 06 – Intervalos de NDVI, TGSI e Albedo.....	67
Tabela 07 – Médias de NDVI, desvio padrão e CV no núcleo.....	70
Tabela 08 – Médias de NDVI, desvio padrão e CV no FLONA.....	74
Tabela 09 – Médias de TGSI, desvio padrão e CV no núcleo.....	81
Tabela 10 – Correlação entre o NDVI e TGSI no núcleo.....	85
Tabela 11 – Médias de TGSI, desvio padrão e CV no FLONA.....	86
Tabela 12 – Correlação entre o NDVI e TGSI no FLONA.....	91
Tabela 13 – Médias de Albedo, desvio padrão e CV no núcleo.....	95
Tabela 14 – Correlação entre o NDVI e Albedo no núcleo.....	99
Tabela 15 – Médias de Albedo, desvio padrão e CV no FLONA.....	100
Tabela 16 – Correlação entre o NDVI e Albedo no FLONA.....	104
Tabela 17 – Temperatura de superfície para o núcleo.....	185
Tabela 18 – Temperatura de superfície para o FLONA.....	189
Tabela 19 – Análises granulométricas e índices em áreas de exclusão.....	211
Tabela 20 – Análises granulométricas e índices no núcleo.....	222

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivo Geral.....	16
1.2	Objetivos Específicos.....	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	Desertificação no Mundo	17
2.2	Desertificação no Brasil	20
2.3	Sensoriamento Remoto aplicado a estudos de desertificação.....	23
2.3.1	<i>Comportamento espectral da vegetação.....</i>	25
2.3.2	<i>Comportamento espectral de resíduos no solo.....</i>	27
2.3.3	<i>Comportamento espectral do solo.....</i>	30
2.4	Normalized difference vegetation index – NDVI.....	31
2.5	Topsoil grain size index – TGSi	33
2.6	Albedo.....	35
2.7	Análise de linha de solo.....	38
2.8	Transformação Tasseled Cap.....	39
2.9	Sensores Termais.....	41
3.0	Programa Landsat.....	43
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
4.1	Fluxograma de trabalho.....	44
4.2	Área de estudo.....	47
4.2.1	<i>Núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte.....</i>	47
4.2.2	<i>Floresta Nacional de Sobral.....</i>	51
4.2.3	<i>Áreas de exclusão.....</i>	54

4.3	Aquisição e processamento de Imagens.....	56
4.4	NDVI, TGSi, Albedo.....	58
4.5	Determinações de linha de solo.....	62
4.6	Transformações Tasseled Cap.....	63
4.7	Dados termais.....	65
4.8	Avaliação da desertificação.....	66
4.9	Análises Estatísticas.....	68
5.0	Modelo de validação.....	69
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	69
6.1	NDVI.....	69
6.2	TGSi.....	82
6.3	Albedo.....	95
6.4	Linha de solo.....	109
6.5	Tasseled Cap.....	142
6.6	Termal.....	186
6.7	Interações dos índices estudados.....	197
6.8	Empilhamento NDVI, TGSi e Albedo.....	206
6.9	Modelo de Validação.....	211
7	CONCLUSÕES.....	226
	REFERÊNCIAS.....	227

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos, água, energia e terras produtivas, acarretam impactos na capacidade sustentável do meio ambiente e perda significativa da função dinâmica na natureza, refletido pela perda de solo, remoção da cobertura vegetal, aumento de áreas mais vulneráveis a erosão, redução da fertilidade do solo, perda da biodiversidade e a transformação de terras antes produtivas em áreas não produtivas, ou desertificadas.

A desertificação é definida como a degradação de terras em clima árido, semiárido e subúmido seco resultante de alterações climáticas associado com atividades antrópicas; Os solos desertificados possuem mínima cobertura vegetal e são mais propensos à erosão hídrica e eólica, levando a perda de solo, nutrientes e de matéria orgânica. Estima-se que cerca de 40 % da superfície terrestre sofre com os efeitos da desertificação impactando mais de 2 bi de pessoas em todos os continentes.

O processo de desertificação é complexo e envolve múltiplas interações de diversos processos biofísicos, associado a isso estão as ambiguidades relacionadas à sua definição e ausência de métodos confiáveis e robustos para sua quantificação, dificultando a implementação de metodologias consistentes, eficientes e capazes de produzirem resultados confiáveis.

Nos últimos anos, o aprimoramento das tecnologias espaciais e o desenvolvimento de satélites com resoluções espaciais mais precisas ampliaram os estudos de sensoriamento remoto para monitoramento e avaliação da desertificação. O uso desta técnica permite obter dados em curto intervalo de tempo, de ampla cobertura geográfica e na maioria das vezes de acesso gratuito.

Com auxílio de softwares geoprocessamento é possível relacionar parâmetros de solo e vegetação com mudanças do meio ambiente através da quantificação de índices que levam em consideração as diferentes respostas dos alvos com a radiação eletromagnética.

Para controle da desertificação é imprescindível a adoção de medidas mitigadoras, como a implantação de meios de convivência com o semiárido, recuperação de áreas degradadas e conscientização da população local sobre o uso e manejo correto

dos recursos naturais, isso é um processo complexo, pois demanda um monitoramento contínuo dos recursos naturais através da aquisição de dados de forma a analisar o problema da desertificação em grandes áreas territoriais.

Portanto neste estudo, adotou-se a hipótese de que índices espectrais obtidos por imagens de sensoriamento remoto possibilitarão a identificação e mapeamento de áreas desertificadas.

1.1 Objetivo Geral

Verificar a capacidade de índices espectrais obtidos por meio de sensoriamento remoto na identificação e mapeamento de áreas desertificadas.

1.2 Objetivos específicos

Determinar NDVI (Índice por Diferença Normalizada da Vegetação) para o período de 2000 a 2008;

Determinar o TGSÍ (Índice de Textura de Solo) para o período de 2000 a 2008;

Determinar Albedo Superficial para o período de 2000 a 2008;

Verificar a capacidade da linha de solo para identificação de pixels de solos expostos e a variação da vegetação em relação a banda 4 de 2000 a 2008;

Avaliar as mudanças das componentes Brightness e Greenness ao longo do período 2000 a 2008 através da transformação Tasseled Cap;

Averiguar os valores de temperatura de superfície usando a banda termal do Landsat 05, no período de 2000 a 2008;

Verificar a eficácia dos dados de cada índice no reconhecimento de áreas desertificadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Desertificação no mundo

O solo tem papel crucial na manutenção da produtividade de alimentos, meio para desenvolvimento da biodiversidade, atua no ciclo hidrológico e é responsável pelo fornecimento de fibras, energias e água, entretanto o uso não sustentável das terras em áreas de clima árido, semiárido e subúmido seco contribui para a formação de áreas desertificadas, onde os impactos em áreas afetadas são bastantes visíveis como perda de função do ecossistema, aumento da erosão, redução da fertilidade do solo e perda da cobertura vegetal (YOU, 2017).

De acordo com a União das Nações Unidas para Combate à Desertificação (UNCCD, 1994), a desertificação é o estado de degradação das terras associado ao aumento da vulnerabilidade do ecossistema em ambientes áridos, semiáridos e sub úmido seco resultante de variações climáticas e atividades antropogênicas. Estes processos são intensificados por características relacionadas ao solo, à declividade e cobertura vegetal, e alteram os fluxos de água em terras áridas comprometendo o desenvolvimento dos cultivos, forragens e outros serviços que o ecossistema pode oferecer ao ser humano (INCERTI *et al.*, 2007).

Em regiões de clima árido e semiárido a desertificação está associada a erosão eólica que constitui um modelo gravíssimo de degradação das terras no mundo conforme Murdock e Frye (1983), sucedendo a degradação dos solos e reduzindo o potencial produtivo das terras, além de contribuir para o aumento da emissão de gases causadores do efeito estufa para a atmosfera (GAD; ABEL, 2000; ZHAO *et al.*, 2009).

Estima-se que cerca de 41 % das terras do globo estão afetadas pela desertificação, impactando no modo de vida de mais de 2 bilhões de pessoas, e esse número pode aumentar devido ao aumento do crescimento populacional o que gera maior demanda de recursos naturais e mudanças na conjuntura climática do planeta. A desertificação é preocupante, pois acarreta mudanças em processos biofísicos dos ecossistemas e causam mudanças em aspectos socioeconômicos. Isso torna a desertificação como um dos problemas ambientais mais desafiadores para os próximos anos (VOGT *et al.*, 2011).

A palavra desertificação foi usada pela primeira vez por Lavauden (1927) em

terras tunisianas que estavam passando por um declínio de produtividade, provocado por ações antrópicas e mau manejo da terra, entretanto este termo passou a ter um enfoque especial na concepção de Aubreville (1949) que verificou que desmatamento de áreas florestais na África Ocidental propiciava a erosão e deterioração da terra.

A desertificação representa um grande problema global, cujo conceito ainda é interpretado de forma equivocada, pois segundo a UNCCD (1994), a desertificação é um processo de degradação do solo que ocorre em regiões áridas, semiárida e sub úmidas secas resultado de fatores climáticos e atividades antrópicas, entretanto outra linha de entendimento afirma que a desertificação é consequência da expansão e migração de áreas desertificadas para áreas antes produtivas que contornam a área de desertos, sendo potencializado pelas atividades antrópicas como sobrepastejo e desmatamento, tornando as áreas menos produtivas ou completamente improdutivas, configurando-a como área desértica, essa dicotomia conceitual acaba criando uma dificuldade de percepção do problema e o posterior agravamento da degradação (KASSAS, 1999).

Algumas práticas de manejo inadequado podem levar a desertificação, por exemplo, irrigação excessiva, desmatamento, sistemas de drenagem deficiente e destruição de áreas de habitat em consequência do aumento da pressão populacional, acarretando diversas alterações nos atributos do solo como baixa capacidade de retenção de água, redução da fertilidade, aumento da salinidade, elevado risco a erosão do solo, diminuição da quantidade de matéria orgânica e aumento de fragmentos de rochas no solo.

Estima-se que em torno de 10 a 20 % das áreas secas degradadas estão caminhando para desertificação tornando áreas inabitáveis a população humana, o que a torna uma importante questão global no século 21, devido seu impacto negativo sobre a produtividade agrícola, meio ambiente e segurança alimentar repercutindo na qualidade de vida da sociedade. A desertificação da terra ocorre particularmente em áreas de semiárido, entretanto não apenas nestas áreas, e sim em áreas quimicamente pobres situadas na África, que apresenta solos frágeis, alta densidade populacional e o emprego de técnicas agrícolas rudimentares (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

No século passado no hemisfério norte, as áreas localizadas em regiões de média a alta latitude apresentaram um aumento de temperatura causado em consequência do aquecimento global, isso culminou com um aumento da seca e aridez nessas regiões,

ao contrário das terras secas tropicais cuja precipitação determina o crescimento da planta, a vegetação de clima temperado tem seu crescimento limitado pela temperatura e água. O aumento das temperaturas contribui para a diminuição da umidade do solo, pois aumentam as taxas de evaporação da água contida na superfície do solo (IPCC, 2007; BROWN, 2000).

O conceito de aridez possui uma ampla gama de definições incluindo ambientes com rochas, colinas, planícies, dunas de areias e vegetação dominada por cactos e outras plantas xerófitas. Apesar de sua aparência ressecada, após a precipitação a vegetação volta a brotar nessas áreas, entretanto a aridez não ocorre apenas em climas secos também pode ocorrer em climas frios ou em lugares onde a precipitação ocorra em forma de neve, como por exemplo, grande parte da Antártida e do Ártico que são considerados desertos polares, pois recebem pouca precipitação líquida durante o ano (SMILEY ZUMBERGE, 1971).

A aridez é definida como falta de umidade em consequência de um evento climático, ou seja, que se baseia em uma condição climática média de ocorrência em uma dada região (AGNEW; ANDERSON, 1992). Aridez é um fenômeno climático de longo prazo enquanto a seca é temporário, para Thornthwaite (1948) a aridez é uma função tanto da precipitação como da taxa de evapotranspiração potencial (ETP) que representa a quantidade de água transferida para a atmosfera sob condições ideais de umidade do solo e de vegetação.

Os índices de aridez demonstram o efeito das alterações climáticas sobre os recursos hídricos locais, em sua forma mais simples este índice está relacionado com a precipitação, por exemplo, uma região árida recebe menos de 250 mm de chuva por ano, enquanto regiões semiáridas são comumente definidas como áreas com precipitação entre 250 e 500 mm (IPCC, 2007).

As principais causas da aridez é a alta pressão provocada pelos ventos advindos de todas as porções continentais que apresentam reduzida capacidade de absorver umidade e correntes oceânicas frias. A causa mais preocupante da aridez em um contexto de mudança climática global é a mudança nos padrões de circulação atmosférica e oceânica o que poderá resultar na expansão ou mudança nas posições das zonas secas subtropicais (THOMPSON, 1975).

A desertificação transforma o clima por meio de mudanças nos processos biofísicos e biogeoquímicos, verificados através de mudanças nos balanços de energia da

superfície e na umidade do solo, já as alterações dos processos biogeoquímicos estão relacionados as mudanças nas concentrações de gases da atmosfera que são responsáveis pelo efeito estufa, estas alterações modificam os valores de albedo da superfície terrestre diminuindo a transpiração, a retenção de umidade do solo e precipitação, gerando impactos na sociedade como instabilidade econômica e social (WANG; YAN, 2016).

O próximo tópico abordará a problemática da desertificação no Brasil, no tocante as questões de ocorrência pelas regiões semiáridas do nordeste, metodologias de identificação do problema e impactos socioeconômicos regionais.

2.2 Desertificação no Brasil

No Brasil a maior parte das áreas desertificadas ocorre em áreas de clima semiárido, porém em regiões de clima úmido especificamente nas regiões sudoeste do Rio Grande do Sul vem acontecendo uma degradação das terras similar à desertificação conhecido como a arenização, ocasionado pela expansão e acúmulo de manchas de areias oriundas da atividade antrópica, da remoção da cobertura vegetal para dar lugar as áreas de pastagens e lavouras agrícolas, associado à instalação da pecuária, cujo pisoteio excessivo do gado devido taxas de lotação inadequadas e rudimentares práticas de manejo, deixa os solos arenosos da região suscetível ao transporte pela ação da água e do vento, a ação conjunta destes agentes causam o transporte de sedimentos para outras áreas levando a formação de dunas similares as encontradas no deserto (CORDEIRO; SOARES, 1977; SOUTO, 1984; ABSABER, 1990).

Com exceção das regiões sudoeste do Rio Grande do Sul, as áreas mais susceptíveis a desertificação estão restritas às áreas de clima semiárido. Essas áreas representam cerca de 20% do território brasileiro, cujo nível de degradação dos recursos naturais acaba afetando o modo de vida de mais 32 milhões de brasileiros e faz com que esta região esteja inserida no polígono das secas, merecendo destaque especial por meio da implantação de projetos que visem melhores meios de convivência no semiárido demandando gastos na ordem de 800 milhões de dólares por ano e um valor de 2 bilhões de dólares para recuperar áreas em estágio mais crítico (CONAMA, 2008).

Foi em meio ao aumento dos gastos com programas de combate à desertificação e os grandes impactos sociais gerados pelo problema, que demandou a realização de estudos que melhor abordassem o problema da desertificação, iniciado pelo

pesquisador Vasconcelos Sobrinho (1983), que selecionou empiricamente seis áreas pilotos que apresentavam deficiente cobertura vegetal e presença de sinais da desertificação, em solos dos estados do Piauí, Ceará, Paraíba, Rio Grande do Norte, Pernambuco e Bahia. Com base neste estudo o Ministério do Meio Ambiente (MMA) realizou visitas a campo com um grupo de pesquisadores a essas áreas, dentre estas áreas, quatro foram caracterizadas como áreas de maior magnitude de desertificação recebendo a denominação de núcleos de desertificação de Gilbués (PI), Irauçuba (CE), Seridó (PB) e Cabrobró (PE).

Recentemente, em dezembro de 2004, o Brasil cumpriu com a elaboração do Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAN Brasil), destacando a região nordeste como foco de intervenções econômicas e políticas no entendimento da desertificação, delineando a implementação de medidas no tocante a problemática da desertificação por meio do mapeamento de áreas semiáridas e subúmidas secas com ocorrência acentuada na região nordeste, criando as chamadas Áreas Susceptíveis a Desertificação (ASD) que abrange cerca de 1.338.076 Km² com um total de 1.482 municípios que estão em alto risco ao processo de desertificação (BRASIL, 2004).

Existem diversas metodologias de indicadores da desertificação, entre elas a proposta pela Instituto Desert que está baseada na hierarquização dos níveis de gravidade dos processos relacionados ao tema em questão na região semiárida e subúmida seca do Nordeste, consiste no uso de 19 indicadores que representam componentes físicos, biológicos, sociais e econômicos relacionados, de alguma maneira, aos processos de desertificação. Para esse conjunto de indicadores foi construída uma matriz de simples presença ou ausência, ou seja, os componentes foram tratados de forma homogênea, sem considerar os diferentes graus de relevância de cada um deles (MATALLO, 2001).

A grande maioria dos estados nordestinos localizados no polígono das secas constitui de áreas altamente susceptíveis ou com o processo de desertificação já instalado, com atenção especial ao estado da Paraíba que apresenta 208 dos 223 municípios do estado acometidos pela degradação, essas áreas apresentam elevados níveis de desertificação devida à escassez quase que completa da vegetação (BRASIL, 2004; SOUZA *et al.*, 2011).

No tocante ao estado do Ceará cerca de 92,1% de sua área territorial está situado em clima semiárido, possuindo uma degradação ambiental ponderada à fatores

humanos, mostrando que 14 % de sua área está suscetível a desertificação, merecendo atenção especial o município de Irauçuba e as regiões do sertão dos Inhamuns e médio Jaguaribe (SOARES *et al.*, 1995).

O estado do Rio Grande do Norte contempla em suas áreas o núcleo de desertificação do Seridó que corresponde a uma área de 279.602,02 ha. A degradação da região se deve principalmente ao extrativismo vegetal da caatinga por meio da extração de lenha e argila associado ao uso exacerbado dos recursos naturais e pecuária extensiva onde se tem um pisoteio excessivo de animais causando grande compactação do solo, o problema da desertificação no estado é bastante alarmante visto que 40 % da área territorial do estado se encontra desertificada e 158 dos 167 municípios já foram atingidos pelo problema (BRASIL, 1999).

As previsões para a região nordeste são catastróficas, pois as temperaturas podem aumentar de 2°C a 5°C e a precipitação poderá ter um ligeiro aumento até o final do século XXI. Apesar deste comportamento, espera-se que ocorra o processo de aridização do nordeste em decorrência de elevadas temperaturas ocasionarem aumento de evapotranspiração e diminuição da disponibilidade hídrica na região (MARENGO, 2006).

Estima-se que cerca de dez municípios do Rio Grande do Sul estejam acometidos pelo fenômeno da arenização, onde segundo Andrade *et al.* (2005) alguns municípios tiveram até 229 manchas de areia, também foram identificados nesta pesquisa cerca de 250 mil hectares de solos arenosos altamente susceptíveis a erosão. A arenização no estado do Rio Grande do Sul está relacionada ao material de origem constituído de depósitos areníticos pouco consolidados associado a fatores climáticos predominantes nessa região. A ação antrópica decorrida do uso inadequado dos recursos naturais e de técnicas rudimentares de manejo do solo acarretam a redução da cobertura vegetal aumentando o risco de remoção destes materiais para outras áreas (SCOPEL *et al.*, 2013).

A desertificação está afetando a eficiência de produção de mais de 6 milhões de hectares de terras, gerando áreas mais propícias a atuação dos processos erosivos, ocasionando o depauperamento do solo, redução da biodiversidade da caatinga, impactos diretos sobre os recursos hídricos, êxodo rural, abandono de áreas e inchaço populacional nos grandes centros urbanos, repercutindo de forma direta e indireta na qualidade de vida da população (VALLADARES; FARIA; 2004)

A região semiárida tem como principal característica as altas temperaturas,

reduzida precipitação e baixa produção de fitomassa vegetal, atrelado a isso encontra-se um sistema de produção agrícola baseado na subsistência com práticas agrícolas rudimentares como corte e queima, sobrepastejo resultante da criação de gado. Esse cenário provoca ao longo do tempo a redução da cobertura vegetal, aumento da erosão, compactação do solo, degradação da estrutura do solo, redução da porosidade e da capacidade de infiltração do solo, isso torna as regiões empobrecidas palco para estabelecimento dos processos de desertificação (SOUSA *et al.*, 2015).

O item seguinte abordará o uso das técnicas de processamento de imagens oferecidos pelo sensoriamento remoto, importante para mapeamento das mudanças nos recursos naturais em decorrência de atividades antrópicas, através do uso de satélites artificiais que fazem o imageamento constante da superfície terrestre, permitindo a obtenção de dados com frequência que demonstram o avanço das áreas acometidas pela desertificação.

2.3 Sensoriamento remoto aplicado aos estudos de desertificação

O sensoriamento remoto é a ciência que se dedica ao estudo da medição quantitativa das diferentes respostas de interação dos alvos com a radiação eletromagnética, sendo bastante eficiente para monitoramento dos processos que ocorrem na superfície terrestre, especialmente no tocante a estudos relacionados à desertificação, já que o uso desta técnica permite a obtenção de dados a custos relativamente baixos em um pequeno espaço de tempo, possibilitando o monitoramento contínuo de extensas áreas vulneráveis a ocorrência da desertificação (QI *et al.*, 2012).

As imagens de satélites fornecem dados frequentes de toda superfície da terra ao longo do tempo (multitemporal), por meio de sensores multiespectral ou hiperespectral e o uso de softwares de processamento de imagens permite inferir sobre as mudanças na cobertura e uso do solo ao longo dos anos (COLLADO *et al.*, 2002).

Em estudos de desertificação, o sensoriamento remoto tem sido utilizado a fim de monitorar os aspectos relacionados aos processos de degradação da terra, como por exemplo, identificar e caracterizar as dunas de areias e seu comportamento ao longo do tempo (CHEN *et al.*, 1998); estudos de séries multitemporais e o emprego de operações aritméticas envolvendo bandas para realçar a resposta espectral da vegetação e do solo (SELLERS, 1989); monitoramento da degradação do solo associado a criação de

gado (PICKUP; CHEWINGS, 1994).

O uso do infravermelho termal constituiu-se de uma faixa do espectro eletromagnético que apresenta pouca atenuação por parte dos efeitos da atmosfera, o que torna este tipo de radiação importante para identificação de minerais associados aos processos de arenização, como por exemplo, o quartzo, o fato de ser um mineral hidrotermal, faz com que ocorram mudanças em sua estrutura molecular de acordo com a variação da temperatura. Trabalhos desenvolvidos com o uso do sensor ASTER para mapeamento de áreas degradadas no sudoeste do rio grande do sul permitiu a reprodução de importantes feições espectrais relacionadas ao quartzo, indicando a capacidade dos do ASTER/TIRS na identificação e determinação dos níveis de quartzo com outros argilominerais e mapeamento das áreas acometidas pelos processos de arenização (VICENTE; FILHO, 2010).

Diversos autores atestaram a viabilidade e o potencial do uso de imagens de satélites, como por exemplo, o Landsat TM para analisar os processos de desertificação por meio de cálculos de índices relacionados ao porte da vegetação e às mudanças na textura do solo, Com os recursos oferecidos pelo Landsat TM e as ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas permitiu-se analisar impactos ambientais ocasionados pela desertificação, bem como os diferentes níveis da degradação na região de Rajasthan - Índia (GHOSH, 1993).

Mudanças nas propriedades dos solos em função do avanço da desertificação foram verificadas por meio da variação na estrutura física em solos da Mongólia através de estudos de Xiao *et al.* (2006); Modelos de monitoramento da desertificação em função das variações de NDVI e Albedo, construídos a partir de imagens de satélite Quick Bird mostraram-se eficientes e correlacionados (0,7707) com uma precisão de 84 % na região de Gaotai, China (MA *et al.*, 2011).

Dados referente a cobertura vegetal, eficiência do uso da chuva, escoamento superficial e erosão do solo foram trabalhados com ferramentas de SIGs para construção de um sistema de monitoramento da desertificação na região da África subsaariana, estes indicadores foram calculados para o ano de 1996, em seguida combinados para identificação de áreas susceptíveis a degradação, permitindo um monitoramento em tempo real do comportamento da degradação do solo (SYMEONAKIS; DRAKE, 2004).

Na região nordeste um dos trabalhos pioneiros sobre o estudo do avanço da desertificação baseado em imagens de satélites foi realizado por Vasconcelos Sobrinho

(1983), com base em imagens do LANDSAT MSS de 1976 e 1978 com o mapeamento de oito núcleos de desertificação na região semiárida de Pernambuco. Com o passar dos anos outros autores difundiram mais ainda esta ferramenta para monitoramento das condições de degradação do solo como, por exemplo, delimitação de áreas vulneráveis aos processos de desertificação no estado do Ceará utilizando imagens do Landsat 5 TM, concluindo que o estado do Ceará apresentava 10,2 % de sua área susceptível a desertificação apontando as cidades de Irauçuba, regiões de Inhamuns/Sertões de Crateús e Médio Jaguaribe como as mais afetadas (SOARES *et al.*, 1992).

A importância do sensoriamento remoto em estudos de desertificação é evidenciada pelo fato do uso do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) como um dos principais indicadores recomendados pela Organização das Nações Unidas (ONU) para monitoramento da desertificação (ACCIOLY *et al.*, 2002).

O sensoriamento remoto constitui um instrumento importante para o imageamento de toda a superfície do planeta em um curto espaço de tempo, de maneira sistemática e periódica, integrado com ferramentas de SIG possuem grande relevância em estudos relacionados aos mais variados temas, possibilitando a criação de bancos de dados que complementam as interpretações e aplicações nos mais variados ramos de conhecimento (LO; YEUNG, 2008).

2.3.1 Comportamento espectral da vegetação

A folha desempenha um papel muito importante para a manutenção da vida da planta, pois é nela em que ocorrem todos os processos das reações fotoquímicas, usados para síntese de compostos inorgânicos e para as reações vitais como os processos metabólitos que englobam a respiração e transpiração. Após a radiação incidir diretamente sobre as folhas ela pode ser absorvida, refletida e transmitida, o que irá determinar a ocorrência destes fenômenos será faixa do espectro eletromagnético que teve interação com os componentes das folhas. A faixa do espectro que mais interage com a vegetação compreende a região do visível e infravermelho próximo (MOREIRA, 2012).

A região do visível compreende a faixa espectral de 400 nm a 700 nm ela apresenta elevada interação com os pigmentos fotosintetizantes representados pelas clorofilas e outros compostos como carotenoides, xantofilas e antocianinas, pigmentos localizados no mesófilo foliar. Alterações nesta faixa do espectro eletromagnético estão

associados ao teor de pigmentos presente nas folhas (KUMAR, 1972; MOREIRA, 2012; CIBULA *et al.*, 1992).

Na estrutura do mesófilo foliar ocorre um grande espalhamento da energia eletromagnética devido à interação da radiação com as paredes celulares hidratadas, criando múltiplas reflexões e refrações ocasionando maior absorção de radiação pelos pigmentos. Os diferentes tipos de pigmentos originam feições de absorções mais acentuadas nos comprimentos de onda de 480 nm e 680 nm (KNIPLING, 1970).

A presença de diferentes pigmentos em folhas de *Coleus* sobre a reflectância medida em intervalo espectral de 400 nm a 900 nm mostrou que folhas sem pigmentação apresentou níveis de reflectância elevados com comprimento de onda de 500 a 900 nm. As folhas compostas por pigmentos avermelhados (antocianina) tiveram baixa reflectância na região do azul e do verde em contrapartida elevado aumento na região do vermelho. Em folhas compostas por pigmentos de clorofila em conjunto com antocianina a reflectância foi baixa em toda faixa do visível devido a absorção diferenciada destes pigmentos (HOFFER; JOHANNSEN, 1969).

Na região do infravermelho próximo (720 nm – 1100 nm) as propriedades ópticas das folhas estão relacionadas com as estruturas celulares internas, determinando o comportamento da radiação eletromagnética. Nesta região espectral a absorção é muito baixa em torno de 15 % e a reflectância pode chegar até 50 % (TUCKER; GARRAT, 1977). Plantas em fase de senescência indicaram pequena reflectância nesta região em razão da compactação do mesófilo (KNIPLING, 1970; FERNANDEZ, 1994).

Na região do mesófilo foliar a descontinuidade entre os índices de refração do ar e das paredes celulósicas hidratadas provoca múltiplas reflexões e refrações da radiação eletromagnética, nesta região a reflexão interna da folha é bastante acentuada devido a presença de moléculas de água que preenche as cavidades de ar formando um líquido no interior da folha, criando uma diferença no índice de refração do ar e da parede hidratada na folha, aumentando a transmitância desta (KNIPLING, 1970; HOFFER, 1978; GUYOT *et al.*, 1989).

Na região do infravermelho médio (1300 nm – 3000 nm) ocorre uma redução da energia refletida devido à quantidade de água líquida presente na folha, havendo importantes picos de absorção da água em 1.400 nm, 1.900 nm e 2.500 nm (KNIPLING, 1970).

Diversos fatores têm influenciado a energia refletida pelas folhas como

conteúdo de água, idade da folha, geometria de iluminação, pubescência e senescência. Estes fatores estão distribuídos em morfológicos e fisiológicos, sendo que os morfológicos referem-se a organização espacial dos elementos participantes na captação da luz como densidade de cobertura vegetal, distribuição horizontal e vertical das folhas, ângulo de inserção foliar e os fisiológicos são aqueles ligados a sua funcionalidade: idade da planta, teor de água e nutrientes (BERNARDES, 1987).

Muitos estudos foram desenvolvidos com o objetivo de averiguar o estresse vegetal e sua influência nas propriedades espectrais das plantas. Experimentos com centeio e aveia em condições de excesso e deficiência de água tiveram suas respostas espectrais analisadas por espectrorradiômetro, indicando que a reflectância e o conteúdo de água estavam muito correlacionados em plantas estressadas (CIBULA *et al.*, 1992; DANSON *et al.*, 1992). A reflectância espectral de folhas destacadas até a senescência mostrou aumento desta em todos os comprimentos de onda (BUNNIK *et al.*, 1978).

De maneira geral os mecanismos que influenciam a quantidade de energia eletromagnética refletida pelas folhas são: a presença de pigmentos, espaços ocupados por água e ar, e as organelas celulares que apresentam dimensões semelhantes com a radiação incidente (grãos de amido, mitocôndrias, ribossomos e outros plastídios) (GATES *et al.*, 1965).

Durante o período de senescência a vegetação perde a clorofila presente nas folhas e isso repercute no seu comportamento espectral, por isso o tópico seguinte abordará a variação da vegetação durante a senescência, isso será importante para identificação de resíduos presentes no solo.

2.3.2 Comportamento espectral de resíduos no solo

A cobertura de resíduos é importante para fins de conservação do solo, pois os resíduos deixados pelas culturas servem de controle para os balanços de energia na superfície, proteção contra os processos erosivos, ciclagem de nutrientes e outros atributos do solo que variam em função da cobertura de resíduos no solo. Os métodos de sensoriamento remoto são importantes para mensurar a cobertura do solo, pois permitem uma avaliação rápida da decomposição dos resíduos ao longo do tempo através do seu comportamento espectral (DAUGHTRY, 2001).

A fase de senescência de uma folha pode ser determinada a partir do conteúdo

dos elementos químicos foliares, visto que, o teor químico foliar nos fornece informações essenciais a respeito da produtividade da planta (clorofila), fases de decomposição dos resíduos provenientes das plantas (teor de lignina) e a disponibilidade de nutrientes oferecidos pelos restos de plantas que recobrem o solo (CURRAN, 1989).

A resposta espectral dos resíduos proveniente de plantas superiores está relacionada às feições de absorção de seus constituintes mais expressivos durante sua decomposição, especialmente a celulose, hemicelulose e lignina e outros componentes estruturais como açúcares, isso foi provado por meio de experimentos realizados em resíduos de culturas que identificaram picos de absorção de 2100 nm associados à presença de açúcares, amido e celulose (MURRAY; WILLIAMS, 1988).

Mudanças na reflectância espectral da palha de trigo durante suas fases de decomposição foram estudadas usando técnicas de sensoriamento remoto, onde constatou-se que quantidades significativas de celulose e hemicelulose reduziram a medida que a decomposição aumentava seguido pela elevação do teor de lignina. Estes componentes estruturais apresentaram reflectâncias próximas de 1.710 nm, 2.100 nm e 2.350 que são feições de absorções de hemicelulose, celulose e lignina respectivamente (DAUGHTRY *et al.*, 2009).

Medidas realizadas com o uso de espectroradiômetro de intervalo espectral de (400 nm – 2500 nm) em diferentes tipos de solos e palhas de milho e soja, verificaram picos de absorção associado à lignina e a celulose no comprimento de onda de 2100 nm em espectros de palha seca, estes resultados corroboram com Murray e Williams (1988).

Estes estudos realizados em resíduos oriundos de milho e soja mostraram que palhas de plantas podem ser distinguidas dos solos por meio de feições de absorção da lignocelulose na região do infravermelho. Com base na resposta espectral da palha seca criou-se o Índice de Absorção de Celulose proposto por Daughtry (2001) e Nagler *et al.* (2000).

Cellulose Absorption Index (CAI) ou Índice de Absorção de Celulose foi criado por Daughtry, (2001) para identificar a presença de resíduos de cultura sobre o solo e permitir a distinção entre comportamento espectral de resíduos de cultura e o solo. Este índice foi criado com base na resposta espectral de folhas secas e úmidas de culturas como soja e milho, onde se observou picos de absorção em 2.100 nm relacionado com a absorção máxima de celulose e lignina.

Apesar de ter sido considerado como o melhor índice para discriminar a palha

contida nos solos, o CAI é afetado com a idade das palhas, umidade e o grau de decomposição, estes fatores alteram significativamente a reflectância espectral dos resíduos das culturas. A reflectância espectral de resíduos da cultura do milho, soja, trigo e de alguns solos em diferentes teores de umidade, usando espectrorradiômetro de laboratório mostrou que os espectros de resíduos de cultura seca apresentaram clara absorção próxima a (2.100 nm) associados a componentes de lignina e celulose, este comportamento não foi presente nos espectro de solos sem cobertura, também foi verificado que CAI apresentou correlação negativa com o teor de água contida na palhada, pois a umidade altera o padrão de resposta espectral dos resíduos em decorrência de seus picos de absorção, no entanto, mesmo sendo afetado pelo teor de água o índice mostrou-se eficiente na distinção de resíduos de colheitas (DAUGHTRY, 2001).

Existem na literatura diversos índices para estudos de resíduos de culturas no solo como, por exemplo, Índice de Absorção de Lignina – Celulose (LCA) que emprega as bandas 5, 6 E 8 do sensor ASTER – *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* - (DAUGHTRY, 2005); Índice de lavoura por Diferença Normalizada (NDTI) que coleta dados das bandas 5 e 7 do sensor Thematic Mapper do Landsat (DEVENTER *et al.*, 1997); Índice de Senescência Vegetal por Diferença Normalizada (NDSVI) (QI *et al.*, 2002); Índice de Resíduo por Diferença Vegetal (SINDRI) que coleta dados provenientes das bandas 6 e 7 do sensor ASTER (SERBIN *et al.*, 2009).

O CAI e LCA apresentaram grande eficiência na identificação de celulose, hemicelulose e lignina em estudos de caracterização espectral de folhas úmidas e secas de cana de açúcar, sendo que o CAI foi o mais eficiente na distinção entre solos e resíduos, seguidos pelo LCA (SILVA, 2012).

Os métodos baseados em técnicas de sensoriamento remoto para determinação na cobertura de resíduos de cultura tem se mostrado eficientes e promissores, pois permitem a distinção entre o solo e resíduo vegetal com base na resposta espectral de componentes estruturais como celulose, hemicelulose e lignina, entretanto é importante fazer uso de sensores hiperespectrais que apresentam pequenos intervalos de comprimentos de onda (10 nm – 40 nm), pois estes apresentaram forte correlação com as alterações nas coberturas residuais, enquanto que sensores que empregavam bandas multiespectrais geram dados inconsistentes devido ao seu maior intervalos de comprimento de ondas (DAUGHTRY *et al.*, 2010).

O próximo tópico abordará os principais fatores que afetam o comportamento espectral dos solos, como matéria orgânica, teor de umidade, o tipo de textura, estes fatores afetam o processo de interação da radiação eletromagnética com as estruturas internas dos componentes, produzindo diferentes curvas espectrais que possam identificar os mais diversos materiais contido no solo e predizer vários atributos.

2.3.3 Comportamento espectral de solos

Com o avanço dos métodos de espectroscopia de reflectância difusa nos últimos anos, pode-se estudar o comportamento espectral de solos e predizer muitas propriedades importantes relacionados com o solo, como por exemplo, matéria orgânica, CTC, mineralogia e quantificar estes atributos sem o emprego de produtos químicos, isso se torna possível devido as diferentes interações que estes componentes apresentam com a incidência da radiação eletromagnética (TERRA; DEMATTÊ; ROSSEL, 2015).

O comportamento espectral do solo é resultado da combinação de diferentes minerais, presença de matéria orgânica e o teor de umidade, estes componentes causam alteração no formato da curva espectral, devido às diferenças nos padrões de absorção e refletividade destes componentes em decorrência da interação da radiação eletromagnética com as estruturas moleculares, ocasionando mudanças nos níveis orbitais dos elementos constituintes (DEMATTÊ, 2003).

O tipo de granulometria presente nos solos confere padrões de reflectâncias diferentes, de maneira geral, solos arenosos, que são constituídos essencialmente de quartzo, tem suas curvas espectrais com maiores valores de reflectância, apresentando aspecto ascendente em 1.700 nm, este comportamento é explicado pela elevada refletividade do mineral primário quartzo, por outro lado solos argilosos apresenta fatores de reflectância mais acentuada quando comparado com os arenosos (DEMATTÊ; TERRA; QUARTAROLI, 2012).

A umidade é um fator importante para estudos da reflectância dos solos, pois, a mesma apresentam seus valores reduzidos na região do visível do espectro, devido as mudanças na coloração do solo decorrente da presença de água que o escurece, acarretando alterações nos padrões de reflectância e absorção, isso afeta as mudanças no fluxo de energia da superfície, já que, solos escuros absorve mais radiação e reflete menos radiação eletromagnética (KOJIMA, 1958).

A presença de matéria orgânica no solo acarreta baixos valores de reflectância, pois, os constituintes orgânicos como os ácidos fúlvicos e húmicos recobrem a superfície dos minerais, absorvendo mais energia devido a coloração escura e diminuindo a sua reflectância, o tipo e a constituição dos óxidos presentes também influenciam no comportamento espectral dos solos, produzindo curvas espectrais com maiores valores de reflectância ou menores (OBUKHOV; ORLOV, 1964).

De uma forma geral o comportamento espectral de solos é influenciado pelas características físico - químicas de seus constituintes, que produzirá variações na geometria de suas curvas espectrais, resultantes da interação de uma determinada faixa do espectro eletromagnético com um atributo específico, isso é importante devido o fato destas feições de absorção poderem ser identificadas e a partir disso predizer diversas propriedades dos solos fazendo uso da técnica de espectroscopia de reflectância difusa, que dispensa o emprego de produtos químicos (MADEIRA NETO, 1996; DEMATTÊ *et al.*, 2004).

2.4 Normalized difference vegetation index – NDVI

Vários índices de vegetação tem sido propostos na literatura, com o objetivo de mensurar as propriedades espectrais referentes a vegetação, por meio de operações envolvendo as bandas do visível (400 nm – 720 nm) e infravermelho próximo (720 nm – 1100 nm), estas duas bandas são extremamente importantes na resposta de reflectância da vegetação pois quanto maior a densidade de cobertura vegetal maior será a absorção na região do visível devido os pigmentos fotossintetizantes no mesófilo das folhas, em contrapartida na região do infravermelho próximo verifica-se maior reflectância devido ao retroespalhamento da radiação eletromagnética nas estruturas foliares das plantas (PONZONI *et al.*, 2012).

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) foi criado por Rouse *et al.* (1974) trata-se de um Índice de Vegetação da Diferença Normalizada calculado pela diferença das refletividades entre as bandas do vermelho (636 nm – 673 nm) e do infravermelho próximo (851 nm – 879 nm) dividido pela soma das mesmas. A interpretação do NDVI fornece a ideia de vigor e caracterização da vegetação, daí sua grande utilidade em estudos do comportamento espectral de dosséis vegetais ao longo do tempo (HERRMANN *et al.*, 2005; MACHADO *et al.*, 2011; MELO *et al.*, 2011;

BECERRIL – PIÑA *et al.*, 2015).

O cálculo do NDVI é uma operação aritmética relativamente simples que emprega as bandas do vermelho (636 nm – 673 nm) e do infravermelho próximo (851 nm – 879 nm), estas bandas apresentam elevada correlação entre si e realçam muito bem a vegetação. O emprego deste índice permite um melhor contraste entre o solo e a vegetação bem como a compensação dos efeitos de iluminação, declividade da superfície e geometria de visada do sensor (AMARAL, 1992; KAZMIERCZAK, 1996).

O NDVI apresenta valores que variam no intervalo de -1 a +1, quanto mais próximo de 1 maior a densidade de cobertura vegetal. Em alvos terrestres o seu limite inferior é de aproximadamente zero (0), e o limite superior é de aproximadamente 0,80. Rochas ou solos sem cobertura vegetal apresentam valores próximos de zero sendo que corpos de água e presença de nuvens apresentam valores negativos (HOLBEN, 1986; JUSTICE *et al.*, 1985; ROUSE *et al.*, 1974).

O NDVI é uma ferramenta primordial para monitoramento da vegetação, pois permite a construção de perfis sazonais e temporais, possibilitando comparações do comportamento da vegetação em diferentes períodos, como também atividades fisiológicas, período de crescimento, níveis de clorofila e fases de senescência da vegetação em estudo (PONZONI *et al.*, 2012).

A vegetação é considerada um item extremamente importante nos estudos de avaliação de degradação do solo, pois a mesma amortece o impacto das gotas de chuvas sobre o solo diminuindo a velocidade da água e proporcionando mais tempo para sua infiltração, com a remoção da cobertura vegetal, o solo exposto fica mais vulnerável a ação do vento, pois sem a presença da vegetação que funciona como um quebra vento existe uma perda considerável das partículas mais finas do solo para outros lugares, a erosão hídrica também é mais intensa em solos sem cobertura vegetal, pois com a retirada da vegetação haverá menor infiltração de água no solo e maior escoamento superficial, carreando sedimentos e causando a remoção líquida de nutrientes, levando ao empobrecimento do solo (GUTIÉRREZ; SQUEO, 2004).

A desertificação está extremamente relacionada com a redução da cobertura vegetal, por isso o NDVI constitui um importante indicador de ocorrência do problema. Valores de NDVI usando o satélite Landsat TM/ETM + foram encontrados em áreas da Mongólia que apresentam diferentes níveis de desertificação, os valores de NDVI encontrados foram: NDVI entre (0,75-0,50) em áreas não desertificadas; (0,50-0,40) para

áreas de baixo nível de desertificação; (0,40-0,25) para estado médio de desertificação; (0,25-0,15) em alto nível de desertificação e (0,15-0,00) em áreas de severa desertificação. Os diferentes níveis de desertificação eram identificados por variações nos valores do índice, pois com o aumento do NDVI verificava-se a atenuação da desertificação, em contrapartida com a redução do NDVI indicava áreas com nível de desertificação mais preocupante (LAMCHIN *et al.*, 2016).

No núcleo de desertificação de Irauçuba verificou-se o comportamento da vegetação a partir da análise dos valores de NDVI usando o sensor TM Landsat 5 para os anos de 2004 e 2006. Os valores de NDVI encontrados foram: -1 a -0,10 para corpos de Águas; -1,10 a 0,05 para Nuvens; 0,05 a 0,30 para áreas propensas a desertificação; 0,30 a 0,50 para transição de desertificação e vegetação esparsa; e de 0,50 a 1 indicando presença de vegetação fotossinteticamente ativa. (LANDIM *et al.*, 2011).

Dada a importância do NDVI para estudos de desertificação o mesmo apresenta elevada correlação com a precipitação pluviométrica, constituindo uma problemática em estudos da vegetação do bioma caatinga, pois apesar da fragilidade, a mesma apresenta elevada capacidade de resiliência verificada pela formação de biomassa imediata em resposta a ocorrência de precipitação (BARBOSA *et al.*, 2006).

A utilização do NDVI em estudos de mapeamento da cobertura do solo, bem como na exploração em projetos de investigação relacionados ao monitoramento global da vegetação tornou-se algo imperativo. Estes estudos apresentam extrema importância na região nordeste do Brasil, pois a cobertura vegetal é afetada pela exploração dos recursos naturais, principalmente por meio do extrativismo e do superpastejo de áreas nativas seguida da exploração agrícola sem qualquer tipo de preocupação conservacionista (BARBOSA *et al.*, 2006).

2.5 Topsoil grain size index – TGSI

A textura é uma característica afetada pela remoção da cobertura vegetal, deixando o solo exposto a ação dos processos erosivos causados pelo vento e pela água, alterando a distribuição dos tamanhos de partículas presentes na superfície do solo e aumentando a vulnerabilidade a desertificação. Portanto esta característica pode ser mensurável usando o índice TGSI.

Topsoil Grain Size Index (TGSI) ou Índice de Tamanho de Partículas da

Superfície do solo foi criado por Xiao *et al.* (2006) para funcionar como um índice numérico que demonstra a magnitude do tamanho das partículas presentes na superfície do solo em áreas com pouca cobertura vegetal e fornece informações importantes sobre propriedades físicas do solo que são afetadas por variações da textura.

Este índice compreende intervalos de números negativos a valores positivos, sendo que números negativos ou valores tendendo a zero indicam presença de água ou vegetação, enquanto números positivos indicam a presença da fração areia em relação ao silte e argila, esse padrão de distribuição granulométrica é compatível com condições de deserto (XIAO *et al.*, 2006).

Em sua forma mais simples o TGSI é um índice de razão que emprega no numerador as diferenças de reflectâncias entre as bandas do vermelho e do azul para dar maior realce entre a vegetação e água, enquanto que no denominador as somas das reflectâncias das bandas vermelho, azul e verde servem para identificar a fração areia presente na superfície do solo (XIÃO *et al.*, 2006).

Sendo mais indicado para monitoramento da desertificação quando comparado com o NDVI, o TGSI está relacionado diretamente com a textura do solo não sendo afetado pela precipitação ou fenologia da vegetação (LAMCHIM *et al.*, 2016).

A textura é uma importante propriedade do solo, ela é determinada pelas proporções das frações de areia, silte e argila. A areia está intimamente relacionada com a qualidade do solo, pois solos arenosos mostram-se mais vulneráveis a seca do que solos argilosos, devido a sua menor capacidade de retenção de água, pouca quantidade de nutrientes e de matéria orgânica, por isso, em virtude destas características a areia pode ser considerada como um elemento da textura importante para monitoramento dos processos de erosão e avanços da desertificação (ANDRADE *et al.*, 2013; KOSMAS *et al.*, 2006; MILLER, 2004; RAY, 2001; GONÇALVES; CARLYLE, 1994).

Através de imagens de satélite Landsat TM/ETM + empregou-se o TGSI para áreas sob diferentes níveis de desertificação em regiões áridas da Mongólia. O TGSI indicou que áreas não desertificadas apresentaram valores variando de -0,50 a -0,30; -0,30 a -0,20 para desertificação baixa; -0,20 a -0,10 em áreas medianamente desertificadas; -0,10 a 0,00 para áreas altamente desertificadas e 0,00 a 0,20 para áreas com severo estado de desertificação (LAMCHIN *et al.*, 2016).

Em áreas sem desertificação, os valores de NDVI foram altos indicando densas coberturas vegetais, seguidos de valores de TGSI baixos. Este comportamento é

explicado pelo fato da cobertura vegetal proteger o solo da erosão eólica e hídrica, reduzindo o transporte de partículas mais finas como silte e argila, que são mais vulneráveis a ação do vento e da água (LAMCHIN *et al.*, 2016).

Observando em ordem de nível mais baixo da desertificação (Alto NDVI) até o nível de severa desertificação (baixo NDVI), verificou-se que à medida que o NDVI reduzia o TGSi aumentava tendendo a seu valor máximo de 0,20, indicando acúmulo de areia fina, textura predominante de desertos. A forte ação dos processos erosivos causados pelo vento e pela água em solos com pouca cobertura vegetal (baixo NDVI) transportou a fração fina, deixando apenas a fração mais grosseira do solo verificados por altos valores de TGSi (LAMCHIN *et al.*, 2016).

XIAO *et al.* (2006) verificou correlação positiva do TGSi ($R=0,7387$) com o conteúdo de areia fina da camada superficial do solo e negativa com a argila e silte presente na superfície do solo, visto que a reflectância diminui com o aumento da quantidade de argila e silte, em contrapartida observou-se o aumento da reflectância com o aumento da quantidade de partículas de areia presente na superfície do solo, em função da mistura de diferentes tipos de tamanhos de partículas e devido às fortes condições de erosão provocada pelo vento e água que reduziu a quantidade de material fino na superfície do solo.

Em geral, o TGSi é um índice prático que relaciona propriedades físicas com a textura, composição e tamanho das partículas presentes na superfície do solo. Este mostrou-se eficaz para identificação do nível de desertificação nas áreas estudadas, baseando-se na presença da fração areia na camada superficial do solo. Desta forma, as alterações nos tamanhos das partículas podem potencialmente serem utilizadas para monitoramento da desertificação (XIAO *et al.*, 2006).

2.6 Albedo

A ausência da cobertura vegetal deixa o solo propenso à erosão hídrica e eólica, alterando o tipo de material presente na superfície do solo e modificando os balanços de energia da superfície, alterando conseqüentemente os valores de albedo, que será abordado neste tópico.

O albedo é um parâmetro biofísico calculado pela razão da energia refletida pela incidente (MONTEITH; UNSWORTH, 1990). É uma medida adimensional que

pode ser expressa por valores entre 0,0 e 1,0 ou em forma de porcentagem, com valor de 0,0 referindo-se a um corpo negro, ou seja, com capacidade de absorver 100% da radiação incidente; valores de 0,1 a 0,2 indicam superfícies de coloração escura e textura áspera e valores de 0,4 a 0,5 representam solos com superfície lisa e coloração clara (DOBOS, 2003).

Para cálculo do albedo de superfície é muito comum o uso de algoritmos como o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithms for Land*) proposto por Bastiaanssen et al. (1998) e algoritmo METRIC (*Mapping Evapotranspiration at High Resolution and with Internalized Calibration*) que representa um aprimoramento do SEBAL (ALLEN et al., 2007_{a,b}).

As frequentes mudanças na cobertura vegetal causadas por diferentes tipos de manejo e uso do solo influenciam diretamente nos balanços de energia da superfície terrestre e causam alterações nas variáveis biofísicas como índices de vegetação e físicos como, por exemplo, albedo, temperatura e emissividade. Estas mudanças servem de parâmetros para monitoramento de mudanças do clima de uma região (LOARIE et al., 2010).

A cobertura vegetal possui um importante papel nos fluxos de troca de massa e calor entre as superfícies e atmosfera, sendo que remoção ou destruição da vegetação afeta a distribuição de água no solo e de energia na superfície do mesmo, afetando os valores de albedo da superfície (GRACE et al., 1981).

O aumento do albedo reflete a degradação da qualidade do solo, pois a ausência da cobertura vegetal deixa o solo propenso à erosão hídrica e eólica, alterando o tipo de material presente na superfície do solo e modificando os balanços de energia da superfície. A erosão causa a perda de partículas mais finas do solo que apresentam afinidade em absorver água e nutrientes, configurando grupos texturais que alteram os valores de albedo. Isso pode ser evidenciado pelo fato de solos argilosos apresentarem elevada capacidade de retenção de água, enquanto solos de textura arenosa apresenta baixa capacidade. Estas diferenças no teor de água do solo em decorrência da distribuição do tamanho das partículas provocam alterações nos padrões de absorção e reflectância e conseqüentemente nos valores de albedo. Observa-se que de maneira geral maiores valores de albedo estão associados a solo exposto e a diminuição é devido ao aumento da umidade do solo seguido pelo aumento da densidade vegetal (ROBINOVE et al., 1981; DOBOS, 2003).

ROBINOVE *et al.* (1981) relatou que os menores valores de albedos (solos escuros) foram encontrados em solos úmidos de áreas cobertas com vegetação densa, quando comparados com áreas escassas de vegetação. O albedo apresentou correlação negativa com a ocorrência de chuvas indicando que altas precipitações e densas coberturas vegetais mantêm maior teor de água no solo causando a redução dos valores de albedo.

A redução da cobertura vegetal provoca aumento dos valores de albedo que afetam as condições de balanço de radiação na superfície causando alterações em outras propriedades físicas do solo como, por exemplo, a temperatura, redução da precipitação local e mudanças na umidade do solo. Estes fatores resultam na intensificação dos processos de desertificação, por isso a vegetação mostra-se um fator primordial para estudos de desertificação, pois a perda da vegetação deixa o solo mais susceptível a este tipo de degradação. Uma vez instalada, a desertificação impede a regeneração da vegetação (MÁ *et al.*, 2011).

Através do uso de imagens de satélite Landsat TM/ETM + LAMCHIN *et al.* (2016) empregou o albedo de superfície para áreas em diferentes níveis de desertificação nas regiões áridas da Mongólia. Foram encontrados valores de 0,00 a 0,10 para áreas não desertificadas; 0,10 a 0,20 em áreas de baixo nível de desertificação; 0,20 a 0,30 para áreas medianamente desertificadas; 0,30 a 0,40 para locais com nível de desertificação alto e 0,40 a 0,55 para locais com severo nível de desertificação.

Em experimento realizado no núcleo de desertificação de Irauçuba usando imagens de satélite Landsat TM referente aos anos de 1985, 1991 e 2006, foram encontrados valores de albedo entre 0,05 e 0,12 associados a maiores valores de NDVI, enquanto que valores de NDVI menores do que 0,20 estavam associados a áreas de solo exposto com valores de albedo entre 0,15 a 0,20 e 0,25 a 0,57, albedo típico de áreas desérticas, verificado pela redução da cobertura vegetal e maior exposição do solo a radiação solar (SANTOS *et al.*, 2014).

LAMCHIN *et al.* (2016) verificou correlação negativa entre o albedo e o NDVI, durante análises temporais referentes aos anos de 1990, 2002 e 2011 em áreas da Mongólia com diferentes níveis de desertificação, indicando que o albedo foi influenciado pela cobertura vegetal, pois mostrou-se sensível as mudanças no grau de desertificação, a medida que os valores de NDVI aumentavam os valores de albedo diminuían. Essa relação inversa de ocorrem devido a taxa de radiação que é absorvida pela vegetação para

ser utilizada pelos processos de respiração e transpiração, dessa forma, a radiação solar refletida para a atmosfera é baixa. Quando a vegetação é removida o solo fica exposto a maior incidência de radiação solar proporcionando menor absorção da energia.

O tipo e a condição da vegetação, a umidade do solo, teor de matéria orgânica, tamanho das partículas, composição mineralógica do solo e mudanças no ângulo do sol são parâmetros que alteram os valores de albedo. Em geral, quanto menor o ângulo do sol menor será o albedo, efeitos da atmosfera, características da superfície do solo e rugosidade, intervalo espectral da banda do sensor e a geometria relacionada à posição do sol e do satélite em relação ao terreno, dificultam a estimativa correta da reflectância da superfície terrestre (DUANYANG *et al.*, 2009; BREST; GOWARD, 1987; PROXY *et al.*, 1989).

O albedo é importante para gerar o saldo de radiação em superfície, constituindo um parâmetro essencial para avaliar as mudanças de cobertura do solo e como indicador da desertificação através de estudos relacionados a cobertura vegetal que determina os processos físicos de balanço de energia do solo. O estudo das mudanças de albedo com sensores orbitais permite a identificação do problema de desertificação em grandes áreas territoriais (GIONGO; VETTORRAZZI, 2014).

2.7 Análise de linha de solo

A linha de solo é a relação linear baseada nas razões de reflectância das bandas do vermelho (630 nm – 690 nm) e do infravermelho próximo (760 nm – 900 nm) representada em um gráfico bidimensional contendo a distribuição dos pixels associados à vegetação verde, vegetação senescente e solo exposto, é um parâmetro amplamente utilizado em sensoriamento remoto orbital para identificação de áreas com solo exposto, áreas com vegetação fotossinteticamente ativa e áreas cobertas por resíduos provenientes da vegetação. Estes alvos serão identificados a partir do deslocamento dos pontos em relação à linha de solo (BARET *et al.*, 1993).

Desvios positivos em relação à linha de solo exposto representam contribuição da vegetação verde, ou diferenças em seus estados de rugosidade, umidade e resíduos deixados pelas culturas bem como o tipo de solo. Quanto maior a quantidade de vegetação fotossinteticamente ativa, maior será sua reflectância no infravermelho próximo e menor no vermelho, isso provoca as mudanças perpendiculares dos pixels para

distante da linha de solo (JENSEN, 2014; YOSHIOKA *et al.*, 2009).

Os pigmentos fotossintetizantes apresentam diferentes respostas de interação com a radiação eletromagnética, por exemplo a clorofila é responsável por apresentarem picos de absorção em 540 nm – 560 nm, 630 nm – 690 nm, 700 nm – 730 nm, sua presença na folha reflete em boa atividade fotossintética. Outros componentes podem estar presentes como os carotenoides e as antocianinas com picos de absorção em 510 nm – 520 nm, 540 nm – 560 nm, as presenças destes elementos podem indicar baixa atividade fotossintética em decorrência de escassez hídrica e stress ambiental (FERET *et al.*, 2008).

A relação linear entre as reflectâncias do vermelho (B3) e do infravermelho próximo (B4) torna-se útil para medidas de reflectâncias em áreas de solos expostos, com o uso destes recursos pode - se inferir diversos parâmetros de solos como óxidos de ferro, umidade, rugosidade e tipo de solo presente na cena estudada, pois este constitui a principal fonte de variação da linha de solo (GILABERT *et al.*, 2002).

A linha de solo é importante em estudos de desertificação, uma vez que, o uso das bandas espectrais referentes ao vermelho e infravermelho próximo, permite identificar os pixels associados a solos expostos e a resposta da vegetação ao longo do tempo, ou a presença de resíduos de vegetação. Estes diferentes alvos serão identificados pela distância perpendicular dos pixels em direção as bandas 3 e 4 do espectro eletromagnético (NANNI; DEMATTÊ, 2006).

2.8 Transformação Tasseled Cap

Os usos das transformações espectrais são importantes para realçar os alvos presentes em uma cena, através da redução de um maior conjunto de dados em um produto final que contém toda a informação, que será importante para a interpretação das alterações ocorridas nos alvos contidos na cena. Uma destas transformações é a transformação Tasseled Cap.

A transformação Tasseled Cap (TCT) foi criado inicialmente para o sensor MSS do Landsat 4 para descrever a trajetória dos pixels de uma cena agrícola no espaço e ao longo do tempo, através de quatro componentes que potencializava a resposta espectral dos alvos, que foram a componente Brightness associado ao brilho do solo, a componente Greenness relacionado com o verdor da vegetação, a componente

Yellowness que representa a senescência da vegetação e non – such que representam corpos não agrupados. A trajetória destes pixels ao longo do tempo reproduziu um conjunto de pontos cujo gráfico tem o formato de um capuz, razão pelo qual é conhecido como transformação Tasseled Cap (KAUT; THOMAS, 1976).

Com o avanço das pesquisas foram criados os coeficientes Tasseled Cap para sensor Thematic Mapper usando as seis bandas do sensor. Essa transformação resultou em três componentes que foram a componente Greenness que é um contraste entre a soma das bandas do visível e do infravermelho próximo, relacionada com a vegetação que apresenta alta absorção no visível e elevada reflectância na região do infravermelho próximo; componente Brightness que é resultado da soma ponderada de todas as bandas, realçando as características do solo e variações da densidade da vegetação e a componente Wetness que é o contraste da soma das bandas do visível e do infravermelho próximo com as bandas do infravermelho longo, relacionado ao teor de água presente no solo e na vegetação. Estas componentes foram combinadas entre si para formação de planos como de vegetação resultado do cruzamento das componentes (*Greenness x Brightness*) e o plano de solo (*Brightness x Wetness*). Estes planos são importantes para identificação e avaliação da variação do comportamento espectral dos alvos ao longo do tempo (CRIST; CICONE, 1984).

O formato do gráfico Tasseled Cap está associado ao comportamento espectral da vegetação, sendo que a maioria dos pixels associados à vegetação estão concentrados próximo a áreas de solos expostos, devido ao maior brilho do solo e a pouca cobertura vegetal, à medida que ocorre o desenvolvimento do dossel ocorre o aumento do teor de clorofila nas plantas contribuindo para alta absorção na região do visível e alta reflectância na região do infravermelho, causando aumento nos valores do verdor (Greenness) e redução dos valores de brilho (Brightness), com o decorrer do tempo a vegetação tende a entrar em estado de senescência reduzindo o teor de clorofila das folhas e aumentando os valores na componente (Yellowness), até chegar um ponto no qual os pixels estarão coincidindo com as áreas de solo exposto, devido a total decomposição do material residual presente no solo (KAUT; THOMAS, 1976).

Os parâmetros usados para obtenção da transformação Tasseled Cap levam em consideração a estimativa de coeficientes, que são valores obtidos do processo de ortogonalização dos dados para serem multiplicados a cada banda. Estes coeficientes são específicos de cada cena e de cada sensor empregado, não sendo recomendado o uso

generalizado para outras áreas ou sensores diferentes, pelo fato de haver mudança no padrão de reflectância dos solos e mudanças nas características geográficas e climáticas da área (LIU; LIU; HUANG, 2014).

A transformação Tasseled Cap reduz o número de bandas empregadas e conseqüentemente diminui o volume de dados utilizados sem prejudicar a informação obtida, contemplando toda a informação em componentes de fácil interpretação que é extremamente útil para estudos de detecção de mudanças ambientais ao longo do tempo, como perturbação em áreas florestadas, avanço de áreas desertificadas, fenologia e ecologia da vegetação, essas mudanças são observadas por meio da variação nos valores de reflectância associados aos eixos das componentes Greenness e Brightness dos alvos (HEALEY *et al.*, 2005; LOBSER; COHEN, 2007).

Em estudos de desertificação, a transformação Tasseled Cap é essencial para evidenciar as características de superfície relacionadas com a vegetação, albedo e água, a fim de inferir sobre as mudanças mais precisas da vegetação, cobertura do solo e a umidade, através das componentes Brightness, Greenness e Wetness, permitindo a melhor separação dos pixels correspondentes às áreas degradadas ou perturbadas das não degradadas. As áreas degradadas serão identificadas pelo fato de apresentarem maiores valores de brilho e menores valores nas componentes verdor e umidade, em contrapartida as áreas não perturbadas serão evidenciadas através dos altos valores de verdor e umidade e baixos valores na componente brilho, isto será útil para maximizar a resposta das áreas impactadas pela atividade antrópica (BAIG *et al.*, 2014; HEALEY *et al.*, 2005).

2.9 Sensores termais

As propriedades granulométricas dos solos, determinada a partir das proporções relativas das frações de areia, silte e argila mostra-se como um parâmetro essencial para classificação da fragilidade do solo, pois as proporções destes componentes refletem na capacidade de retenção de água, nutrientes, drenagem e resistência a erosão eólica e hídrica (BRADY, 1989).

A ocorrência da desertificação no Brasil não está relacionada apenas ao fator climático, mas também a evolução de depósitos areníticos pouco consolidados ou arenosos, dificultando a fixação da vegetação e aumentando a facilidade de lixiviação contribuindo para a formação de solos frágeis com quantidade de argila inferior a 15 % e

alta quantidade do mineral quartzo, porém o comportamental espectral deste mineral para fins de mapeamento sempre foi um empecilho para radiação do visível e infravermelho, apresentando feições de absorção típicas apenas nas bandas do infravermelho termal (HUNT; SALISBURY, 1971; SALISBURY *et al.*, 1991).

O Landsat 8 possui o sistema imageador *Thermal Infrared Sensor (TIRS)* contendo duas bandas de infravermelho termal disponibilizadas com uma resolução espacial de 30 metros, que são compostas pela banda 10 infravermelho termal/TIRS 1 (10.600 nm – 11.119 nm) e a banda 11 infravermelho termal/TIRS 2 (11.150 nm – 12.510 nm) (COELHO; CORREA, 2013).

A radiação infravermelho termal que se estende na faixa (10.600 – 12.510) sofrem menor influência da interferência atmosférica, possui baixa relação sinal ruído devido aos maiores valores de emissividade terrestre frente aos baixos valores de radiância, por isso que este tipo de energia é muito utilizado para estudos de feições da superfície terrestre e na identificação de mineral como por exemplo o quartzo (ABRAMS *et al.*, 2002; NINOMIYA *et al.*, 2005; KAHLE *et al.*, 1993).

Os principais grupos de minerais pertencentes aos silicatos como o quartzo possuem feições de absorção na faixa de 8.200 nm – 9.300 nm, devido a sua ligação Si – O, que apresenta mínima emissividade e máxima reflectância, definida pelas ligações tetraédricas contida na estrutura cristalina do mineral (SALISBURY *et al.*, 1991).

O uso do infravermelho termal foi eficiente para discriminação de vegetação verde, vegetação em estado de senescência e solos exposto, usando a resposta de emissividade destes alvos combinado com os valores de NDVI, obtendo uma classificação em sistema ternário compreendido como solo exposto, vegetação verde e em senescência, este diferentes alvos apresentaram respostas de emissividades diferentes, como foi observado em altas emissividades de solos expostos associado com baixos valores de NDVI, solos cobertos com vegetação verde tiveram suas emissividades reduzidas e elevados valores de NDVI enquanto que solos cobertos com vegetação senescente apresentaram baixas emissividades e baixos valores de NDVI (FRENCH *et al.*, 2000).

O uso do sensoriamento remoto termal mostrou-se importante para a extração de informações úteis para o entendimento dos processos de degradação das terras, devido ao comportamento típico destes materiais no infravermelho termal, permitindo-se a identificação e quantificação do quartzo, mineral predominante em áreas atingidas pela

arenização. Locais com altas quantidades de quartzo em relação aos demais argilominerais configuram solos arenosos, com vegetação deficiente e drenagem excessiva, grande perda de nutrientes no solo e maior susceptibilidade a erosão (VICENTE; SOUZA, 2010).

3.0 Programa Landsat

Um dos satélites mais utilizados para monitoramento das alterações dos recursos naturais ao longo dos anos, devido à gratuidade das suas imagens, resolução temporal e espacial foi o programa Landsat, que será abordado nos parágrafos que se seguem.

O primeiro satélite da série Landsat se deu no início dos anos 70, como parte do programa de Levantamento de Recursos Terrestres da *National Aeronautics and Space Administratio* (NASA) agência espacial americana, este grupo de satélite constituiu como uma fonte de fornecimento de dados para uso em sensoriamento remoto, em virtude do mais longo período de fornecimento contínuo de dados e pela grande facilidade de aquisição e qualidade dos dados gerados (EPIHANIO *et al.*, 2002).

Os satélites de uma determinada série são lançados em tempos intercalados, pois cada satélite possui uma vida útil esperada. Os satélites da série Landsat tinham uma vida útil estimada em dois anos, sendo que alguns duraram mais do que isso como, por exemplo, o Landsat 5 que está fornecendo imagens para as estações em terra a mais de 15 anos. A primeira geração dos satélites Landsat possuía um tipo de sensor conhecido como MSS (Sistema de Varredura Multiespectral) sendo o principal sensor a bordo da série Landsat, o sensor RBV (Sistema Vidicon de Feixes Retornantes) que operou no Landsat 3, tinha uma boa resolução espacial em relação ao MSS, mas foi aposentado devido a sua baixa fidelidade radiométrica e pequena cobertura espectral. O Landsat 7 lançado em 15/04/1999 foi o pioneiro a trabalhar com o sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) mapeador temático avançado, sendo uma continuação do sensor TM a bordo do Landsat 4 e 5, fornece uma imagem multiespectral, com alta resolução espacial, permitindo cobertura global da superfície terrestre a cada 16 dias (EPIHANIO *et al.*, 2002).

Em 11 de fevereiro de 2013 foi lançado ao espaço o Landsat 8, este satélite apresenta várias novidades em relação aos demais, entre elas pode-se destacar o uso do

sensor OLI (*operation land imager*) que opera com nove bandas multiespectrais com resolução espacial de 30 metros, suas bandas foram trabalhadas para evitar picos de absorção causados pela atmosfera, isso pode ser verificado na banda 5 região do infravermelho próximo (851 nm – 879 nm) que apresentou uma modificação em relação ao ETM + para evitar picos de absorção de água a 825 nm, o estreitamento da banda 8 pancromática (503 nm – 676 nm) com resolução espacial de 15 metros permitiu um maior contraste entre áreas vegetadas de não vegetadas e o acréscimo de duas novas bandas: banda 1 *costeira/aerossol* (435 nm – 451 nm) usadas para observações relacionado a presença de sedimentos nos oceanos e a banda 9 *Cirrus* (1.363 nm – 1.384 nm) para estudos de nuvens finas constituídas de cristais de gelo. A resolução radiométrica de 12 bits do sensor OLI proporciona melhor desempenho radiométrico permitindo maior caracterização dos alvos da imagem através da redução do efeito das sombras (USGS, 2013).

O Landsat 8 possui sistema de imageamento do tipo varredura eletrônica com sensores *pushbroom*, permitindo o imageamento simultâneo de todos os pixels de uma linha, disponibilizando imagens gratuitas obtidas a uma resolução temporal de 16 dias, produzindo uma cena com 170 km ao norte-sul por 183 km a leste – oeste. Seus produtos/imagem são fornecidos em formato GeoTIFF (*Geographic Tagged Image File Format*) (USGS, 2013).

O Landsat 8 aumentou a sua capacidade de imageamento dos objetos contidos na superfície terrestre, através da adição de novas bandas espectrais incluído as bandas térmicas do sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), a melhoria da relação sinal/ ruído e resolução radiométrica ampliada para 12 bits e produto disponibilizado em 16 bits, maior frequência de aquisição de imagens em relação as missões anteriores, permitindo a realização de estudos relacionados a cobertura do solo em escala global e monitoramento das mudanças dos processos de superfície e padrões de usos das terras (IRONS *et al.*, 2012; ROY *et al.*, 2014; WULDER *et al.*, 2015).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

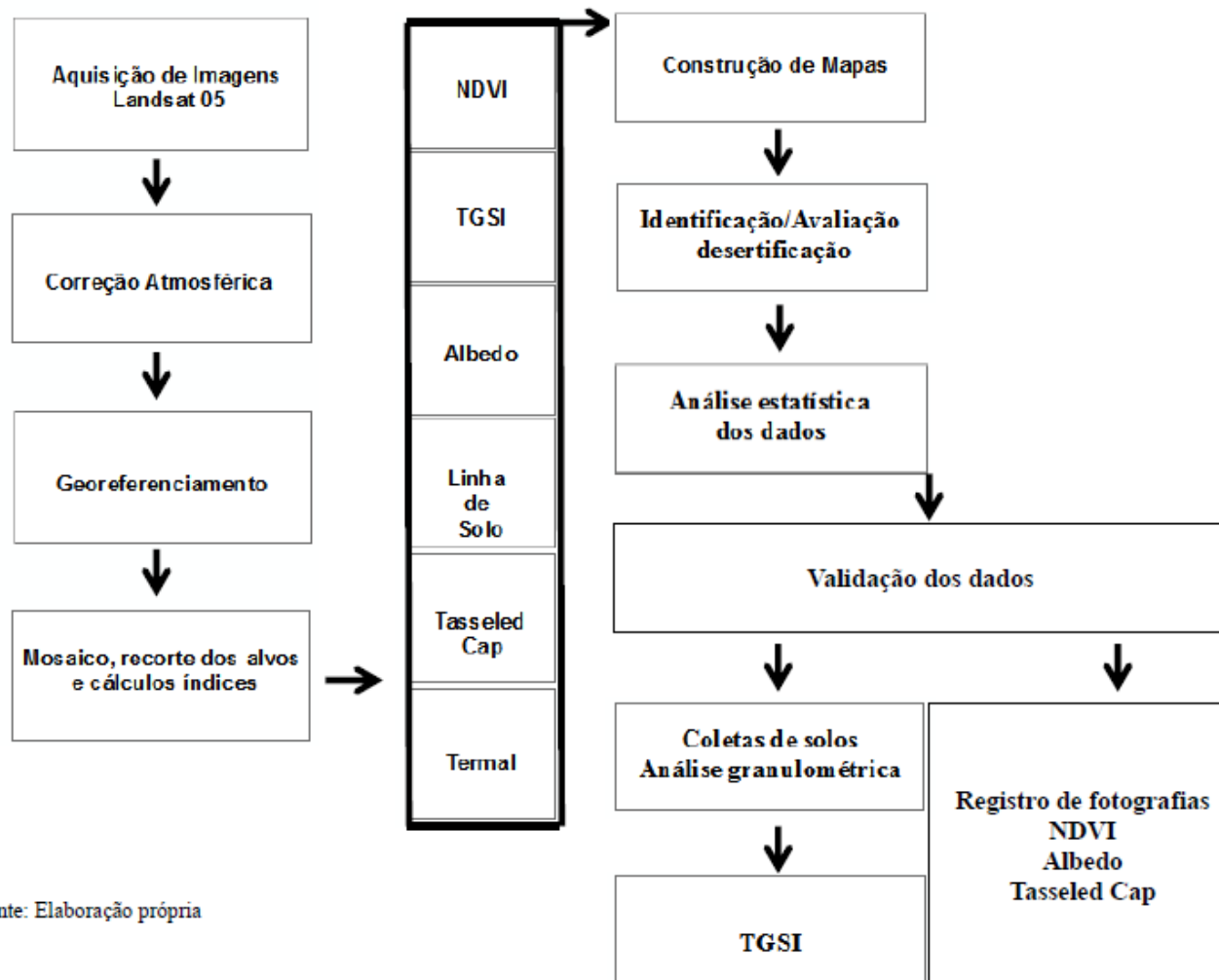
4.1 Fluxograma de trabalho

O fluxograma de trabalho é importante para entendimento da sequência dos

passos adotados no experimento. Na Figura 1 observa-se os passos do desenvolvimento da pesquisa. O primeiro passo foi a aquisição das imagens Landsat 05 da USGS, em seguida, foi feita a correção atmosférica para reduzir os efeitos da atmosfera sobre a resposta dos alvos e a correção geométrica para ajustamento da cena em relação a um alvo georeferenciado. As três cenas de órbita / ponto 217/062, 218/063 e 218/062 dos períodos final seco (FS) e final chuvoso (FC) foram mosaicadas e em seguida recortadas usando o contorno do núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte, após isso, foi feito cálculo do NDVI, TGSi, Albedo, Linha de solo, Tasseled Cap e termal, em seguida foi aplicado o recurso density slice para construção dos mapas.

Os valores obtidos de cada índice foram comparados com os valores da literatura para identificação das áreas desertificadas, após isso foram tomados 20 valores de cada índice e aplicado a estatística descritiva. A validação dos dados se deu com o uso do Landsat 08 para aquisição de imagens, em seguida foram realizadas visitas de campo para coleta de solo e registro de fotografias para verificação da cobertura vegetal.

Figura 1- Fluxograma do experimento



Fonte: Elaboração própria

4.2 Áreas de estudo

4.2.1 Núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte

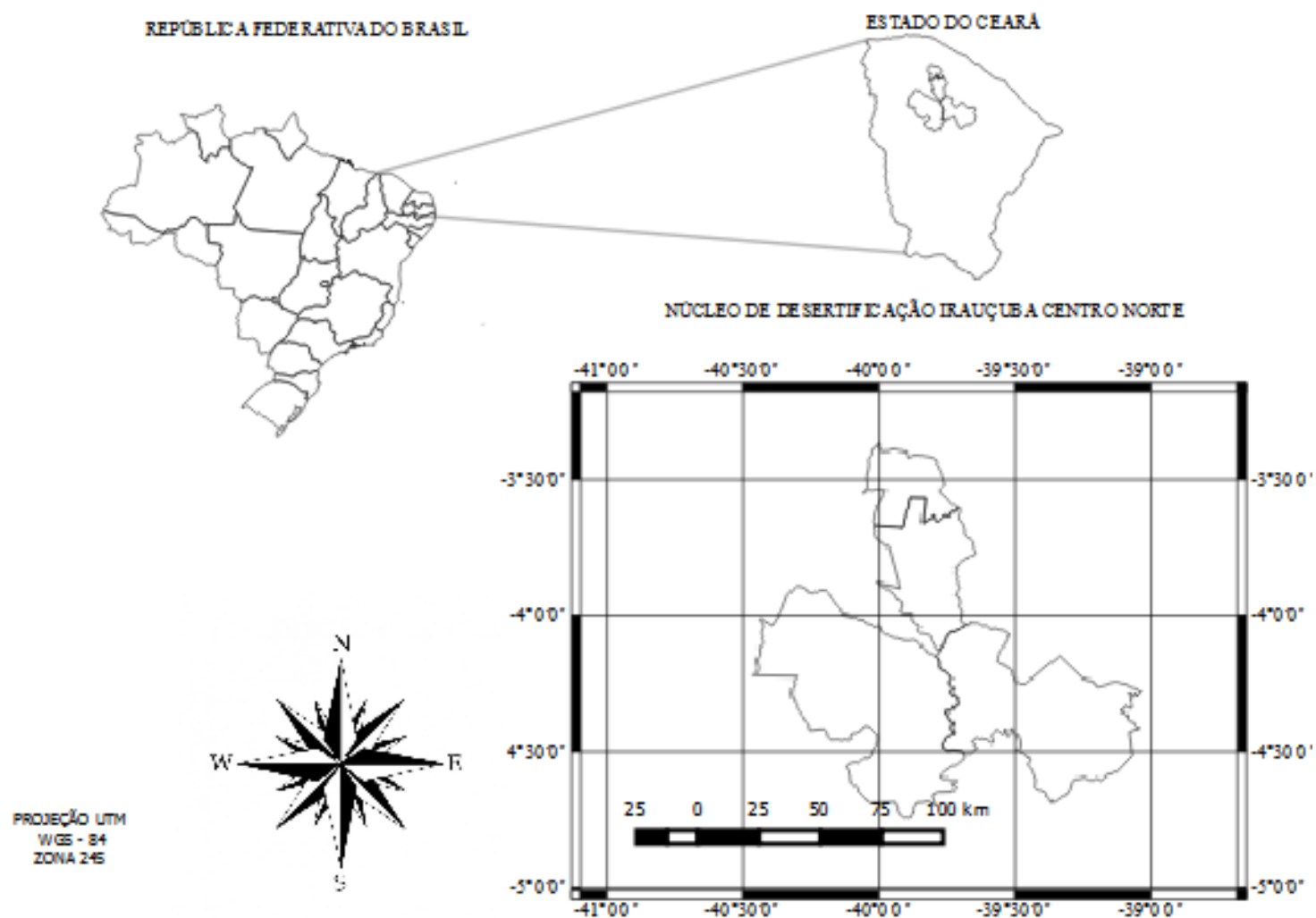
O estudo compreendeu o núcleo de desertificação Irauçuba / Centro Norte localizado na porção central do Estado do Ceará, constituído pelos municípios de Miraíma, Irauçuba, Canindé e Santa Quitéria, com extensão territorial de aproximadamente 9.579,21 Km² (Figura 2).

Apresenta vegetação caatinga do tipo savana de cobertura herbácea e de potencial forrageiro, favorecendo a atividade pecuária sobre esta região. Estima-se que cerca de 67 % da extensão territorial do núcleo é ocupado pela pecuária que emprega técnicas rudimentares de manejo dos animais, com altas taxas de lotação contribuindo para degradação destas áreas e intensificação dos processos erosivos (SOUSA *et al.*, 2012).

O relevo do núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte é caracterizado pela presença de rochas cristalinas como granitos e xistos. Este material favorece a baixa circulação de água que em condições de clima semiárido intensificam o aumento da salinidade (FILHO; SILVA, 2015).

De acordo com a classificação de Köppen o clima do núcleo é do tipo Bshw', ou seja, semiárido, com distribuição irregular da precipitação, de índices pluviométricos inferiores a 540 mm. A justificativa para pouca precipitação refere-se a posição do núcleo no sota vento da serra da Uruburetama que impede que os ventos carregados de umidade atinjam estas áreas. (FILHO; SILVA, 2015).

Figura 2 - Localização espacial do núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte



Fonte: Elaboração própria

Os solos predominantes no núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte são: ARGISSOLOS VERMELHOS AMARELOS Distróficos, LUVISSOLOS CRÔMICOS Órticos, PLANOSSOLOS HÁPLICOS Eutróficos, ARGISSOLOS VERMELHO e NEOSSOLOS FLÚVICOS Eutróficos de acordo com o mapa exploratório de reconhecimento de solo do estado do Ceará, escala de 1:600.000 (BRASIL; SUDENE; EMBRAPA,1973).

O núcleo está localizado na bacia hidrográfica do rio Curu, cujos principais rios são: Aroeira, Gabriel e Cachoeira. Na área ocorre presença de pequenos açudes e de construções temporárias de armazenamento de água para dessedentação de animais (FILHO; SILVA, 2015).

A precipitação teve influência na escolha das imagens, pois de acordo com os volumes precipitados é que se pode separar o final do período seco (FS) do final do período chuvoso (FC). Essa separação é útil para avaliar a resposta da vegetação em decorrência da precipitação frente a desertificação.

Pelo fato do NDVI ser sensível à precipitação, é importante avaliar a sua distribuição entre anos de 2000 a 2015 das cidades que constitui o núcleo de desertificação Irauçuba/Centro Norte.

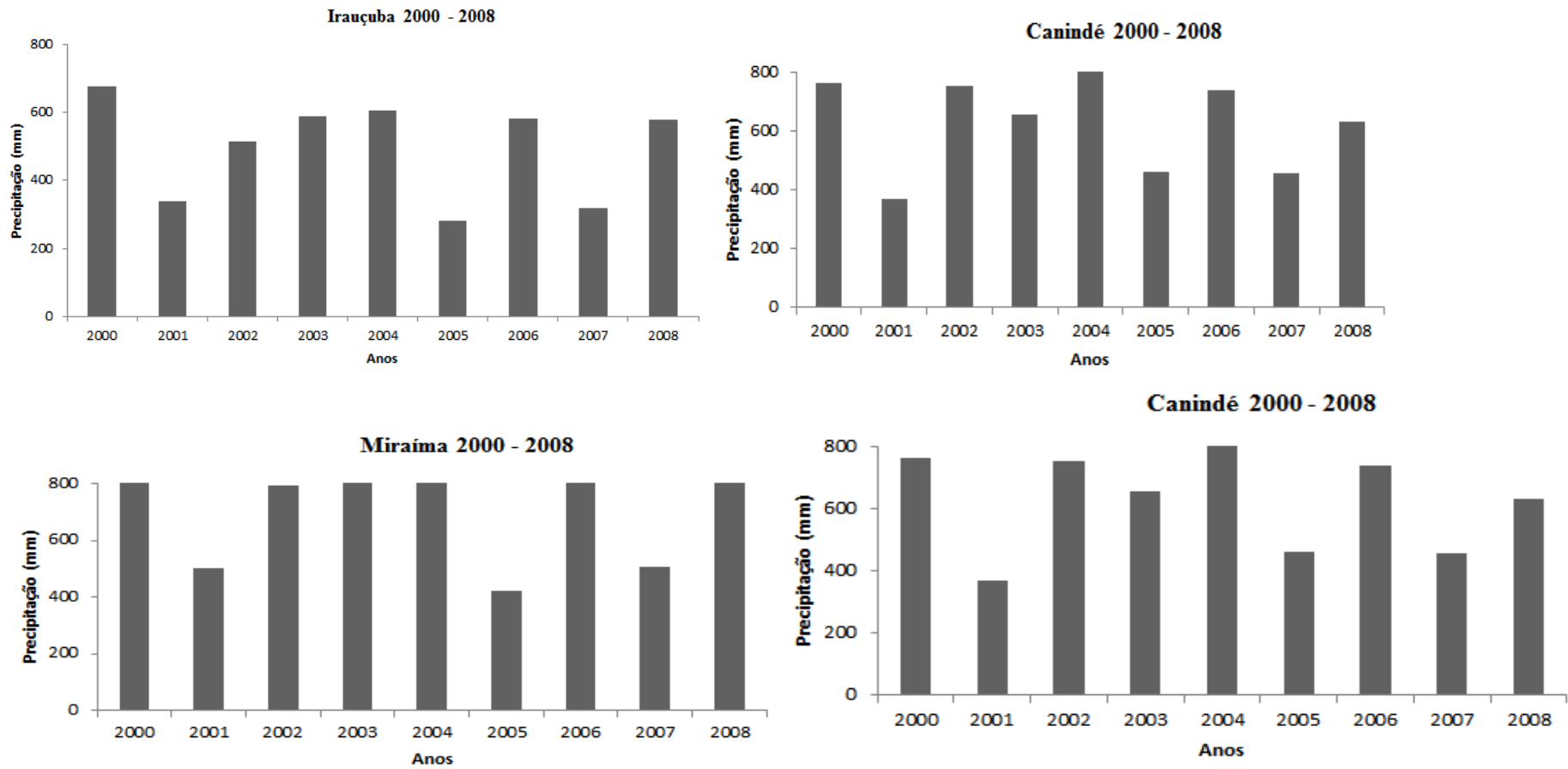
O conhecimento dos valores de precipitação ocorridos durante os anos de 2000 a 2015 é relevante devido a influência que a precipitação desempenha no comportamento dos índices de vegetação, como por exemplo, NDVI e Albedo Superficial.

A precipitação teve influência na escolha das imagens, pois de acordo com os volumes precipitados é que se pode separar o final do período seco (FS) do final do período chuvoso (FC). Essa separação é útil para avaliar a resposta da vegetação em decorrência da precipitação frente a desertificação.

Pelo fato do NDVI ser sensível à precipitação, é importante avaliar a sua distribuição entre anos de 2000 a 2015 das cidades que constitui o núcleo de desertificação Irauçuba/Centro Norte.

A Figura 3 mostra os volumes precipitados nos municípios contidos no núcleo, com base nos dados obtidos da Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME).

Figura 3 - Precipitação nos municípios do Núcleo de Desertificação Irauçuba Centro Norte



Fonte: FUNCEME

Legenda

■ Precipitação

No município de Miráíma, observa-se que o ano de 2009 teve maiores valores de precipitação chovendo mais de 1500 mm, valor este bem acima da média esperada para a região, seguido dos anos de 2011 e 2003. Já os anos de 2005, 2010 e 2012 foram anos de estiagem.

No município de Irauçuba, merece destaque o ano de 2009 onde ocorreram os maiores valores de precipitação, chovendo mais de 1000 mm, acompanhado pelos anos 2000 e 2004; em contrapartida, os anos de estiagem mais críticos foram 2012 e 2010, principalmente 2012 que apresentou uma média de precipitação de 136,7 mm durante o ano inteiro.

Em Canindé, no ano de 2009 foram observadas as maiores precipitações o que mais choveu, seguido de 2004 e 2011, já os anos de 2012, 2010 e 2013 apresentaram as menores precipitações com a média de 347,13 mm.

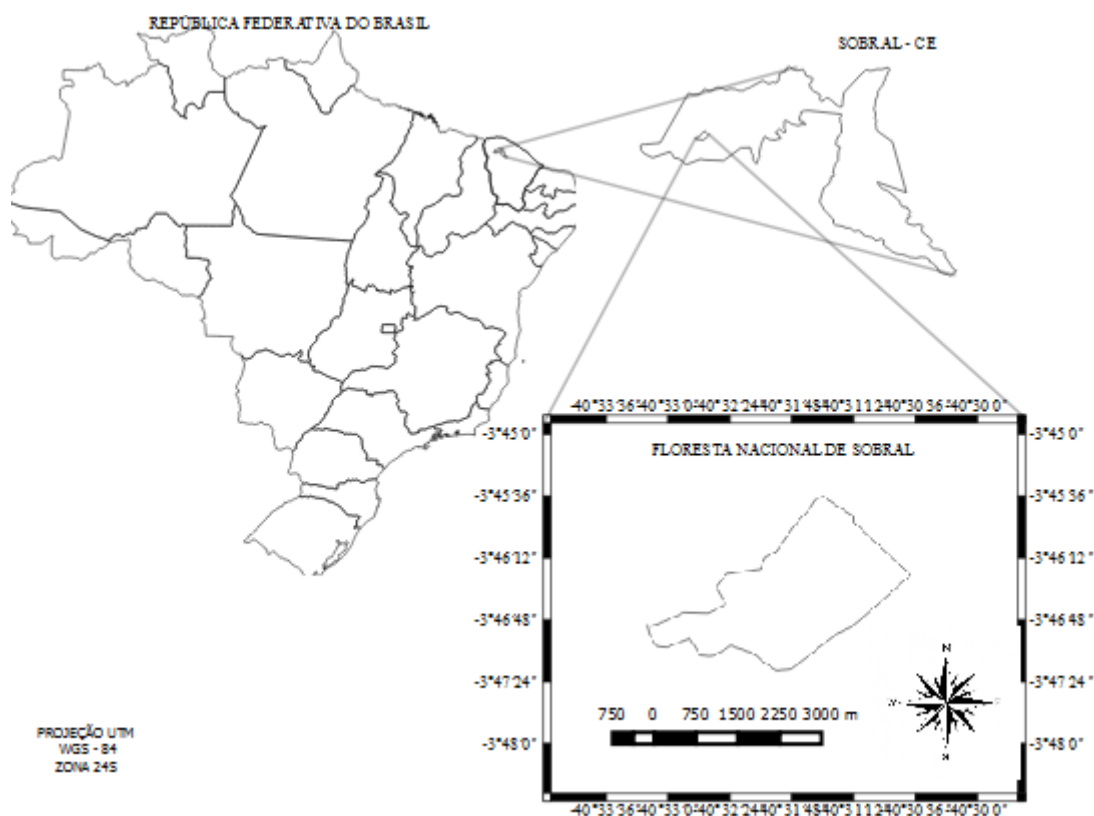
Na cidade de Santa Quitéria o ano de 2009 apresentou altos valores de precipitação com 1.039,00 mm de chuva na região, seguido dos anos de 2004 e 2011; já os anos de 2010, 2012 e 2015 tiveram os menores volumes de precipitação.

É importante observar que durante a série temporal 2000 a 2015 os dados de precipitação obtidos, mostraram que os volumes de chuvas ocorridos nos anos de 2000, 2004 e 2006 foram acima de 500 mm, o que segundo a FUNCEME está acima da média de precipitação para os municípios da região, além disso foram encontrados valores de NDVI elevados nestes anos, o que leva a crer que o NDVI tenha sido afetado pelos volumes de chuvas.

4.2.2 Floresta Nacional de Sobral (FLONA)

A Floresta Nacional de Sobral (FLONA) é uma área de 661,01 hectares localizada no município de Sobral estado do Ceará, com coordenadas 3°41' de latitude S e 40°20'W, administrado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), está localizada próximo ao açude Aires de Sousa (Jaibara), alimentado pelo rio Jaibaras e pertencente a bacia do Acaraú, tem por objetivo manter o manejo adequado dos recursos naturais protegendo os recursos hídricos e contribuindo para o desenvolvimento da pesquisa científica, bem como a disponibilidade para áreas de recreação, lazer e turismo (Figura 4).

Figura 4 - Localização espacial da Floresta Nacional de Sobral



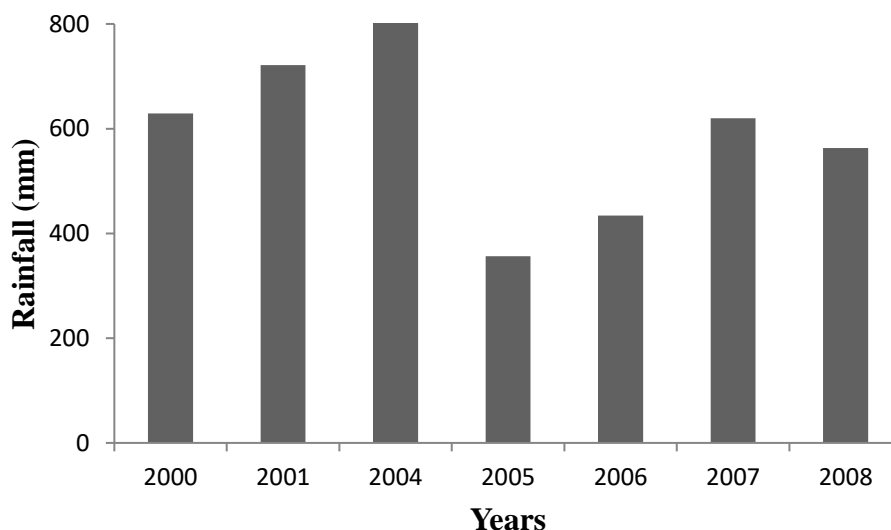
Fonte: Elaboração própria

O FLONA foi utilizado para ser uma área de referência em relação a área desertificada, ou seja, o uso do FLONA serviu para comparar os índices obtidos das áreas desertificadas com os índices da área preservada, afim de poder identificar o limiar entre o desertificado e o preservado.

Suas características de vegetação e solo foram avaliadas usando técnicas de sensoriamento remoto para em seguida servir de comparação com o núcleo de desertificação Irauçuba / Centro Norte.

Os valores de precipitação foram analisados na série temporal 2000 a 2008 pois os dados obtidos do satélite fazem referência a este período de tempo. Sendo importante verificar a precipitação durante estas épocas afim de poder confrontar com os índices encontrados. Foram coletados os registros de precipitação do posto Jaibaras, próximo ao açude Jaibaras (Figura 5).

Figura 5 - Precipitação (mm) posto pluviométrico Jaibaras – CE períodos de 2000 a 2008



Fonte: FUNCEME

A análise da precipitação para o FLONA mostra-se essencial devido a influência que a precipitação tem sobre a resposta da vegetação. Ao observar a Figura 5 nota-se a presença de precipitação acima da média (500 mm), principalmente nos períodos 2000, 2001, 2004, 2007 e 2008. Analisando os meses de cada ano foram constatados chuvas irregulares nestas áreas. Isso constitui um problema em regiões semiáridas, pois, contribui para o aumento da erosão, devido o limite da capacidade de infiltração do solo ser atingido rapidamente, havendo menor infiltração de água, ocorrendo maior escoamento superficial.

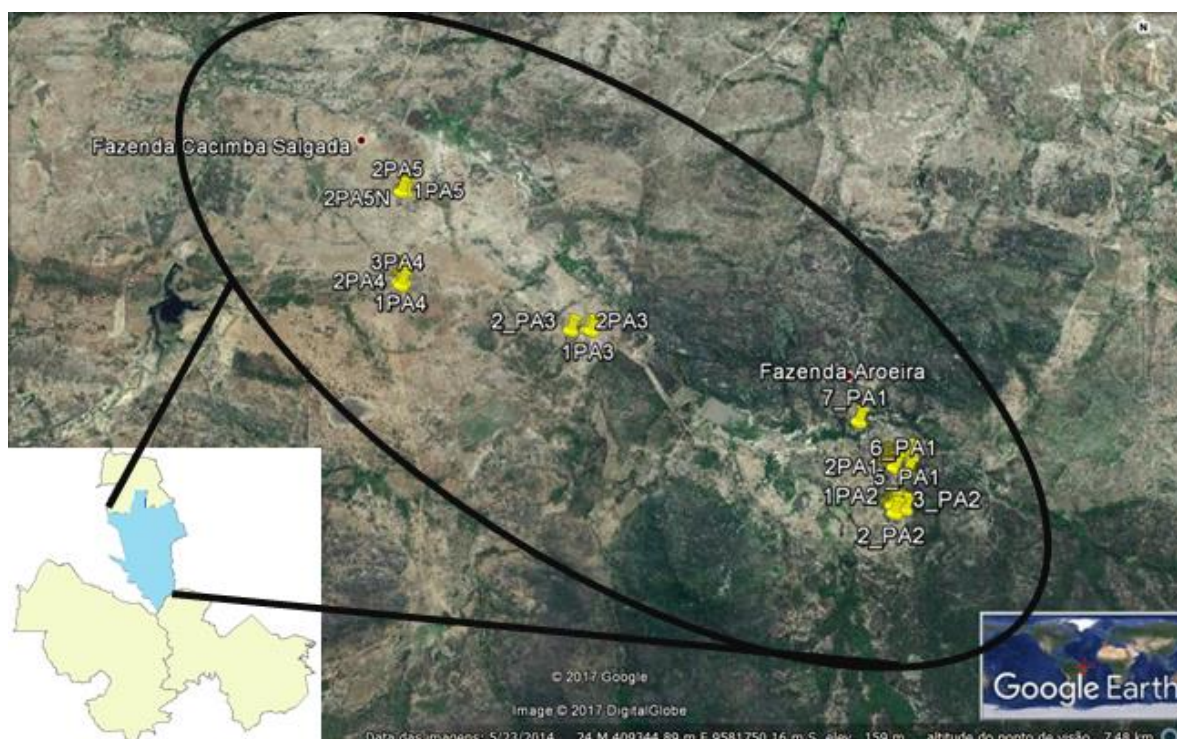
Além do núcleo de desertificação e o FLONA de Sobral também se fez o uso de áreas que foram excluídas desde o ano 2000 da ação do sobrepastejo, o objetivo deste projeto foi de permitir a recuperação da vegetação destas áreas para melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. O uso das áreas de exclusão é atribuído ao fato de se ter uma área a qual se imaginava ser uma interface entre o desertificado e o preservado.

4.2.3 Áreas de exclusão

Foram analisadas 5 áreas de exclusão distribuídas dentro do núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte, que foram: Fazenda Aroeira 1, Fazenda Aroeira 2, Fazenda Formigueiro, Fazenda Cacimba Salgado 1 e Fazenda Cacimba Salgado 2.

Na Figura 6 tem-se a localização espacial das áreas de exclusão no núcleo de desertificação Irauçuba.

Figura 6 - Localização Geográfica das Áreas de Exclusão Núcleo de Desertificação Irauçuba Centro Norte



A1: Fazenda Aroeira 1; A2: Fazenda Aroeira 2; A3: Fazenda Formigueiro; A4: Fazenda Cacimba Salgada 1; A5: Fazenda Cacimba Salgada 2.

Fonte: Elaboração Própria

A delimitação das áreas de exclusão foi executada no núcleo de desertificação Irauçuba / Centro Norte no início dos anos 2000, consistindo no isolamento de áreas de tamanho de 0,25 hectares, com o uso de cerca e fios de arame farpado e estaqueado a cada metro, com objetivo de garantir a exclusão destas áreas da presença de animais domésticos como ovinos e caprinos a fim de permitir a regeneração da vegetação (OLIVEIRA; SALES, 2015).

A Tabela 1 apresenta os sistemas de produção estabelecidos nas áreas de

exclusão, percebe-se que as atividades econômicas são baseadas na pecuária extensiva, ou seja, atividade em que se emprega baixo nível tecnológico baseado em técnicas rudimentares de manejo dos animais, com taxas de lotação acima do permitido, contribuindo para aumento do pisoteio e compactação do solo, reduzindo a capacidade de infiltração de água do solo e aumento do escoamento superficial destas áreas.

Tabela 1 - Sistemas de produção, localização e tipo de vegetação das áreas de exclusão

Área	Sistema de Produção	Localização	Coordenadas	Vegetação
A1	Pecuária Extensiva	Fazenda Aroeira	03°47'22''S 30°47'53''W	Caatinga Arbustiva Jurema Preta
A2	Pecuária Extensiva	Fazenda Aroeira	03°47'33''S 39°47'52''W	
A3	Pecuária Extensiva	Fazenda Formigueiro	03°46'50''S 39°49'49''W	
A4	Pecuária Extensiva	Fazenda Cacimba Salgada	03°46'39''S 39°49'49''W	
A5	Pecuária Extensiva	Fazenda Cacimba Salgada	03°46'15''S 39°49'51''W	

Fonte: Adaptado de Souza (2009).

A vegetação típica das áreas de exclusão (Tabela 1) é do tipo Caatinga Arbustiva com Jurema – Preta. Este tipo de vegetação produz resíduos orgânicos de difícil degradação chamados de taninos, esses elementos afetam a atividade enzimática, podendo liberar produtos com efeitos tóxicos no solo, como por exemplo, substâncias alelopáticas que por sua vez podem ser responsáveis pela alteração no padrão de germinação e crescimento da vegetação (ADAMCZYK *et al.*, 2017; PAES *et al.*, 2006).

As áreas de exclusão apresentam solos do tipo PLANOSSOLOS NÁTRICOS Órticos vertissólico a fraco (Fazenda Aroeira 1, Aroeira 2 e Formigueiro), NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos fragmentário a fraco (Fazenda Cacimba Salgada 1) e PLANOSSOLOS NÁTRICOS Órticos típico a fraco (Fazenda Cacimba Salgada 2).

Os solos destas áreas estão erodidos em decorrência das atividades de pastoreio associado com o extrativismo vegetal, a pouca cobertura vegetal potencializa a ação da erosão hídrica sobre estes solos, contribuindo para formação de pavimento desértico, além disso, tanto os PLANOSSOLOS como os NEOSSOLOS LITÓLICOS são solos de baixa capacidade de infiltração, contribuindo para atuação dos processos

erosivos em situações de precipitações irregulares, onde o grande fluxo de água não é infiltrado pelo solo, mas sim escoado, transportando sedimentos e partículas de silte e argila (OLIVEIRA; SOUZA, 2015).

Os valores de precipitação das áreas de exclusão foram tomados por base as quantidades precipitadas para o município de Irauçuba, pois não foram encontrados pluviômetros no entorno das áreas de estudo. Tendo sido analisados os anos de 2000 a 2008 (Figura 3).

4.3 Aquisição e processamento de imagens

O sensor utilizado no trabalho foi Thematic Mapper do satélite Landsat 5, as cenas foram obtidas da plataforma da United States Geological Survey (Tabela 02), do período de 2000 a 2008. Este período foi empregado no experimento devido a disposição de imagens Landsat 05, permitindo desta forma acesso a dados de épocas retroativas e com boa qualidade radiométrica.

Tabela 2 - Cenas usadas na série temporal 2000 a 2008 e no modelo de validação

CENA	ÓRBITA	PONTO	DATA DE AQUISIÇÃO
LT52180632000266CUB00	218	63	22/09/2000
LT52170632000291CUB00	217	63	17/10/2000
LT52180622000330CUB00	218	62	25/11/2000
LT52180632000186CUB00	218	63	04/07/2000
LT52170632000227CUB00	217	63	14/08/2000
LT52180622000234CUB00	218	62	21/08/2000
LT52180632001188CUB00	218	63	07/07/2001
LT52170632001213CUB00	217	63	01/08/2001
LT52180622001204CUB00	218	62	23/07/2001
LT52170632003299CUB00	217	63	26/10/2003
LT52180622003322CUB00	218	62	18/11/2003
LT52180632003322CUB00	218	63	18/11/2003
LT52180622004245CUB00	218	62	18/11/2003
LT52180632004325CUB00	218	63	20/11/2004
LT52170632004286CUB00	217	63	12/10/2004
LT52180632004245CUB00	218	63	01/09/2004
LT52170632004206CUB00	217	63	24/07/2004
LT52180622004213CUB00	218	62	31/07/2004
LT52180632005295CUB00	218	63	22/10/2005

LT52170632005304CUB00	217	63	31/10/2005
LT52180622005295CUB00	218	62	22/10/2005
LT52180622005263CUB00	218	62	20/09/2005
LT52180632005199CUB00	218	63	18/07/2005
LT52170632005256CUB00	217	63	13/09/2005
LT52180632006282CUB00	218	63	09/10/2006
LT52170632006323CUB00	217	63	19/11/2006
LT52180622006330CUB00	218	62	26/11/2006
LT52170632006195CUB00	217	63	14/07/2006
LT52180622006218CUB00	218	62	06/08/2006
LT52180632006218CUB00	218	63	06/08/2006
LT52180632007237CUB00	218	63	25/08/2007
LT52170632007230CUB00	217	63	18/08/2007
LT52180622007237CUB00	218	62	25/08/2007
LT52180622008304CUB00	218	62	30/10/2008
LT52170632008297CUB00	217	63	23/10/2008
LT52180632008288CUB00	218	63	14/10/2008
LT52180632008256CUB00	218	63	12/09/2008
LT52170632008265CUB00	217	63	21/09/2008
LT52180622008256CUB00	218	62	12/09/2008
LC82180632016310LGN00	218	63	05/11/2016
LC82170632016319LGN00	217	63	14/11/2016
LC82180622016310LGN00	218	62	05/11/2016

Fonte: USGS

Na aquisição das cenas levou-se em consideração a presença de nuvens sobre a área de interesse usando critério visual e os períodos de chuvas com base nos gráficos de precipitação da FUNCEME. As cenas do Landsat 08 foram utilizadas para obtenção dos índices NDVI, TGSÍ, Albedo e Tasseled Cap para aferição em campo.

As imagens do Thematic Mapper foram reprojatadas para zona 24 SUL e DATUM WGS – 84, no software Envi® 4.8 utilizando o algoritmo layer stracking, as imagens foram submetidas ao processo de correção atmosférica usando o módulo Flaash do Envi® 4.8 através do modelo de transferência radioativa- MODTRAN (ADLER - GOLDEN *et al.*, 1999) (Equação 01). Em seguidas registradas com base em imagens Landsat 8 usando a ferramenta Map. Foram escolhidos em torno de 10 a 12 pontos de controles para registro das imagens cujos valores de RMS foram inferiores a 2 pixels, atendendo a recomendação para a resolução espacial de 30 metros. As cenas foram mosaicadas e recortadas com o mapa da área do núcleo de desertificação Irauçuba / Centro Norte e da FLONA.

$$L = \frac{A\rho}{1-\rho_e S} + \frac{B\rho_e}{1-\rho_e S} + L * A \quad (01)$$

Onde, ρ é a reflectância do pixel, ρ_e é a média de reflectância dos pixels mais próximos, S é o albedo atmosférico, L^*a é radiância refletida pela atmosfera, A e B são os coeficientes que dependem das condições atmosféricas locais.

Para cálculo dos índices utilizou-se a ferramenta Band Math e do recurso Density slice a fim de classificar os índices em diferentes classes de valores, de acordo com os encontrados na literatura.

Para identificação das imagens em relação ao período seco ou chuvoso, os anos da série temporal foram subdivididos em: FC (Final Chuvoso) correspondendo ao período que finaliza a época chuvosa e FS (Final Seco) referente ao período final da época seca. O objetivo disto foi controlar e minimizar a influência das condições ambientais (precipitação) sobre a vegetação, pois desta forma se permite avaliar a resposta da vegetação proporcionada pelas condições do meio e não da precipitação.

Foi feito uso da estatística básica descritiva, por meio da determinação da média, mínimo, máximo, desvio padrão, coeficiente de variação e teste de correlação usando planilha eletrônica do excel. Os valores de mínimo e máximo de cada índice refere-se aos limites inferiores e superiores das classes encontradas.

4.4 NDVI, TGSi e Albedo

O NDVI, TGSi e Albedo Superficial foram aplicados para o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte nos períodos 2000FS, 2000FC, 2001FC, 2003FS, 2004FS, 2004FC, 2005FS, 2005FC, 2006FS, 2006FC, 2007FC, 2008FS e 2008FC.

Estes índices foram utilizados devido a relação com a desertificação. Em alguns anos a cobertura de nuvens não permitiram o uso dos índices, por isso a lacuna na série temporal do experimento.

Com relação ao FLONA de Sobral o NDVI, TGSi e Albedo Superficial foram aplicados para os períodos: 2000FS, 2000FC, 2001FC, 2003FS, 2004FS, 2004FC, 2005FS, 2005FC, 2006FS, 2006FC, 2007FC, 2008FS e 2008FC.

O NDVI foi aplicado para as 5 áreas de exclusão nos períodos 2001FC,

2004FS, 2004FC, 2005FC, 2006FC, 2007FC, 2008FS e 2008FC.

Para o TGSi não foi possível obter valores para os períodos: 2008FC área de exclusão A1, 2004FS área de exclusão A2, 2008FC para área de exclusão A3, 2005FC para área de exclusão A4 e 2005FC para área de exclusão A5, isso ocorreu devido a existência de valores fora do intervalo aceitável para índice. Estes valores podem estar relacionados a erros de processamento ou devido a proximidade das áreas de exclusão a uma falha produzida pelo mosaicamento das imagens.

O Albedo Superficial foi aplicado para os períodos 2001FC, 2004FS, 2004FC, 2005FC, 2006FC, 2007FC, 2008FS e 2008FC para todas as áreas de exclusão.

Os valores de NDVI, TGSi e Albedo Superficial foram plotados em um gráfico do tipo radar, para verificar a interação entre eles ao longo dos períodos analisados.

O cálculo do NDVI e TGSi foram realizados por meio da ferramenta Band Math do Envi® 4.8, usando as equações 2 e 3, respectivamente:

$$NDVI = \frac{(\rho_{\lambda_4} - \rho_{\lambda_3})}{(\rho_{\lambda_4} + \rho_{\lambda_3})} \quad (02)$$

Onde, ρ_{λ_4} é a reflectância na banda do infravermelho próximo (760 nm – 900 nm) e ρ_{λ_3} é a reflectância na banda do vermelho (630 nm – 690 nm).

$$TGSi = \frac{(\rho_{\lambda_3} - \rho_{\lambda_1})}{(\rho_{\lambda_3} + \rho_{\lambda_1} + \rho_{\lambda_2})} \quad (03)$$

Onde, ρ_{λ_1} é a reflectância na banda do azul (450 nm – 520 nm); ρ_{λ_2} é a reflectância na banda do verde (520 nm – 600 nm) e ρ_{λ_3} é a reflectância na banda do vermelho (630 nm – 690 nm).

O albedo foi determinado usando as etapas do algoritmo SEBAL proposto por Bastiaanssen *et al.* (1998), a primeira delas foi a calibração radiométrica usando a equação 4:

$$L_{\lambda} = a_i + \left(\frac{b_i - a_i}{255} \right) \times ND \quad (Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}) \quad (04)$$

Onde, a e b são as radiâncias espectrais mínimas e máximas (Tabela 3); ND é

a intensidade do pixel (número digital – número inteiro de 0 a 255); e i corresponde às bandas (1, 2,..., 7) do satélite Landsat 5 – TM e L_λ é a radiância em $Wm^{-2} sr^{-1}\mu m^{-1}$.

Na Tabela 3 estão contidos os parâmetros de calibração usados no cálculo do albedo, usando o satélite Landsat 05.

Tabela 3 - Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – a e máxima – b) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA)

Bandas	Comprimento de Onda (μm)	Coeficientes de Calibração ($W/m^2 sr.\mu m$)		Irradiância Espectral ($W/m^2.\mu m$)
		a	b	
1 (azul)	0,45 – 0,52	-1.520	193.000	1957
2 (verde)	0,53 – 0,61	-2.840	365.000	1829
3 (vermelho)	0,62 – 0,69	-1.170	264.000	1557
4 (IV-próximo)	0,78 – 0,79	-1.510	221.000	1047
5 (IV-médio)	1,57 – 1,78	-0.370	30.200	219,3
6 (IV-termal)	10,4 – 12,5	1.238	15.303	-
7 (IV-médio)	2,10 – 2,35	-0.150	16.500	74,52

Fonte: USGS

Para determinação do albedo usando o sensor OLI, foram utilizados os dados apresentados na Tabela 4, em que, estão contidos os parâmetros de calibração para Landsat 08. Foram usados os mesmos valores de Irradiância espectral do sensor TM.

Tabela 4 - Descrição das bandas do OLI do Landsat 8, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – a e máxima – b)

Bandas	Comprimento de Onda (μm)	Coeficientes de Calibração ($W/m^2 sr.\mu m$)	
		a	b
1 - Costeira	0,433 - 0,453	-64,14586	776,7692
2 - Azul	0,450 - 0,515	-65,68613	795,4211
3- Verde	0,525 - 0,600	-60,52922	732,97382
4 - Vermelho	0,630 - 0,680	-51,04165	618,08478
5 - Infravermelho - próximo	0,845 - 0,885	-31,23494	378,23706
6 - SWIR 1	1,560 - 1,660	-7,76785	94,06412
7 - SWIR 2	2,100 - 2,300	-2,61818	31,70464

8 - Pancromática	0,500 - 0,680	-57,76509	699,50189
9 - Cirrus	1,360 - 1,390	-12,20732	147,82362
10 - Termal 1	10,3 - 11,3	0,10033	22,0018
11 - Termal 2	11,5 - 12,5	0,10033	22,0018

Fonte: USGS

Com as radiâncias calculadas determinou-se a reflectância no topo da atmosfera (TOA) usando a Equação 05 proposta por Chander e Markham (2003):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \times L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \times \cos Z \times d_r} \quad (05)$$

Onde, $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda, $k_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera, Z é o ângulo zenital solar, d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol (em unidade astronômica – UA) e $\pi = 3,14$, obtido pela equação 06:

$$d_r = 1 + 0,033 \times \cos(DJ \frac{2\pi}{365}) \quad (06)$$

Onde, DJ é o dia Juliano e o argumento da função co-seno está em radianos. O ângulo zenital solar foi obtido através do cabeçalho das imagens adquiridas.

Finalmente para determinação do albedo planetário σ_{TOA} utilizou-se a equação 07:

$$\alpha_{toa} = \sum(\rho_{\lambda i} \times \omega_{\lambda i}) \quad (07)$$

Os coeficientes de cada banda foram baseados nos valores encontrados na literatura, conforme se ver na Tabela 5:

Tabela 5 - Valores de Coeficientes usados para cálculo do albedo

Satélite	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7
Landsat 05	0,293	0,274	0,233	0,157	0,033	0,011

Fonte : SEBAL

Estes valores foram usados na equação 08, para o Landsat 05 e 08:

$$\alpha_{toa} = (0,293 \times B_1) + (0,274 \times B_2) + (0,233 \times B_3) + (0,157 \times B_4) + (0,033 \times B_5) + (0,011 \times B_7) \quad (08)$$

Para construção dos gráficos Box Plot foi empregado o software Sigma Plot versão 11, após contruídos os gráficos foram exportados em formato JPEG.

Logo abaixo, tem-se a metodologia usada para determinação da linha de solo, que será extremamante importante para estudo do comportamento espectral dos solos e da vegetação no núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte.

4.5 Determinações da linha de solo

Para determinação das áreas de solos expostos e estudo do padrão espectral das áreas, foi construído gráfico de dispersão (*Scatter Plot*) usando a ferramenta 2D Scatter Plot do Envi® 4.8. Usando as reflectâncias das bandas 3 (vermelho) e 4 (infravermelho próximo) do Landsat 05 TM. As relações entre essas duas bandas são importantes para diferenciação de solos e vegetação bem como para predizer propriedades espectrais dos solos estudados. Neste gráfico foram identificados pixels próximos a linha de solo, levando-se em consideração o índice de vegetação Soil Adjust Vegetation Index (SAVI) (Equação 09) proposto por Huete (1989). Este índice foi utilizado para aumentar a probabilidade de identificação de pixels de solos expostos sobre a linha.

$$SAVI = \frac{(1+L) * (\rho_{\lambda_4} - \rho_{\lambda_3})}{(L + \rho_{\lambda_4} + \rho_{\lambda_3})} \quad (09)$$

Onde, ρ_{λ_4} é a reflectância na banda do infravermelho próximo (760 nm – 900 nm) e ρ_{λ_3} é a reflectância na banda do vermelho (630 nm – 690 nm) e L é o fator de ajuste, cujo valor mais utilizado para condições de semiárido é de 0,5.

A linha de solos foi aplicada para o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte em 06 comunidades localizadas nos municípios do núcleo estudado são elas: Comunidade Bom Jesus e Fumo (Irauçuba); comunidade Maniçoba, Riacho das Pedras e Saco de Boi (Santa Quitéria); comunidade Tiracanga (Canindé). Foram utilizadas estas comunidades pelo fato de estarem situadas em diferentes municípios do núcleo e por permitirem o uso mais eficiente da linha de solo, possibilitando uma análise global da

resposta da vegetação em todo o núcleo estudado.

Para o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte, os pixels correspondentes a solos expostos e a vegetação foram separados dos demais e quantificadas suas respectivas áreas usando o Arcgis, em seguida seus resultados foram plotadas em gráficos para verificar as áreas de solos expostos e vegetação ao longo da série temporal 2000 a 2008.

A linha de solo foi aplicada nos períodos 2000FS, 2000FC, 2001FC, 2003FS, 2004FS, 2004FC, 2005FS, 2005FC, 2006FS, 2006FC, 2007FC, 2008FS e 2008FC para as comunidades Bom Jesus, Fumo, Saco de Boi, Maniçoba e Riacho das Pedras.

A linha de solo foi aplicada para comunidade Tiracanga nos períodos 2000FS, 2001FC, 2003FS, 2004FS, 2004FC, 2005FS, 2005FC, 2006FS, 2006FC, 2007FC, 2008FS e 2008FC.

Os resultados da linha de solo foram comparados com os solos contidos no núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte, para isso obteve-se o mapa referente as classes de solos, em seguida foi identificado em qual mancha de solo a comunidade estava inserida.

Para o FLONA, a linha de solo foi usada nos períodos 2000FS, 2000FC, 2001FC, 2004FS, 2004FC, 2005FS, 2005FC, 2006FS, 2007FC, 2008FS e 2008FC. No FLONA os pixels correspondentes a solos expostos e a vegetação foram separados dos demais e quantificadas suas respectivas áreas, em seguida seus resultados foram plotadas em gráficos para verificar as áreas de solos expostos e vegetação ao longo da série temporal 2000 a 2008.

A linha de solo foi aplicada em todas as áreas de exclusão nos períodos 2001FC, 2004FS, 2004FC, 2005FC, 2006FC, 2007FC, 2008FS e 2008FC.

Para determinação da transformação Tasseled Cap utilizou-se do procedimento descrito no tópico abaixo.

4.6 Transformações Tasseled Cap

A transformação Tasseled Cap foi usada sobre as 06 comunidades localizadas no núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte nos períodos 2000FS, 2000FC, 2001FC, 2003FC, 2004FS, 2004FC, 2005FS, 2005FC, 2006FS, 2006FC, 2007FC, 2008FS e 2008FC. Os valores das componentes estudadas foram plotados em gráficos de

barras, afim de melhorar a interpretação das componentes ao longo da série temporal de 2000 a 2008.

A transformação Tasseled Cap foi aplicada ao FLONA nos períodos 2000FS, 2000FC, 2001FC, 2004FS, 2004FC, 2005FS, 2005FC, 2006FS, 2006FC, 2007FC, 2008FS e 2008FC. Os resultados das componentes foram colocados em gráficos de barras em função dos períodos analisados.

Com relação as áreas de exclusão, a transformação Tasseled Cap foi aplicada em todas as unidades nos períodos 2001FC, 2004FS, 2004FC, 2005FC, 2006FC, 2007FC, 2008FS e 2008FC, em seguida plotadas em um gráfico do tipo barra para comparar as suas variações ao longo dos períodos analisados.

Para determinação da transformação Tasseled Cap foram utilizadas as imagens com atmosfera corrigida, não sendo recomendado o uso em números digitais, pois, segundo Huang *et al.* (2002) as mudanças nas condições de geometria de iluminação atuam interferindo na aplicação da transformação.

Para realização da transformação foram aplicados os mesmos coeficientes para Landsat 05 e 08 nas equações 10 para a componente Brightness e 11 para a Greenness (CRIST; CICONE,1984). Em seguida foi obtido gráfico bidimensional chamado plano de vegetação representado pela componente Brightness no eixo X e a componente Greenness no eixo Y, através deste gráfico pode-se ter uma representação da distribuição dos valores de brilho e de verdor para as áreas estudadas.

$$BR = (0,3037 \times B_1) + (0,2793 \times B_2) + (0,4743 \times B_3) + (0,5585 \times B_4) + (0,5082 \times B_5) + (0,1863 \times B_7) \quad (10)$$

$$GR = (-0,2848 \times B_1) + (-0,2435 \times B_2) + (-0,5436 \times B_3) + (0,7243 \times B_4) + (0,0840 \times B_5) + (-0,1800 \times B_7) \quad (11)$$

Os gráficos foram segmentados em classes de cores para que se pudessem identificar os alvos presente na cena e quantificá-los usando o Arcgis, sendo a cor amarela para áreas de solos expostos e a cor verde para áreas de vegetação.

4.7 Dados termal

Os dados do termal foram extraídos do Landsat 05 nos períodos 2000FS, 2000FC, 2001FC, 2003FS, 2004FS, 2004FC, 2005FS, 2005FC, 2006FS, 2006FC, 2007FC e 2008FC para as áreas desertificadas.

Para o FLONA foram trabalhados os períodos 2000FS, 2000FC, 2001FC, 2004FS, 2004FC, 2005FS, 2005FC, 2006FS, 2006FC, 2007FC e 2008FC.

Todas as áreas de exclusão tiveram suas temperaturas analisadas nos períodos 2001FC, 2004FS, 2004FC, 2005FC, 2006FC, 2007FC e 2008FC.

Para derivar a temperatura de superfície das áreas estudadas foram obtidos dados da banda 6 termal landsat 05 TM (10,4 - 12,5 μm) de resolução espacial de 120 metros. Os dados do termal foram adquiridos da plataforma da USGS, a banda foi reprojeta para zona 24 Sul DATUM WGS - 84, em seguida foram submetidas ao processo de georeferenciamento usando uma imagem Landsat 08 para identificação dos pontos de controle para correto ajustamento da imagem em relação ao original, para isso foram marcados 10 a 15 pontos de controle com erro médio quadrático inferior a 1 pixel.

Após o ajuste da imagem, esta foi exportada para software ArcGis e procedeu-se com cálculo da radiância espectral usando a equação (11) proposta por Chander e Markham (2003):

$$L_{\lambda I} = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad (12)$$

Onde, L_{λ} = Radiância espectral ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$); M_L = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda (0,055); Q_{cal} = Valor quantizado e calibrado do pixel em nível de cinza; A_L = Fator aditivo de redimensionamento da banda (1,18243).

Os parâmetros de calibração para conversão dos níveis de cinza em valores de radiância espectral foram obtidos dos arquivos de metadados da imagem.

Após o cálculo da radiância espectral, está foi convertida em temperatura de superfície com correção da emissividade usando a Equação 13, proposta por Markhan e Barker (1986), os valores de constantes térmicas da banda termal foram de $K_1 = 607,76 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ e $K_2 = 1260,56 \text{ K}$.

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} \times K_1}{L_\lambda}\right) + 1} \quad (13)$$

Onde, T_s = Temperatura de Superfície em Kelvin; K_1 e K_2 são parâmetros de calibração $K_1 = 607,76 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ e $K_2 = 1260,56 \text{ K}$ respectivamente; L_λ = Radiância espectral ($\text{W/m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$); ϵ_{NB} = é a emissividade de cada pixel estimada pela equação 14.

$$\epsilon_{nb} = 0,97 + 0,00331 \times \text{IAF} \quad (14)$$

O índice de área foliar é dado pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação, sendo necessário quantificá-lo como estudos de biomassa vegetal, sendo determinado pela equação 15, proposta por Allen *et al.* (2002).

$$\text{IAF} = \frac{\ln\left(\frac{0,69 - \text{SAVI}}{0,59}\right)}{0,91} \quad (15)$$

As temperaturas resultantes em Kelvin foram transformadas para graus Celsius ($^\circ\text{C}$) diminuindo os resultados encontrados por 273,15 K para facilitar a discussão.

O Raster de temperatura de superfície corrigido a emissividade, foi dividido em cinco classes com o objetivo de observar a distribuição da temperatura nas áreas estudadas.

4.8 Avaliação da desertificação

Para identificação e avaliação da desertificação foram atribuídos intervalos para cada índice trabalhado conforme valores encontrados na literatura. Na Tabela 6, vê-se as classes para os índices NDVI, TGSI e Albedo, esses valores foram obtidos por Lamchim *et al.* (2016) em áreas da Mongólia acometidas por diferentes níveis de desertificação. Apesar deste ranqueamento ter sido obtido para regiões da Mongólia, entende-se que não há problema em utilizá-los para as condições semiáridas locais, devido ambos os meios estarem situados em condições de clima e vegetação semelhantes.

Tabela 6 - Intervalos de NDVI, TGSi e Albedo usados para construção das classes de pixels

Índices			Classificação
NDVI	TGSi	Albedo	Tipo
0,50 – 0,75	-0,50 – -0,30	0,00 – 0,10	NÃO DESERTIFICADO
0,40 – 0,50	-0,30 – -0,20	0,10 – 0,20	BAIXA DESERTIFICAÇÃO
0,25 – 0,40	-0,20 – -0,10	0,20 – 0,30	MÉDIA DESERTIFICAÇÃO
0,15 – 0,25	-0,10 – 0,00	0,30 - 0,40	ALTA DESERTIFICAÇÃO
0,00 – 0,15	0,00 – 0,20	0,40 – 0,55	SEVERA DESERTIFICAÇÃO

Fonte: Lamchim *et al.* (2016)

Na Tabela 6, pode-se observar que os valores de NDVI maiores ou igual a 0,50 correspondem a áreas não desertificadas, seguido por valores negativos do TGSi que indicam presença de água ou de vegetação; já os valores de albedo abaixo de 0,10 correspondem a áreas não desertificadas, as demais classes correspondem a áreas desertificadas verificado por valores de NDVI menor do que 0,50 valores de TGSi maiores que 0,00 e Albedo maior ou igual a 0,10.

Lamchim *et al.* (2016) obteve estes valores a partir de um trabalho, baseado no uso do NDVI, TGSi e Albedo para determinar os níveis de desertificação de uma área da Mongólia. O autor estabeleceu uma relação dos índices com os níveis de desertificação, em que valores de NDVI entre 0,50 a 0,75 correspondem a áreas não desertificadas; 0,40 a 0,50 a áreas de baixo nível de desertificação; 0,25 – 0,40 a médio nível de desertificação; 0,15 a 0,25 para alto nível de desertificação e 0,00 – 0,15 em severo nível de desertificação.

Para o TGSi valores negativos -0,50 - -0,30 correspondem a áreas não desertificadas, enquanto que valores entre 0,00 – 0,20 correspondem a áreas severamente desertificadas. No entanto em uma avaliação preliminar do TGSi, os dados obtidos não apresentaram classes representativas de áreas não desertificadas, mas sim o predomínio de valores de TGSi maiores que zero indicando áreas severamente desertificadas. Para este experimento foram usados os intervalos -0,10 - 0,00 para áreas não desertificadas, pois em trabalhos realizados por Becerril Pina *et al.* (2015) valores negativos deste índice

ou próximo de 0,00 indicaram áreas cobertas com vegetação e água, enquanto que as classes maiores que 0,00 até o limite de 0,20 para áreas desertificadas.

Os valores de Albedo entre os intervalos de 0,00 – 0,10 correspondem a áreas não desertificadas; valores de 0,10 - 0,20 foram encontradas em áreas de baixo nível de desertificação; 0,20 - 0,30 para médio nível de desertificação; 0,30 – 0,40 para alto nível de desertificação e 0,40 – 0,55 para alto nível de desertificação.

Foram utilizados gráficos do tipo radar para verificar o comportamento do NDVI, TGSI e Albedo Superficial nos diferentes períodos analisados, tanto no FLONA, como nas áreas desertificadas. Nas áreas de exclusão não foi possível a plotagem dos dados neste tipo de gráfico, pois conforme visto anteriormente os valores de TGSI de alguns períodos não foram compatíveis com o intervalo e isso dificulta a interpretação correta dos dados, para isso foram construídos gráfico de pontos.

A linha de solo foi analisada com base no agrupamento de pixels em torno da linha, em relação a banda 4 e a área ocupada por estes pixels. A transformação Tasseled Cap foi comparada com base nos valores das componentes Brightness e Greenness em áreas perturbadas e os valores de temperatura de superfície com base nos valores encontrados na literatura para áreas de solos expostos, já que a ocorrência da desertificação está, sobretudo relacionada com áreas de solos expostos.

Foi empregada a técnica do empilhamento dos índices NDVI, TGSI e Albedo no Arcgis 9.3 e no Envi 4.8®. O objetivo foi verificar se houve mudança nos valores dos pixels entre 2000 e 2008, para isso foram selecionadas todas as imagens referentes aos índices citados anteriormente, usando os recursos de álgebra de mapas e *raster calculator*, aplicou-se a soma dos rasters, obtendo um produto final, que em seguida foi multiplicado por 100 para diferenciar valores de condição não desertificada da desertificada. Os pixels que se modificaram ao longo do tempo tenderam a mudança de condição desertificada para não desertificada, ou vice-versa, enquanto que os pixels não modificados permaneceram contidos na mesma condição indicada na série temporal.

4.9 Análises Estatísticas

Os dados foram submetidos a estatística básica descritiva, aplicando os cálculos de média, mínimo, máximo, desvio padrão, coeficiente de variação e teste de correlação usando planilha eletrônica do excel. Os valores de mínimo e máximo de cada

índice referem-se aos limites inferiores e superiores respectivamente, das classes encontradas.

Foram contruídos gráficos Box Plot com o objetivo de comparar a variação entre a área desertificada, preservada e de exclusão e identificar valores extremos (outliers) nos grupos, para a construção dos gráficos foi empregado o software Sigma Plot versão 11. Após contruídos os gráficos foram exportados em formato JPEG.

5 Modelo de Validação

Para construção do modelo de validação, utilizaram-se os dados do Landsat 08 para cálculo do NDVI, TGSI, Albedo Superficial, Tasseled Cap e termal para as áreas desertificadas, sendo que o albedo não foi possível de ser determinado para o FLONA devido inconsistências dos valores produzidos, o que inviabilizou o seu uso. Foram realizadas visitas de campo para verificação dos índices estudados, a fim de atestarem se as informações dos dados obtidos com sensoriamento remoto estão compatíveis com a realidade encontrada tanto no núcleo quanto nas áreas de exclusão.

Foram coletadas amostras de solos no núcleo e nas áreas de exclusão, seguido do registro de fotografias destes pontos. As amostras foram submetidas a análises granulométricas realizadas no laboratório de manejo do solo da UFC.

Não foi possível a coleta de amostras do FLONA, devido o trâmite de autorização junto aos órgãos ambientais ainda está em fase de análise.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 NDVI

Os resultados dos valores de NDVI para o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte são apresentados na Tabela 7. Observa-se a presença de baixos valores de NDVI durante a série temporal analisada. Nesta tabela tem-se os valores de coeficiente

de variação e desvio dos dados em relação a média.

Tabela 7 - Médias de NDVI, desvio padrão e coeficiente de variação para o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte 2000 – 2008

ÍNDICE	ANO	MÉDIA	DESVIO	CV (%)
NDVI	2000 (FS)	0,3204	0,0292	9,11
	2000 (FC)	0,5987	0,0707	11,81
	2001 (FC)	0,5995	0,0477	7,97
	2003 (FS)	0,3259	0,0322	9,80
	2004 (FS)	0,3236	0,0265	8,19
	2004 (FC)	0,5994	0,1155	19,27
	2005 (FS)	0,3182	0,0244	7,67
	2005 (FC)	0,3194	0,0323	10,11
	2006 (FS)	0,3012	0,0290	9,63
	2006 (FC)	0,6375	0,0901	14,14
	2007 (FC)	0,3174	0,0371	11,68
	2008 (FS)	0,3129	0,0323	10,34
	2008 (FC)	0,3307	0,0430	13,01

FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO

Fonte: Elaboração Própria

Os valores de mínimo (0,00) e máximo (0,75) são invariáveis ao longo do tempo, pois correspondem aos extremos da classe de NDVI usada neste experimento. O emprego dos valores de mínimo e máximo foi uma forma de evitar a análise e processamento de dados correspondentes a ruídos, que podem distorcer os resultados e a interpretação do NDVI.

Os valores de coeficiente de variação mostraram-se baixos, indicando que os dados analisados foram homogêneos, ou seja, pouco se distanciaram dos valores de média, isso foi percebido também pelos reduzidos valores de desvio padrão.

Na Tabela 7 observa-se que os menores valores de média do NDVI foram de 0,3012 para o ano de 2006FS, nestes períodos houveram reduzidos volumes de precipitação nos municípios do núcleo de desertificação, ao contrário do que é mostrado para o final do período chuvoso do mesmo ano onde a média do NDVI praticamente duplicou para 0,6375 devido a uma boa quantidade de chuva ocorrida nesta época (Figura 5).

Nos anos de 2000, 2004, 2005, 2006 e 2008 verificou-se aumento da média do NDVI no final do período chuvoso em relação ao final do período seco, isso indica a sensibilidade que a vegetação apresentou em relação aos volumes precipitados (BARBOSA *et al.*,2006). A regularidade da precipitação provocou boa resposta da

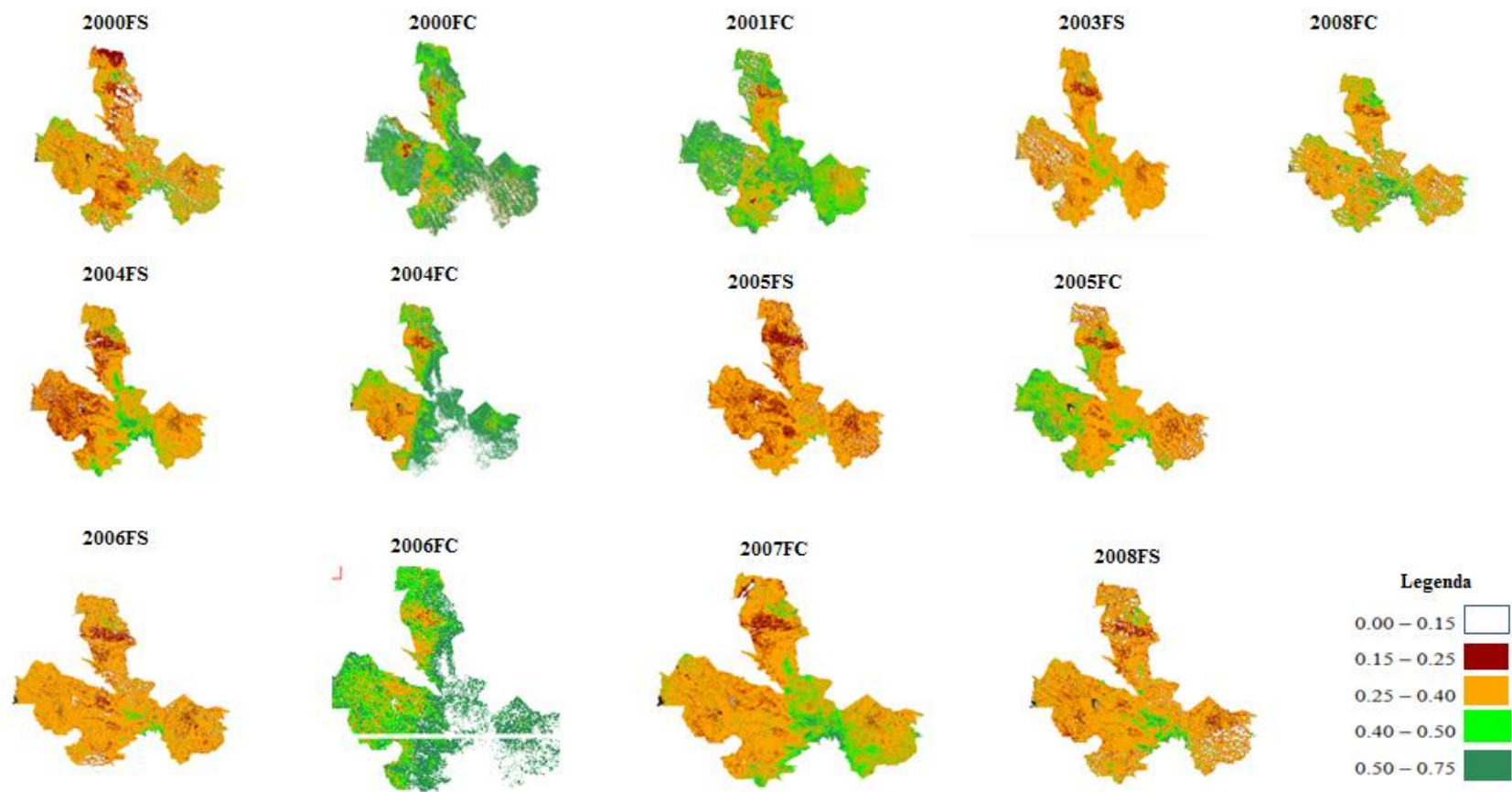
vegetação, pois se observa a boa recuperação da vegetação, principalmente para os anos 2000FC, 2004FC e 2006FC (Figura 5).

De maneira geral, a média dos valores de NDVI para a série temporal foram baixos, havendo alguns valores elevados do índice nos períodos chuvosos. No entanto, observou-se que nos anos 2005FC e 2008FC, após o período chuvoso a vegetação respondeu em menor intensidade. A baixa resposta da vegetação é um indicativo da baixa resiliência desta em se recuperar mesmo diante de precipitações, isso é característica típica da desertificação, pois o empobrecimento destas áreas associado com a deficiente cobertura vegetal, causado pela presença antrópica, leva ao esgotamento do solo, reduzindo a quantidade de nutrientes para as plantas, levando ao longo do tempo ao empobrecimento do solo e da vegetação, desenvolvendo áreas que mesmo com precipitação, não se verifica resposta a vegetação.

Com exceção dos períodos 2000FC, 2001FC, 2004FC e 2006FC, todos os outros anos, apresentaram valores de média do NDVI dentro do intervalo de classe (0,25 - 0,40). Este escore de NDVI durante as épocas chuvosas e secas é um alerta para a existência da desertificação nestas áreas, sendo confirmado pelos valores de NDVI encontrados por Lamchim *et al.* (2016) para áreas com nível médio de desertificação.

A Figura 7 representa os mapas de NDVI referente a série temporal 2000 a 2008. Nela percebe-se a variação dos valores de NDVI durante os períodos chuvosos e secos em todo o núcleo estudado.

Figura 7 - Mapas de NDVI no Núcleo de Desertificação Irauçuba – Centro Norte na série temporal 2000 a 2008



FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO

Fonte: Elaboração Própria

Os mapas do NDVI (Figura 7) revelaram que com exceção de 2000FC, 2001FC, 2004FC e 2006FC, todos os demais períodos mostraram que mais de 40 % da área do núcleo foram correspondentes a classe de 0,25 – 0,40, essa porcentagem se manteve até o final de 2008FC, em que 56,7 % da extensão territorial do núcleo estava ocupada por valores de NDVI entre 0,25 a 0,40, indicando a baixa recuperação da vegetação ao longo dos anos e intensificação da desertificação.

Os mapas de 2000FC, 2001FC, 2004FC e 2006FC mostraram que houve aumento do NDVI, colocando o núcleo na classe entre 0,50 - 0,75, que corresponde a áreas não desertificadas. Isso pode ser justificado pelos valores de precipitação que ocorreram no núcleo durante estes períodos que ocasionaram boa resposta da vegetação, no entanto não se verifica a mesma resposta nos períodos de 2005FC, 2007FC e 2008FC, devido a irregular distribuição pluviométrica nestes períodos, acarretando baixa recuperação da vegetação e conseqüentemente baixos valores de NDVI.

A Figura 7 evidencia a influência das condições de precipitação sobre a resposta da vegetação caatinga, desde que a precipitação ocorra de forma bem distribuída e regular a caatinga apresentará boa resposta, caso contrário, nas áreas desertificadas pode não haver boa resposta da vegetação mesmo em condições regulares de precipitação, influenciando no processo de perda de nutrientes causados por processos erosivos, que leva ao empobrecimento do solo e o seu esgotamento, diminuindo a sua capacidade de sustentar a vegetação.

Considerando a presença da classe 0,25 – 0,40 como sendo a de maior ocorrência na grande parte dos anos estudados, fica evidente que mesmo em condição chuvosa, poucos anos apresentaram valores elevados de NDVI, e apenas quatro períodos dos 13 foram indicativos de boa cobertura vegetal, os demais períodos exibiram pouca vegetação em consequência da pouca precipitação, o que indicam a baixa recuperação da vegetação e empobrecimento dos solos destas áreas.

As mudanças no microclima de uma área em decorrência da desertificação pode ser um fator a ser ponderado para justificar a escassez de chuvas, pois a reduzida cobertura vegetal acarreta baixa evapotranspiração, fazendo com que pouco vapor de água esteja na atmosfera, isso provoca redução da precipitação, diminuindo a umidade do solo, afetando o ciclo hidrológico da área.

Assim a presença constante de baixos valores de NDVI durante a maioria dos anos estudados, reforça a hipótese da ocorrência da desertificação destas áreas, e que o

cenário da desertificação pode ter relação direta com a precipitação irregular verificado nos gráficos de chuva apresentados.

Em relação aos resultados do NDVI para o FLONA, os dados das médias do índice podem ser vistos na Tabela 8, bem como, desvio padrão e coeficiente de variação.

Tabela 8 - Média de NDVI, desvio padrão e coeficiente de variação para o FLONA de 2000 – 2008

ÍNDICE	ANO	MÉDIA	DESVIO	CV %
NDVI	2000 (FS)	0,3208	0,039	12,16
	2000 (FC)	0,6152	0,0529	8,60
	2001 (FC)	0,6258	0,0561	8,97
	2003 (FS)	0,0692	0,022	31,82
	2004 (FS)	0,2998	0,0337	11,24
	2004 (FC)	0,322	0,0192	5,97
	2005 (FS)	0,3167	0,0341	10,76
	2005 (FC)	0,3294	0,0317	9,63
	2006 (FS)	0,2903	0,0181	6,25
	2006 (FC)	0,3438	0,0281	8,19
	2007 (FC)	0,3100	0,0258	8,33
	2008 (FS)	0,3069	0,0262	8,54
	2008 (FC)	0,3132	0,0202	6,47

FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO

Fonte: Elaboração própria

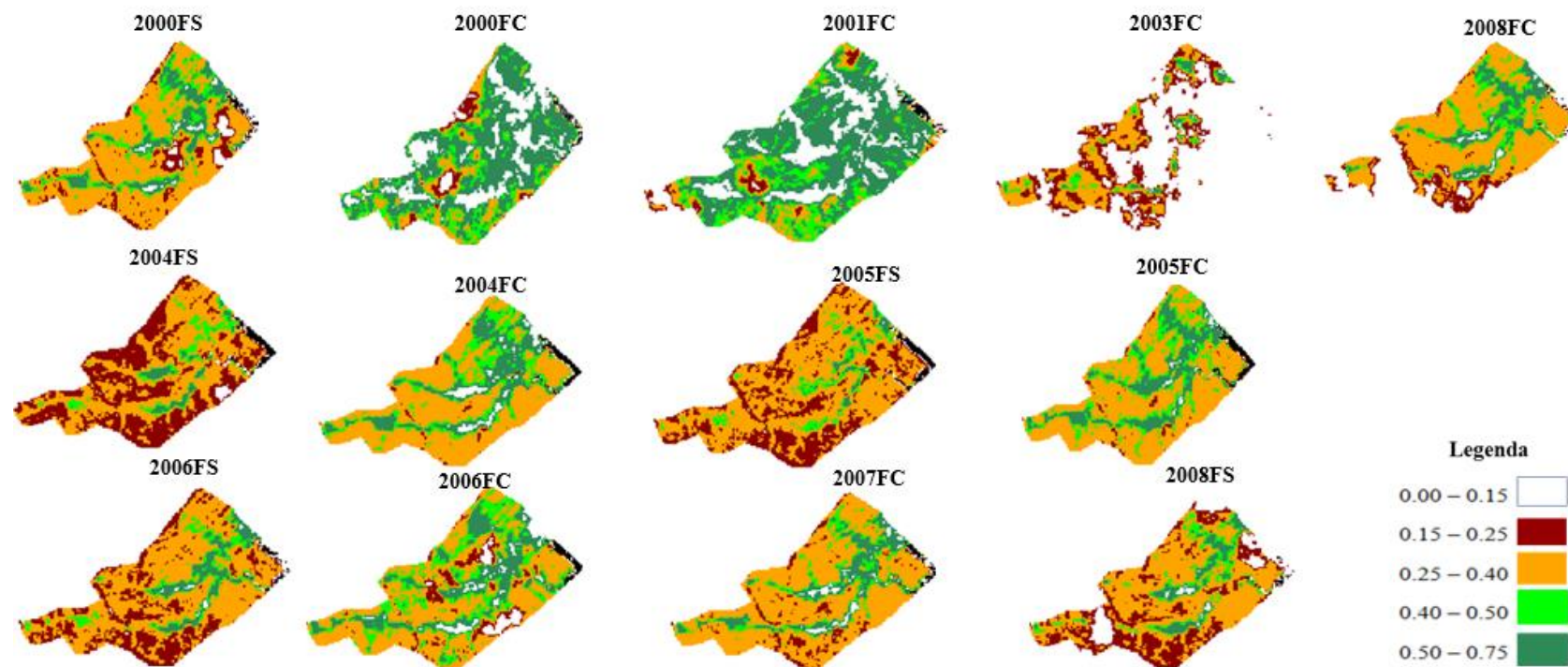
Conforme a Tabela 8, os maiores valores de NDVI foram períodos 2000FC e 2001FC, nestas épocas foram observadas precipitações nos meses que antecederam a aquisição das imagens (Figura 6), favorecendo o desenvolvimento da vegetação, contribuindo para aumento do NDVI para a classe (0,50 – 0,75) que correspondem a áreas não desertificadas de acordo com Lamchim *et al.* (2016).

Com exceção dos anos 2000FC e 2001FC que apresentaram valores de NDVI bem superiores em relação ao seu período seco, todos os outros períodos estudados tiveram seus valores oscilando entre 0,3069 a 0,3438 tanto em período seco como em chuvoso, estes valores estão dentro do intervalo de 0,25 - 0,40 para áreas acometidas pela desertificação (LAMCHIM *et al.*, 2016).

Os valores de NDVI apresentados na Figura 8 levam a deduzir a deficiente cobertura vegetal encontrada no FLONA, pois as classes predominantes foram: 0,25 – 0,40 nos períodos 2000FS, 2004FS, 2004FC, 2005FS, 2005FC, 2006FS, 2006FC,

2007FC, 2008FS e 2008FC típica de áreas desertificadas (LAMCHIM *et al.*, 2016). Por outro lado, os períodos 2000FC e 2001FC exibiram maiores valores de NDVI, pois houve predomínio da classe 0,50 – 0,75 que segundo Lamchim *et al.* (2016) corresponde a áreas não desertificadas.

Figura 8 - Mapas de NDVI no FLONA na série temporal 2000 a 2008



FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO

Fonte: Elaboração Própria

Os valores de NDVI sobre o FLONA foram similares aos encontrados no núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte, pois verifica-se o predomínio da classe de 0,25 – 0,40 na maioria dos períodos analisados, com exceção de 2000FC e 2001FC, todos os demais períodos apresentaram mais de 50 % de seus pixels correspondentes a classe desertificada, reforçando, a ocorrência de degradação no meio (Figura 8).

Na representação espacial do FLONA observa-se a sinuosidade de pixels, este formato está relacionado ao contorno produzido por rios, a identificação destes alvos no FLONA foi importante para justificar o aumento do NDVI nestes pixels (Figura 8), pois ao comparar os mapas do período seco em relação ao chuvoso observa-se que a parte mais externa do FLONA apresenta valores de NDVI reduzidos no período seco (vermelho), com a época chuvosa o reservatório aumenta de nível provocando elevação do nível de água, irrigando estas áreas e acarretando aumento do NDVI (cor laranja), reforçando a importância do açude Jaibaras para manutenção da vegetação do FLONA, o qual poderia estar em situação pior se não fosse à presença de corpos hídricos na área (Figura 8).

Em dados obtidos da WWF, ONG responsável pela compilação das informações sobre as unidades de conservação, verificou-se que o FLONA enfrenta problemas técnicos e operacionais, dentre eles a ausência do plano de manejo, que dificulta o controle sobre as atividades na área. Isso associado às condições precárias de funcionamento podem justificar, os baixos valores de NDVI. A falta de controle sobre a área abre espaço para práticas de desmatamentos, pastejo de animais e outras atividades que têm impacto direto sobre a vegetação.

No entanto, não seria correto dizer que o FLONA está desertificado, visto que outros parâmetros devem ser verificados, contudo seria correto afirmar que em termos de vegetação (NDVI), o FLONA apresentou comportamento similar aos valores de NDVI de áreas desertificadas (0,25 – 0,40).

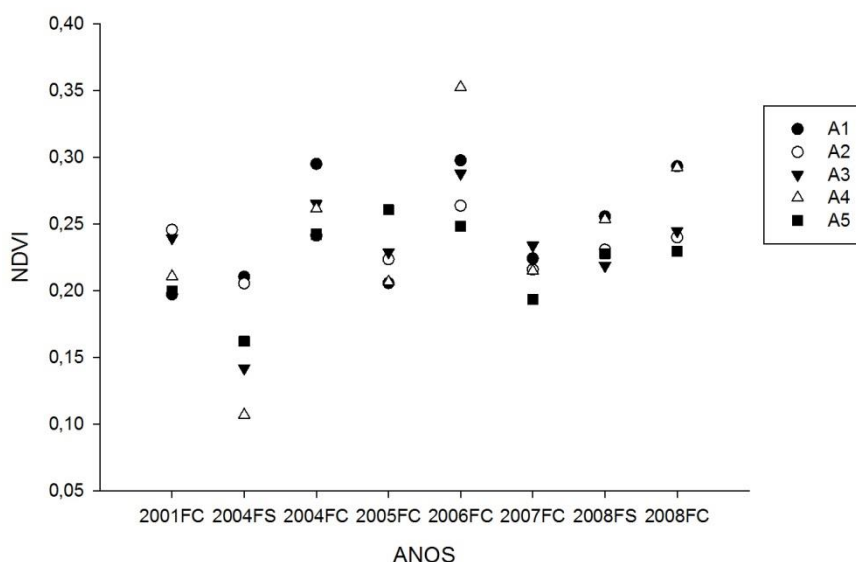
Os valores de mínimo (0,00) e máximo (0,75) correspondem aos intervalos de classes empregados no experimento e os valores de desvio padrão foram baixos indicando a pouca variabilidade dos dados em relação à média, seguido dos reduzidos coeficientes de variação, indicando maior homogeneidade dos dados.

Os resultados do NDVI para as áreas de exclusão podem ser vistos na Figura 9 em que se consegue verificar o comportamento da vegetação em todas as áreas de exclusão durante a série temporal de 2000 a 2008.

Os resultados apresentados revelam que os valores de NDVI foram reduzidos

em todas as áreas de exclusão (Figura 9). Analisando cada unidade experimental de forma individualizada, observa-se que a Fazenda Aroeira (A1) teve os menores valores de NDVI para o período 2001FC e o máximo de NDVI foi observado para o período 2006FC; a Unidade Aroeira (A2) apresentou menor valor de NDVI para 2004FS e o maior para 2006FC; a Unidade Formigueira (A3) o máximo foi observado em 2006FC e o mínimo em 2004FS; a unidade Cacimba Salgada 1 (A4) apresentou máximo em 2006FC e mínimo para 2004FS e por último a unidade Cacimba Salgada 2 teve máximo em 2005FC e mínimo em 2004FS.

Figura 9 - Valores de NDVI para as áreas de exclusão de 2001 a 2008



FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO.

Fonte: Elaboração Própria

De acordo com a Figura 9 os valores de NDVI para as áreas de exclusão revelaram baixo vigor da vegetação. Os baixos valores de NDVI no período seco são compreensíveis e explicáveis devido à pouca presença de água para desenvolvimento da vegetação durante estas épocas, entretanto, verifica-se que mesmo após o período chuvoso houve sensível aumento dos valores de NDVI. Isso se deve ao fato de que os solos destas áreas são caracterizados por serem rasos e de baixa infiltração, que por sua vez apresenta péssimas condições de drenagem, fazendo com que a água fique concentrada na superfície do solo, o que favorece o desenvolvimento de fraca vegetação do tipo gramínea (SOUZA *et al.*, 2001; ALENCAR; CRUZ, 2012).

Os baixos valores de NDVI, também podem estar relacionadas a qualidade

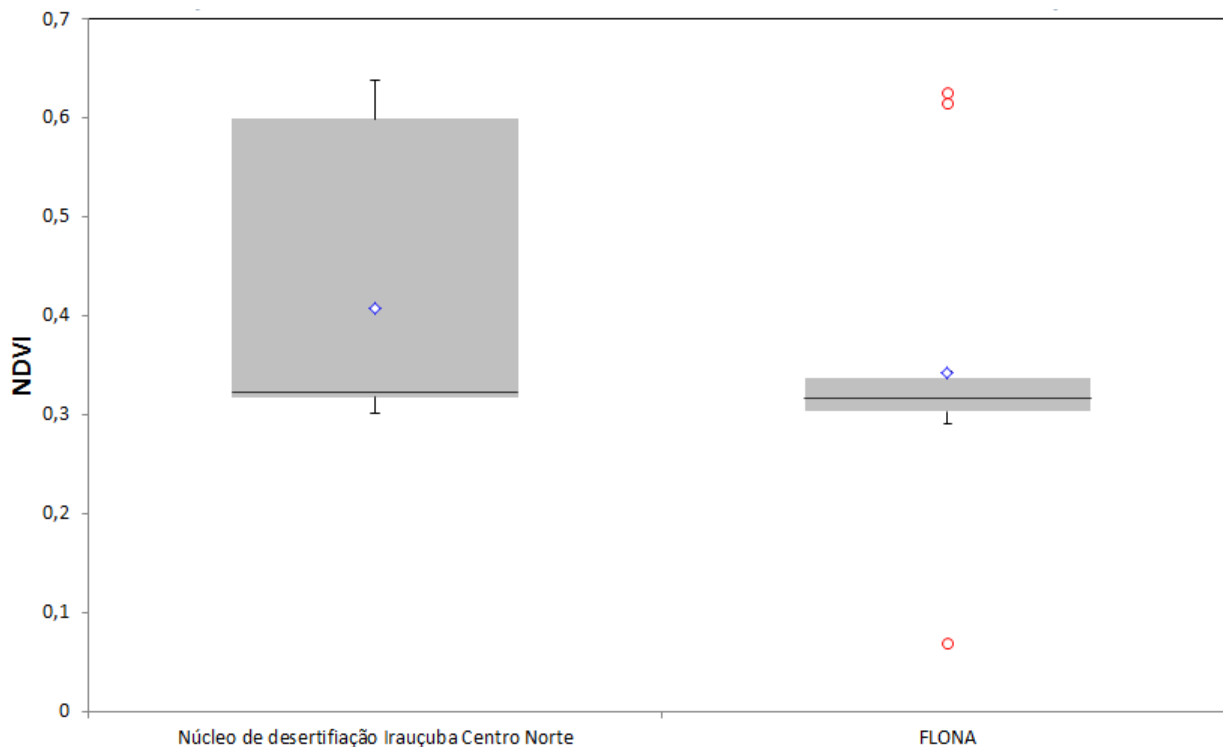
do material orgânico, pois conforme apresentado na Tabela 1 a vegetação típica de todas as áreas de exclusão é do tipo Caatinga Arbustiva Jurema – Preta. Este tipo de vegetação produz resíduos orgânicos de difícil degradação chamados de taninos, que afetam a atividade enzimática, podendo liberar produtos com efeitos tóxicos no solo, como por exemplo, substâncias alelopáticas, responsáveis pela alteração no padrão de germinação e crescimento da vegetação (ADAMCZYK *et al.*, 2017; PAES *et al.*, 2006).

Os resultados do NDVI estiveram acima de 0,1069 e abaixo de 0,3522, indicando pouca cobertura vegetal, permitindo classificar estas áreas como desertificadas segundo LAMCHIM *et a.* (2016).

Os gráficos box plot entre as áreas desertificadas e preservadas podem ser vistos na Figura 10.

Os gráficos de box plot foram utilizados para se verificar o comportamento da variabilidade dos dados de NDVI, TGSi e Albedo para as áreas desertificadas, FLONA e áreas de exclusão, também foi importante verificar a presença de *outliers* no conjunto de dados dos grupos amostrados

Figura 10 - Box plot do NDVI para o núcleo de desertificação e FLONA



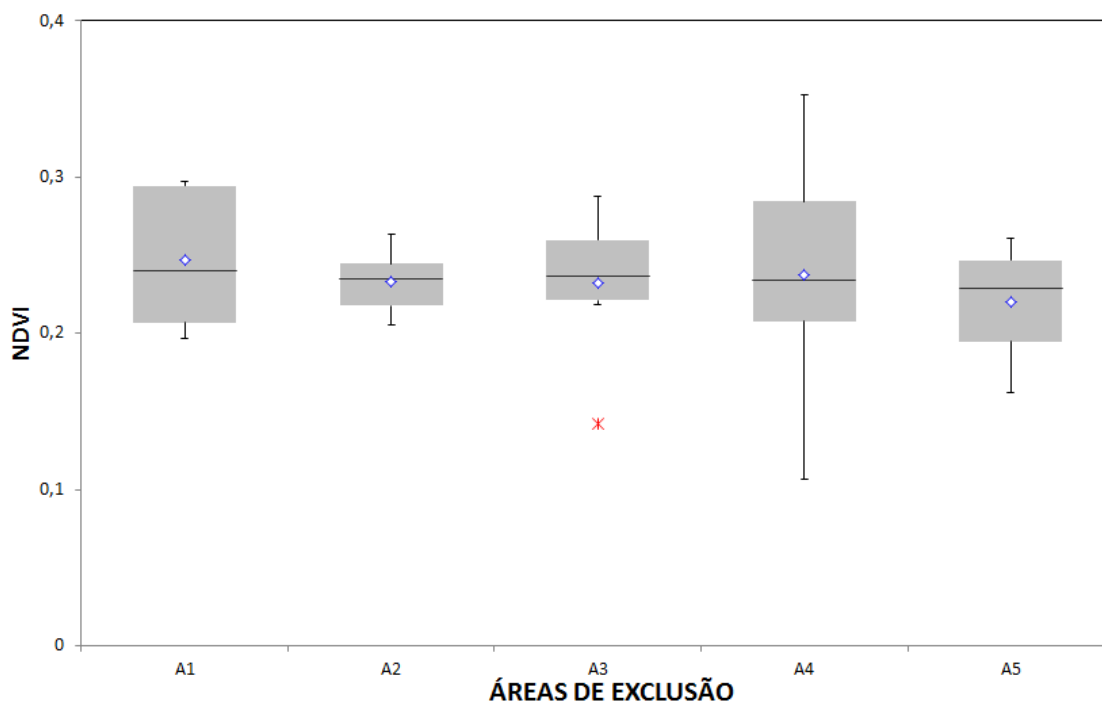
Fonte: Elaboração própria

O núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte apresentou dados de NDVI

mais dispersos, apresentando padrão de distribuição assimétrica em relação ao FLONA de Sobral, que apresentou distribuição mais simétrica dos dados e menor variabilidade, também se verificou a presença de outliers para a área desertificada e o FLONA, representado por valores extremos na parte superior e inferior do gráfico, valores discrepantes para os dados amostrados podem ter sido acarretados pela precipitação pluviométrica ou escassez hídrica, característica de regiões semiáridas, em que os dados de chuvas revelaram irregularidade de distribuição ao longo da série temporal do experimento.

Com relação as áreas de exclusão, as maiores variabilidades foram verificadas nas unidades A1, A4 e A5 (Figura 11).

Figura 11 - Box plot do NDVI para as áreas de exclusão



A1: FAZENDA AROEIRA 1; A2: FAZENDA AROEIRA 2; A3: FAZENDA FORMIGUEIRO; A4: FAZENDA CACIMBA SALGADA 1; A5: FAZENDA CACIMBA SALGADA 2

Fonte: Elaboração própria

As menores variabilidades foram observadas para as unidades A2 e A3, apenas a unidade A3 apresentou valor discrepante na parte inferior do gráfico. De maneira geral observa-se menores dispersão dos dados de NDVI das áreas de exclusão em relação ao núcleo estudado e menores dispersão dos dados do FLONA em relação as áreas de exclusão, não foi encontrado na literatura justificativa para explicação deste fenômeno.

6.2 TGSI

Os dados de TGSI para o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte foram apresentados na Tabela 9. O menor valor do TGSI foi para o ano de 2000FC com 0,1335. Para os demais anos, segue aumento do TGSI atingindo máximo de 0,2562 para 2001FC, isso indica que houve um aumento da quantidade da fração grosseira do solo do núcleo.

Tabela 9 - Média de TGSI, desvio padrão e coeficiente de variação para o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte 2000 – 2008

ÍNDICE	ANO	MÉDIA	DESVIO	CV (%)
TGSI	2000 (FS)	0,2469	0,0197	7,99
	2000 (FC)	0,1335	0,0302	22,66
	2001 (FC)	0,2562	0,0231	9,01
	2003 (FS)	0,2429	0,0228	9,42
	2004 (FS)	0,2345	0,0242	10,35
	2004 (FC)	0,2346	0,0241	10,29
	2005 (FS)	0,2523	0,0237	9,41
	2005 (FC)	0,2277	0,0159	7,00
	2006 (FS)	0,2422	0,0208	8,6
	2006 (FC)	0,1725	0,0373	21,62
	2007 (FC)	0,2475	0,0240	9,71
	2008 (FS)	0,2281	0,0202	8,86
	2008 (FC)	0,2324	0,0168	7,27

FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO

Fonte: Elaboração própria

De acordo Xiao *et al.* (2006), o limiar do TGSI é de no máximo 0,2. Com exceção dos anos de 2000FC e 2006FC, todos os outros apresentaram valores acima do limite do TGSI, denotando provável presença de material arenoso no meio. As análises dos valores de TGSI entre os anos avaliados revelaram valores situados acima do escore estabelecido por Lamchim *et al.* (2016) para áreas desertificadas, ou seja, valores situados dentro do intervalo 0,00 – 0,20.

Os resultados apresentados na Tabela 9 mostraram que em todos os períodos não foram encontrados valores de TGSI negativos que pudessem caracterizar áreas não desertificadas ou presença de argila em relação às demais frações. Houve predomínio de valores maiores do que zero indicando provável presença de textura grosseira sobre o

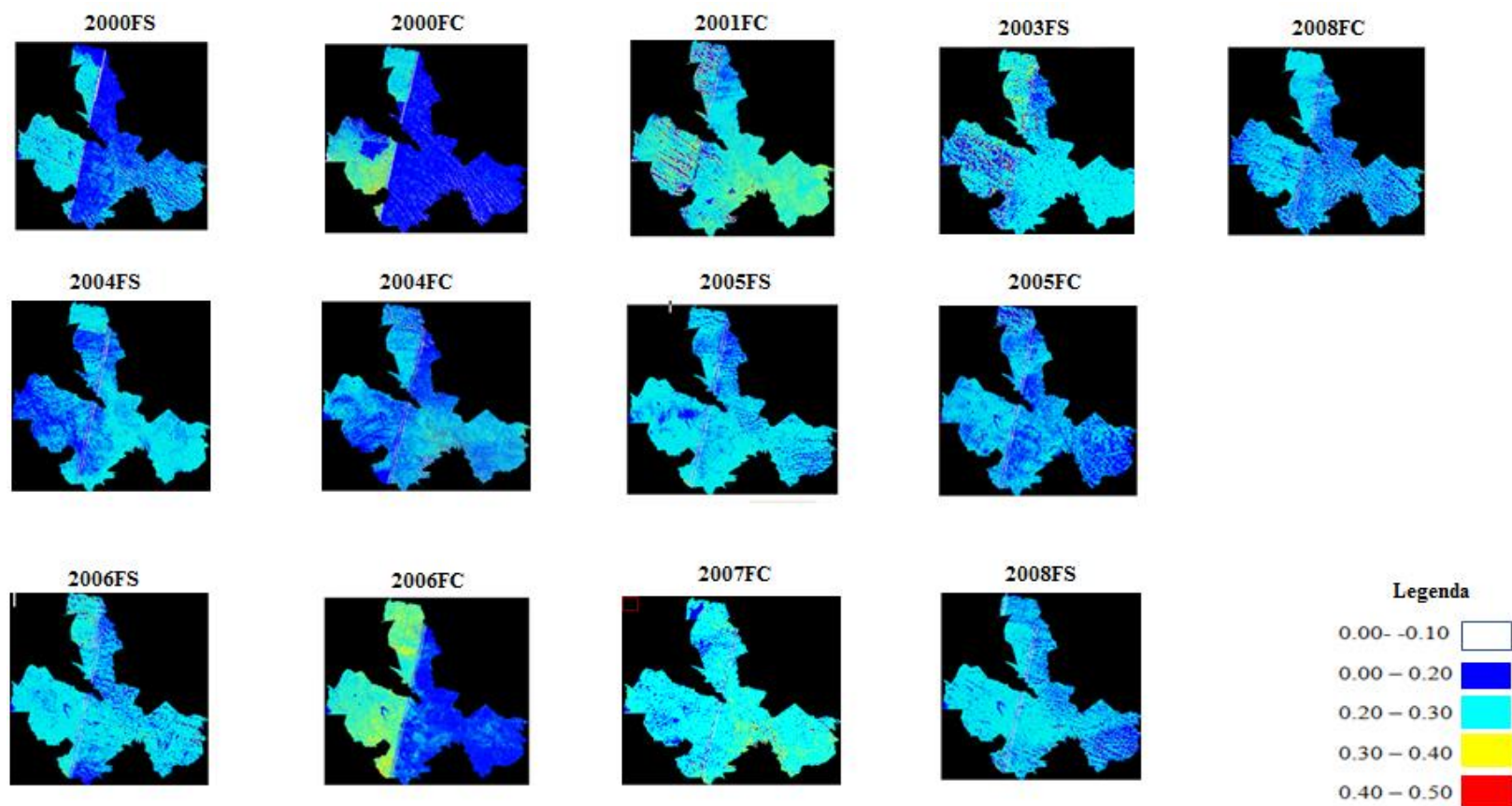
meio, pois segundo Becerril - Pinâ *et al.* (2015) valores positivos do TGSÍ indicam presença de material arenoso na superfície do solo.

Os valores do TGSÍ acima do limite de 0,20 estabelecido por Xião *et al.* (2006) não está associado a nenhum nível de desertificação, pois este é limite do índice, no entanto acredita-se que estes valores podem ser atribuídos às intensas condições de degradação ao qual o meio está submetido, pois o núcleo estudado apresenta, desde muitos anos desmatamento, pisoteio excessivo do gado e uso de práticas agrícolas rudimentares. O manejo destas áreas causa redução da cobertura vegetal, empobrecimento do solo e redução do estabelecimento e da manutenção da vegetação, contribuindo para o aumento das áreas de solos expostos e atuação dos processos erosivos. Os processos de remoção de material para outras áreas (erosão) é algo estabelecido a muitos anos no núcleo. A atuação intensa e contínua dos processos erosivos provocados pelo vento e pela água podem ter esgotado todo material fino do solo, deixando apenas o material grosseiro, justificando os valores de TGSÍ elevados, ou seja, acima do limite de 0,20.

Os valores de mínimo (-0,10) e máximo (0,50) correspondem aos intervalos de classes empregados no experimento, os valores de desvio padrão foram baixos indicando a pouca variabilidade dos dados em relação à média seguidos de baixos valores de coeficiente de variação, indicando maior homogeneidade dos dados.

A Figura 12 mostra as diferentes classes de TGSÍ encontrados para o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte ao longo do tempo.

Figura 12 - Mapas do TGSi no Núcleo de Desertificação Irauçuba – Centro Norte 2000 a 2008



FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO

Fonte: Elaboração própria

Na Figura 12, percebe-se que os mapas demonstraram a predominância dos valores de TGSÍ contidos no intervalo 0,00 – 0,20 representados pela cor azul. Essa classe se manifestou nos períodos 2000FS, 2000FC, 2004FC, 2005FC, 2006FC e 2008FC, indicando áreas desertificadas, conforme Lamchim *et al.* (2016). Os anos de 2000FC, 2004FC e 2006FC apresentaram boa cobertura vegetal, que foi suficiente para proteger o solo da ação dos processos erosivos, reduzindo a perda de material fino para outras áreas.

Os períodos 2001FC, 2003FS, 2004FS, 2005FS, 2006FS, 2007FC e 2008FS observa-se uma mudança dos valores de TGSÍ para valores situados dentro da classe de 0,20 – 0,30, como dito anteriormente, não existem valores na literatura de TGSÍ acima de 0,20 relacionados com a desertificação, entretanto verifica-se que principalmente nos períodos secos foram observados aumentos do TGSÍ. Isso pode ser atribuída a ocorrência da erosão eólica que contribuiu para remoção do material fino, deixando apenas o grosseiro que aumenta o TGSÍ. No período chuvoso, a precipitação, se bem distribuída, melhora a resposta da vegetação que por sua vez atua protegendo o solo da ação do vento e da água. No entanto, a vegetação da caatinga é esparsa, não garantindo proteção eficiente e completa do solo da ação da erosão. Por isso percebe-se que mesmo com altos valores de NDVI foram verificados baixos valores de TGSÍ, entretanto a resposta da vegetação não foi suficiente para que os valores de TGSÍ se reduzissem a ponto de classificá-la como área não desertificada.

Comparando os valores de NDVI e TGSÍ para o ano de 2000FS e 2000FC percebe-se que o NDVI aumentou de 0,3204 para 0,5987, ao contrário do TGSÍ onde o valor diminuiu de 0,2469 para 0,1335, isso também foi verificado no ano de 2005FS e 2005FC, onde o NDVI apresentou um sensível aumento de 0,3182 em 2005FS para 0,3194, enquanto o TGSÍ reduziu de 0,2523 para 0,2277. Mesmo comportamento também foi verificado para 2006FS e 2006FC no qual os valores de NDVI duplicaram de 0,3012 em 2006FS para 0,6375 2006FC, em contrapartida foi notável a redução do TGSÍ para 0,1725 em 2006FC. A explicação para isto está associado ao aumento da cobertura vegetal deixando o solo mais protegido a ação dos processos erosivos (Hadeel *et al.* 2010), no entanto isso não é verificado para os anos (2004 FS – FC) e (2008 FS – FC) pois o aumento do NDVI foi seguido pelo aumento dos valores de TGSÍ, isso pode ter ocorrido devido a distribuição irregular das chuvas neste período que foi capaz de aumentar o NDVI, porém devido a baixa capacidade de infiltração de água nestes solos, ocorreu maior perda por escoamento superficial no meio, favorecendo a erosão de material mais

fino como silte e argila para outros lugares, deixando apenas a areia como fração predominante (LAMCHIM *et al.*,2016).

Na Tabela 10 observam-se as correlações existentes entre o NDVI e TGSI, onde pode-se perceber que as melhores correlações foram em 2000FC (-0,2807) e 2006FC (-0,5412), as variações dos coeficientes de correlação para os anos estudados, estão relacionados a presença de cobertura vegetal, que diminuiu a intensidade dos processos erosivos, reduzindo as perdas de material fino, pois a vegetação funciona como proteção, diminuindo e amortecendo a força de impacto produzido pela água e pelo vento, preservando a fração mais fina no solo.

Tabela 10 - Valores de Coeficiente de Correlação entre NDVI e TGSI no núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte

ANO	NDVI – TGSI (r)
2000 (FS)	0,1829
2000 (FC)	-0,2807
2001 (FC)	0,2517
2003 (FS)	-0,2498
2004 (FS)	0,1675
2004 (FC)	-0,0982
2005 (FS)	-0,0103
2005 (FC)	0,0226
2006 (FS)	0,5560
2006 (FC)	-0,5412
2007 (FC)	0,6121
2008 (FS)	-0,1546
2008 (FC)	0,2030

FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO

Fonte: Elaboração própria

De maneira geral, o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte apresentou valores de TGSI acima do limite proposto por Xiao *et al.* (2006) valores estes superiores aos encontrados por Lamchim *et al.* (2016) em áreas severamente desertificadas.

Os valores de médias do TGSI do FLONA são apresentados na Tabela 11. Os

menores valores de TGSI no FLONA ocorreram em 2005FC (0,1471) e 2004FS (0,1561).
Tabela 11 - Média de TGSI, desvio padrão e coeficiente de variação para o FLONA 2000 – 2008.

ÍNDICE	ANO	MÉDIA	DESVIO	CV %
TGSI	2000 (FS)	0,2240	0,0149	6,68
	2000 (FC)	0,2570	0,0250	9,76
	2001 (FC)	0,2410	0,0233	9,70
	2004 (FS)	0,1561	0,0286	18,34
	2004 (FC)	0,2316	0,0201	8,69
	2005 (FS)	0,2273	0,0132	5,81
	2005 (FC)	0,1471	0,0254	17,28
	2006 (FS)	0,2325	0,0131	6,65
	2006 (FC)	0,2627	0,0209	7,98
	2007 (FC)	0,2472	0,0173	7,00
	2008 (FS)	0,2408	0,0207	8,59
	2008 (FC)	0,2251	0,0154	6,85

FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO

Fonte: Elaboração própria

Os valores de mínimo (-0,10) e máximo (0,50) correspondem aos limites das classes utilizadas no experimento, os desvios se mantiveram baixos, assim como o coeficiente de variação (Tabela 11).

Os valores de TGSI apresentados na Tabela 11, revelaram que, exceto os períodos 2003FS, 2004FS e 2005FC todos os outros apresentaram valores de TGSI superiores a 0,20, limite máximo do índice, que segundo Xiao *et al.* (2006) é indicativo da presença de solo de textura grosseira sobre o solo da FLONA.

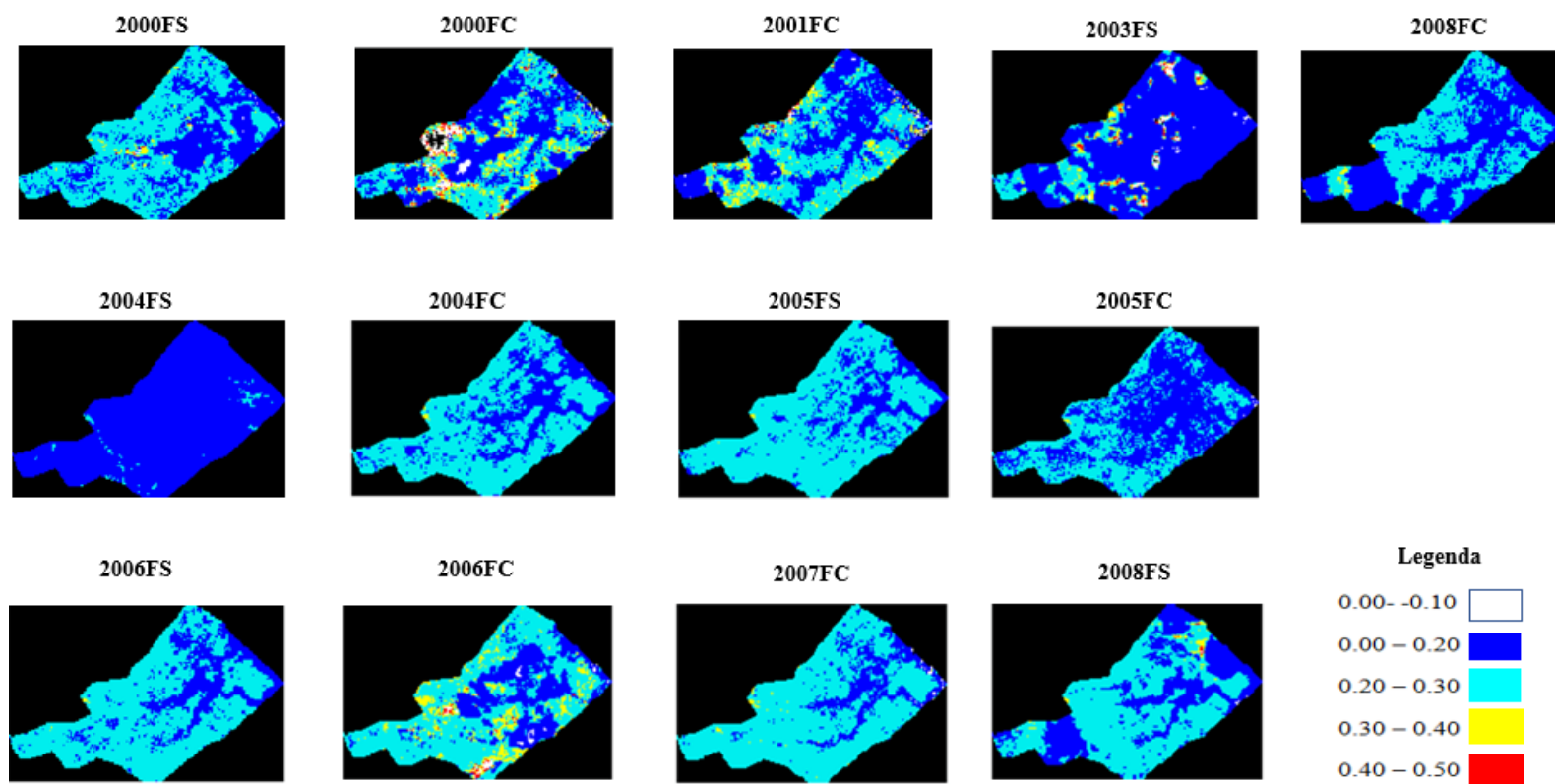
Para estudos de desertificação, valores de TGSI maiores que 0,00 e menores que 0,20 constituem locais com presença da fração areia. Fazendo comparações entre os valores de TGSI para o período seco e chuvoso, observa-se que os anos de 2000FC, 2004FC e 2006FC em relação aos seus antecessores secos apresentaram maiores valores de TGSI, isso pode ser explicado pelo fato da distribuição irregular da precipitação no ano 2000 que contribuiu para perda de material por escoamento superficial e os poucos volumes precipitados em 2004 e 2006, que não foram suficientes para provocarem boa resposta da vegetação a ponto de recobrir os solos e proteger da ação de processos erosivos, o que fez com que a erosão sobre estas áreas atuasse mais intensamente removendo todo material fino, deixando apenas o grosseiro e provocando altas respostas no TGSI. Por outro lado, a menor ação dos processos erosivos está relacionada a proteção

desempenhada pela vegetação, que apesar de ser esparsa, um solo com vegetação sofre menor efeito do vento e da água quando comparado com solos desprotegidos, sendo fundamental para impedir o aumento de material arenoso nestas áreas.

Os valores de TGSÍ do FLONA revelaram a presença de valores superiores a 0,00 em todos os períodos estudados, indicando presença de material grosseiro se sobressaindo em relação as demais frações, isso pode ser ocasionado por fatores relacionados a degradação, causada por presença antrópica no meio. Estas atividades estão alterando a proporção das partículas na superfície do solo (BECERRIL – PINA *et al.*, 2015).

Na Figura 13 observam-se os mapas de TGSÍ contendo as classes do índice durante o período de 2000 a 2008

Figura 13 - Mapas de TGSi para FLONA 2000 a 2008



FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO

Fonte: Elaboração própria

Observando-se os mapas de TGSÍ ao longo dos períodos 2000 a 2008 (Figura 13), nota-se o predomínio da classe de 0,00 – 0,20 em 2004FS e 2005FC. Esse intervalo encontrado para a FLONA é típico de áreas desertificadas, pois os valores encontrados estão dentro do intervalo proposto por Lamchim *et al.* (2016) para áreas com severo estado de desertificação.

Nestes períodos foram registradas reduções dos volumes precipitados sobre o posto pluviométrico do Jaibaras (Figura 5). No entanto, a pouca precipitação ocorrida nesta fase demonstra comportamento regular em relação aos demais anos, isso contribui para menor perda de material da superfície do solo do FLONA devido ao menor escoamento superficial, razão para os valores de TGSÍ serem reduzidos em relação aos demais anos.

Nos períodos 2000FS, 2000FC, 2001FC, 2004FC, 2005FS, 2006FS, 2006FC, 2007FC, 2008FS e 2008FC foram constatados aumento do TGSÍ para classe de 0,20 – 0,30 representado no mapa pela cor ciano. O aumento do TGSÍ em (2000FS, 2004FC, 2005FS, 2006FS, 2006FC, 2008FS e 2008FC) está relacionado com a escassez de água, que não garantiu um bom desenvolvimento da vegetação (Figura 8), tendo a pouca cobertura vegetal deixado o solo desprotegido à ação de processos erosivos, que atuaram removendo as partículas mais finas, deixando apenas a fração grosseira, acarretando altos valores de TGSÍ.

O TGSÍ é influenciado pelas condições de erosão ocorridas no meio, sendo que a redução deste se dá em situações de boa cobertura da vegetação que protege o solo da ação da erosão, isso de certa forma diminui a perda de material fino para outras áreas e evita o aumento da areia em relação às demais frações. Entretanto, em regiões semiáridas, a precipitação é irregular, havendo volumes consideráveis de chuvas irregularmente distribuídas, o que contribui para o aumento do escoamento superficial destas áreas, provocando remoção de material mais fino e aumento da areia, justificando o aumento do TGSÍ.

Em áreas com boa cobertura de vegetação, o TGSÍ tende a ser reduzido, devido a redução da intensidade da erosão nestas áreas, o que diminui o aumento da fração areia, de acordo com Xião *et al.* (2006) o TGSÍ varia de forma linear com a quantidade de areia, no que concerne a estudos de desertificação a erosão é um fator recorrente nestas áreas, portanto o aumento da intensidade de erosão provocado por pouca cobertura de vegetação e distribuição irregular de precipitação é refletido em maiores valores de TGSÍ.

Para os períodos 2000FC e 2001FC foram identificados valores altos de NDVI (Figura 8), representando boa cobertura vegetal, entretanto, não foi verificada redução da classe de TGSI no FLONA durante estes períodos. Os registros pluviométricos no Jaibaras demonstraram ocorrência de precipitação regular, pois garantiu um bom desenvolvimento da vegetação, contudo o relevo do FLONA tem topografia acidentada contribuindo para aumento da erosão durante as épocas de chuvas favorecida pela declividade da área.

Os mapas da Figura 13 mostraram o comportamento do TGSI no entorno dos corpos hídricos, observa-se na Figura 8 que os valores de NDVI foram elevados em áreas próximos a corpos de água, indicando bom desenvolvimento da vegetação. O TGSI mostrou valores reduzidos nestas áreas, a justificativa para isso reside no fato de que a vegetação bem desenvolvida protegeu o solo da ação da erosão, o que evitou a remoção de material mais fino na superfície do solo e aumento da quantidade da fração areia sobre ela, entretanto a boa cobertura da vegetação não foi suficiente para classificar o FLONA como área não desertificada.

De certa forma os valores de TGSI sobre o FLONA foram influenciados pela precipitação em menor volume ou de forma irregular, que refletiu na intensidade da erosão sobre estas áreas e na vegetação, a pouca vegetação provocada pelos reduzidos valores de precipitação associado com as práticas de desmatamento e problemas de infraestrutura do FLONA, no sentido da falta de fiscalização e controle sobre as atividades antrópicas no meio, como pastejo de animais, desencadeou a desproteção do solo, favorecendo aos processos erosivos, removendo material fino e aumentando a quantidade de areia sobre o meio, isso afeta o estabelecimento e permanência da vegetação.

Os baixos valores de NDVI associado aos altos valores de TGSI podem ser justificados pela distribuição irregular da precipitação e do impacto humano sobre a FLONA. As ações antrópicas associadas com os problemas administrativos da unidade dificultam as ações de planejamento, fiscalização e conservação dos recursos naturais, isso acarreta um cenário de danos severos a vegetação que favorece ao aumento de áreas de solos expostos e a vulnerabilidade da área à erosão hídrica e eólica, contribuindo para aumento da susceptibilidade da FLONA a desertificação (LV; YU,2011).

Na Tabela 12 observam-se as correlações existentes entre NDVI e TGSI para o FLONA, merecendo destaque os anos de 2000FC (-0.4229); 2004FS (-0.4171); 2004FC

(-0.4708). Nestes períodos foram verificadas correlação linear negativa entre o (NDVI x TGSÍ), indicando que a redução da cobertura vegetal provocou aumento da fração areia no solo, este comportamento foi verificado por Lamchim *et al.* (2016) que obteve a relação inversa entre o TGSÍ e o NDVI em áreas sem desertificação e pode ser justificado pela capacidade da vegetação em proteger o solo da ação dos processos erosivos (HADEEL *et al.*, 2010).

Tabela 12 - Valores de Coeficiente de Correlação entre NDVI e TGSÍ para o FLONA

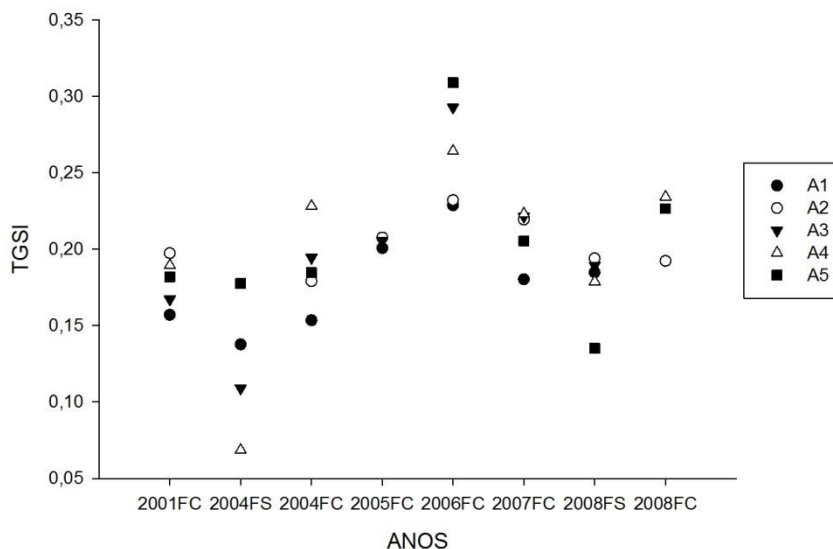
ANO	NDVI – TGSÍ
2000 (FS)	-0,1019
2000 (FC)	-0,4229
2001 (FC)	-0,0758
2003 (FS)	0,0756
2004 (FS)	-0,4171
2004 (FC)	-0,4708
2005 (FS)	0,1177
2005 (FC)	-0,2918
2006 (FS)	0,1080
2006 (FC)	0,0729
2007 (FC)	0,2589
2008 (FS)	0,1662
2008 (FC)	0,1596

FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO

Fonte: Elaboração própria

Nas áreas de exclusão, os resultados do TGSÍ foram elevados em todas as áreas (Figura 14), sendo que a unidade Aroeira 1 (A1) apresentou valor mínimo de TGSÍ em 2004FS (0,1377) e máximo para 2006FC (0,2287), a unidade Aroeira 2 (A2) obteve valor mínimo em 2004FC (0,1791) e máximo em 2006FC (0,2321), unidade formigueiro (A3) apresentou mínimo em 2000FS (0,1090) e máximo em 2006FC (0,2928), unidade cacimba salgada 1 (A4) mínimo em 2004FS (0,0685) e máximo de 0,2642 para 2006FC e por último a unidade cacimba salgada 2 (A5) com menor TGSÍ em 2008FS (0,1352) e máximo de 0,3091 para 2006FC.

Figura 14 - Valores de TGSi para as áreas de exclusão 2001 a 2008



FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO.

Fonte: Elaboração própria

Em todas as áreas de exclusão foram encontrados valores elevados de TGSi, sendo que o menor valor encontrado na série temporal 2000 a 2008 foi de 0,0685 para 2004FS na unidade Cacimba salgada 1 (A4) e o máximo foi de 0,3091 (2006FC) para a unidade Cacimba Salgada 2 (A5), de acordo com Becerril – piña *et al.* (2015) valores positivos do TGSi podem indicar presença de teores de areia superiores em relação aos demais.

A Figura 14 revela valores de TGSi acima de 0,20, valor limite proposto por Xiao *et al.* (2006), acredita-se que este comportamento esteja relacionado aos intensos processos erosivos recorrentes na área, isso foi constatado pelos baixos valores de NDVI que indicaram pouca cobertura vegetal e a ocorrência de solos expostos, favorecendo a erosão.

Os valores do TGSi de 2001 a 2008 (Figura 14) podem indicar a presença da fração areia em relação as demais, isso se deve ao fato de que as degradações causadas pelo sobrepastejo permitiram que boa parte do horizonte A e nutrientes como o P fossem removidos pela erosão laminar, deixando a fração grosseira sobre o solo, esse cenário acarreta a lenta regeneração natural da vegetação nas áreas de exclusão, associado a isso está a baixa pluviosidade na área nos anos de 2005 e 2006, diminuindo a produção de fitomassa vegetal e conseqüentemente a quantidade de cobertura morta sobre o solo, refletido na pouca proteção do solo a processos erosivos e na baixa capacidade de

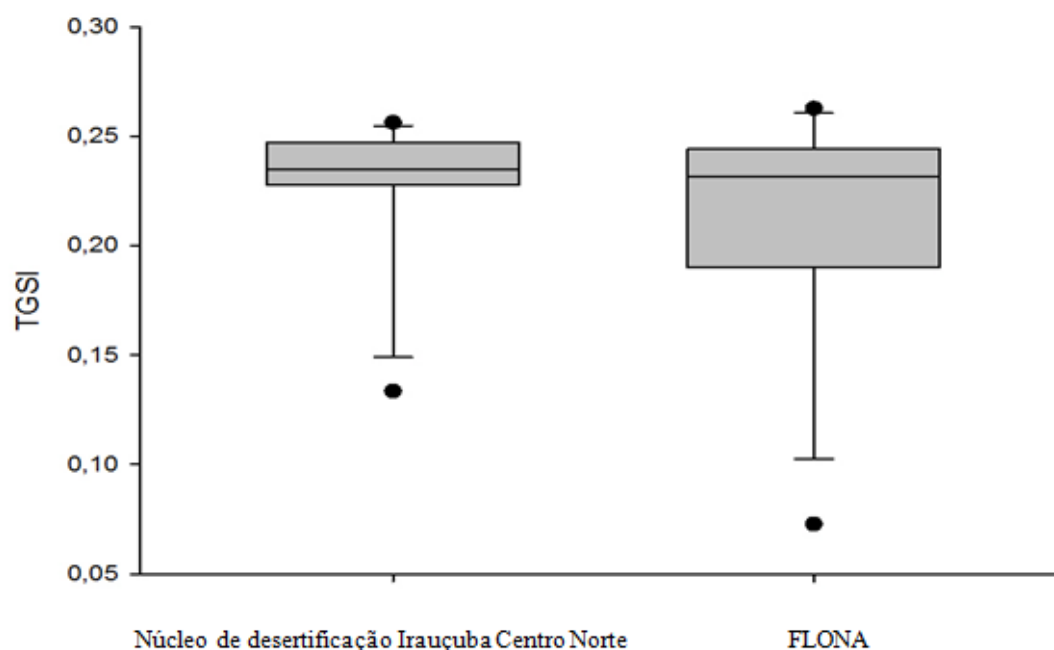
retenção de água do solo no núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte (ARAÚJO FILHO; SILVA, 2015).

Os solos de todas as áreas de exclusão encontram-se em estágio de degradação avançado de acordo com Sousa *et al.* (2012), erodidos e de baixa cobertura vegetal. A intensa erosão laminar da área contribuiu para o estabelecimento de horizontes superficiais arenosos bem como a presença de fragmentos de rochas, isso foi corroborado por Oliveira e Souza (2015) que encontraram nestes solos altas quantidades de areia grossa e fina em relação as demais frações.

Portanto, os valores de TGSi encontrados para o núcleo estudado, foram compatíveis com o TGSi de áreas desertificadas (Lamchim *et al.*, 2016), já que foram verificados a presença de fração areia nestas áreas e a reduzida resposta da vegetação, seguido de degradação provocada pela erosão e empobrecimento do solo.

A variabilidade dos dados de TGSi entre as áreas estudadas, e a presença de valores discrepantes podem ser observados na Figura 15.

Figura 15 - Box Plot de dados de TGSi para as áreas desertificadas e preservadas



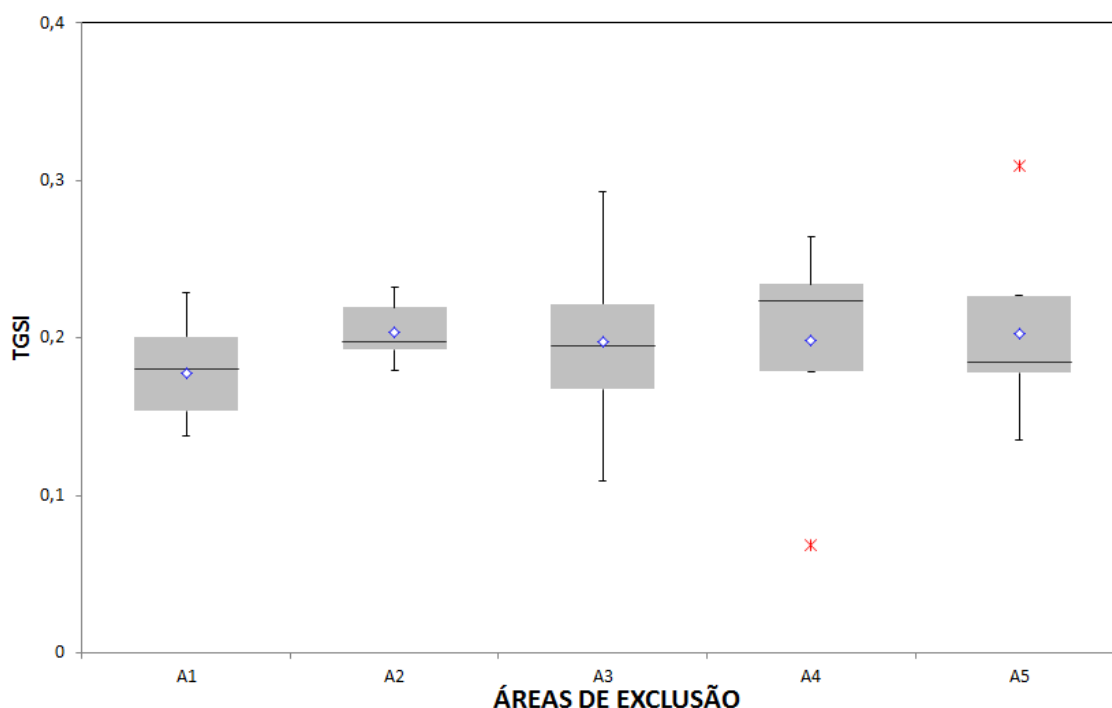
Fonte: Elaboração própria

O gráfico revela que entre o núcleo e o FLONA a maior variabilidade do TGSi foi verificada para o FLONA quando comparado com o desertificado, verificado pelo maior intervalo interquartil, não se conhece as causas para esta variabilidade, outra

importância do box plot é a identificação de outliers, que foram verificados por valores acima e abaixo dos limites do gráficos, esse comportamento para o TGSi está relacionado com as condições de erosão que podem ter sido intensificadas ou reduzidas, dependendo da cobertura vegetal.

Os dados de TGSi para as áreas de exclusão, foram plotados em gráficos box plot, observam-se a pouca variabilidade do TGSi e a presença de outliers na A4 e A5.

Figura 16 - Box Plot de dados de TGSi para as áreas de exclusão



A1: FAZENDA AROEIRA 1; A2: FAZENDA AROEIRA 2; A3: FAZENDA FORMIGUEIRO; A4: FAZENDA CACIMBA SALGADA 1; A5: FAZENDA CACIMBA SALGADA 2

Fonte: Elaboração própria

A pouca variabilidade dos dados de TGSi para as áreas de exclusão é justificada devido a semelhança entre as condições as quais foram submetidas, como desmatamento e sobrepastejo, além disso, a proximidade entre estas áreas acentua ainda mais a homogeneidade de seus dados, acarretando em pouca variabilidade do TGSi.

6.3 Albedo

De acordo com a Tabela 13, os valores de albedo superficial para o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte, indicaram que o ano de 2000FC apresentou os

menores valores de 0,0741, enquanto o maior valor para o índice foi de 0,1485 no período 2005FS.

Tabela 13 - Média do Albedo, desvio padrão e coeficiente de variação para o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte 2000 – 2008

ÍNDICE	ANO	MÉDIA	DESVIO	CV (%)
Albedo	2000 (FS)	0,1266	0,0171	13,54
	2000 (FC)	0,0741	0,016	21,59
	2001 (FC)	0,0773	0,0111	14,40
	2003 (FS)	0,1278	0,0175	13,73
	2004 (FS)	0,1265	0,0283	22,38
	2004 (FC)	0,0800	0,0155	19,43
	2005 (FS)	0,1485	0,0193	13,01
	2005 (FC)	0,1235	0,018	14,63
	2006 (FS)	0,1293	0,0162	12,52
	2006 (FC)	0,0828	0,0086	10,40
	2007 (FC)	0,1166	0,0132	11,37
	2008 (FS)	0,1313	0,0197	15,02
	2008 (FC)	0,1284	0,0232	18,10

FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO.

Fonte: Elaboração própria

Os valores de mínimo (0,00) e máximo (0,55) correspondentes aos limites das classes utilizadas no experimento, os valores de desvio padrão foram baixos indicando a pouca variabilidade dos dados em relação à média, com relação aos valores do coeficiente de variação foram baixos, indicando maior homogeneidade dos dados.

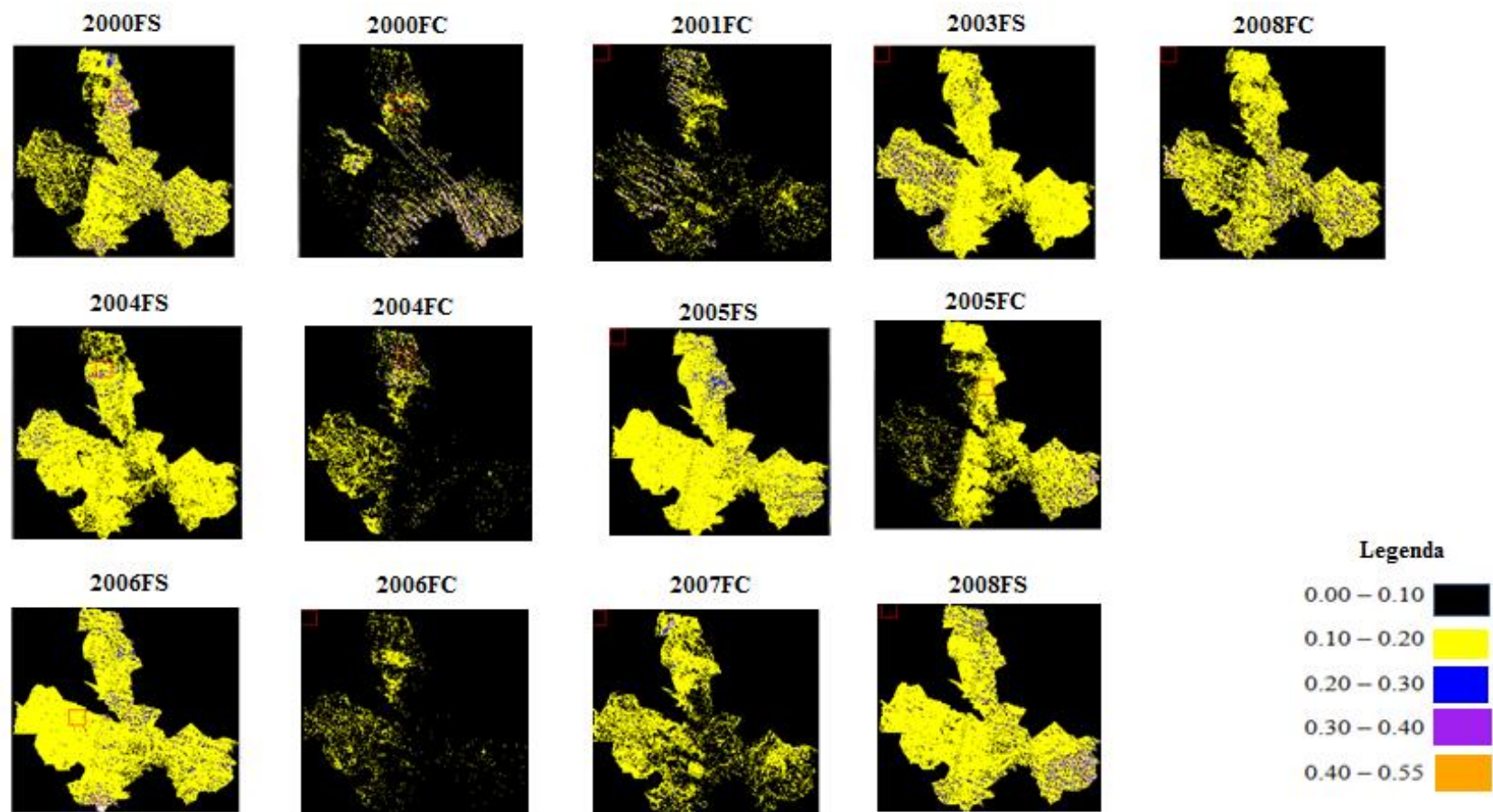
A Tabela 13 apresenta os valores de Albedo Superficial para o núcleo estudado, seus valores foram maiores em épocas de seca como visto nos anos de 2000FS, 2003FS, 2004FS, 2005FS, 2006FS, 2007FS e 2008FS, apresentando valores superiores a 0,10, devido a remoção de material fino como argila e silte, permanecendo apenas a fração areia cuja reflectância é maior, acarretando maiores albedos, também verificam-se a pouca vegetação, seguido de pouco recobrimento e maior exposição do solo a radiação eletromagnética, o que segundo Lamchim *et al.* (2016) é típico de área desertificadas, por outro lado foram encontrados valores de albedo baixos, ou seja inferior a 0,10 que corresponde a áreas não desertificadas no final do período chuvoso, como em 2000FC, 2001FC, 2004FC, e 2006FC.

A justificativa para os valores de albedo ter essa oscilação em épocas secas e

chuvosas devem-se ao fato de que a precipitação ocorrida na área aumentou os valores de NDVI (Tabela 7), aumentando a cobertura vegetal, recobrando o solo e diminuindo a sua refletância, pois a vegetação atua absorvendo a radiação solar e diminuindo a incidência desta sobre o solo, além de aumentar o sombreamento do mesmo provocando redução dos valores de albedo (LIU *et al.*, 2017).

Na Figura 17 observa-se as classes de albedo para o núcleo de desertificação estudado durante a série temporal de 2000 a 2008.

Figura 17 - Mapas de Albedo para núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte de 2000 a 2008



FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO

Fonte: Elaboração própria

Na Figura 17 observam-se as classes de albedo encontradas no núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte e de acordo com a análise dos mapas pode-se descrever que nos períodos de 2000FS, 2003FS, 2004FS, 2005FS, 2005FC, 2006FS, 2007FC, 2008FS e 2008FC houve predomínio da classe 0,10 - 0,20 (cor amarelo), este intervalo corresponde áreas desertificadas de acordo com Lamchim *et al.* (2016); por outro lado, no final do período chuvoso verifica-se a redução dos valores de albedo para a classe 0,00 – 0,10 que representa ambientes não desertificados.

Claramente pela análise dos mapas na Figura 17, a mudança mais acentuada foi observada nos períodos 2000FC, 2001FC, 2004FC e 2006FC, quando os valores de NDVI (Figura 7) foram elevados devido às precipitações em todos os municípios do núcleo (Figura 3). O albedo foi influenciado principalmente pela precipitação que acarretou em melhoria da cobertura vegetal nos períodos citados acima. Em regiões semiáridas reduções nos valores de precipitação afetam diretamente a resposta da vegetação que por sua vez alteram os balanços de radiação na superfície terrestre, pois áreas com poucas coberturas vegetais apresentam maiores reflectâncias do solo, o que contribui para maiores valores de albedo (GODINHO *et al.*, 2016).

Ao final do período seco a pouca cobertura vegetal deixou o solo mais exposto à radiação solar, contribuindo para maiores valores de albedo, o que pode ser verificado pela relação existente entre o NDVI e o albedo. Na Tabela 14, observam-se valores de correlação para os anos 2000FS, 2000FC, 2004FC, 2005FS, 2006FS e 2007FC, os resultados mostraram coeficiente de correlação negativo, indicando que quanto maiores os níveis de cobertura vegetal menores foram os valores de albedo. Tal relação negativa entre o NDVI e o albedo foi constatada por Lamchim *et al.* (2016).

Tabela 14 - Valores de Coeficiente de Correlação entre NDVI e Albedo para o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte

ANO	NDVI – ALBEDO
2000 (FS)	-0,1169
2000 (FC)	-0,2071
2001 (FC)	0,0998
2003 (FS)	0,0334
2004 (FS)	0,0779
2004 (FC)	-0,4611
2005 (FS)	-0,1236
2005 (FC)	0,3576
2006 (FS)	-0,0530
2006 (FC)	0,3614
2007 (FC)	-0,1190
2008 (FS)	0,0107
2008 (FC)	0,4075

FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO

Fonte: Elaboração própria

O albedo foi elevado na área estudada, estes valores podem ser justificados pela baixa cobertura vegetal e o predomínio de fração grosseira, isso decorrente do intenso sobrepastejo provocado pelas altas taxas de lotação. Segundo o IBGE, (2006), a população de bovinos no município de Irauçuba estava 69 % acima da taxa de lotação recomendada para a área, o que reforça a degradação pelo sobrepastejo.

O albedo é um parâmetro extremamente importante em estudos de desertificação, pois mudanças no albedo podem afetar o fluxo de energia e calor de uma área, aumentando a radiação do solo e diminuindo a umidade, prejudicando o crescimento da vegetação, o que afeta a proteção da superfície do solo aos processos erosivos e dificulta o estabelecimento da cobertura vegetal, o que é primordial para reverter a desertificação da área, pois aumentará o índice de área foliar que por sua vez reduzirá os valores de albedo (LIU *et al.*, 2017).

Os resultados dos valores de Albedo correspondentes ao FLONA estão apresentados na Tabela 15, onde foram observados os menores valores nos anos 2000FC (0,0446) e 2001FC (0,0467) e o maior para os anos de 2004FS (0,0605). De maneira geral

os valores de albedo foram reduzidos para a área estudada, apresentando valores inferiores a 0,10, indicando a ocorrência de solos de coloração escura e característico de áreas preservadas (LAMCHIM *et al.*, 2016).

Tabela 15 - Média do Albedo, desvio padrão e coeficiente de variação para o FLONA 2000 – 2008

ÍNDICE	ANO	MÉDIA	DESVIO	CV %
ALBEDO	2000 (FS)	0,0483	0,0028	5,88
	2000 (FC)	0,0446	0,0053	12,00
	2001 (FC)	0,0467	0,0062	13,35
	2003 (FS)	0,0577	0,0126	21,92
	2004 (FS)	0,0605	0,0050	8,26
	2004 (FC)	0,0476	0,0045	9,53
	2005 (FS)	0,0537	0,0034	6,43
	2005 (FC)	0,0480	0,0058	12,24
	2006 (FS)	0,0514	0,0052	10,18
	2006 (FC)	0,0488	0,0098	20,23
	2007 (FC)	0,0510	0,0030	6,05
	2008 (FS)	0,0567	0,0072	12,78
	2008 (FC)	0,0522	0,0058	11,24

FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO

Fonte: Elaboração própria

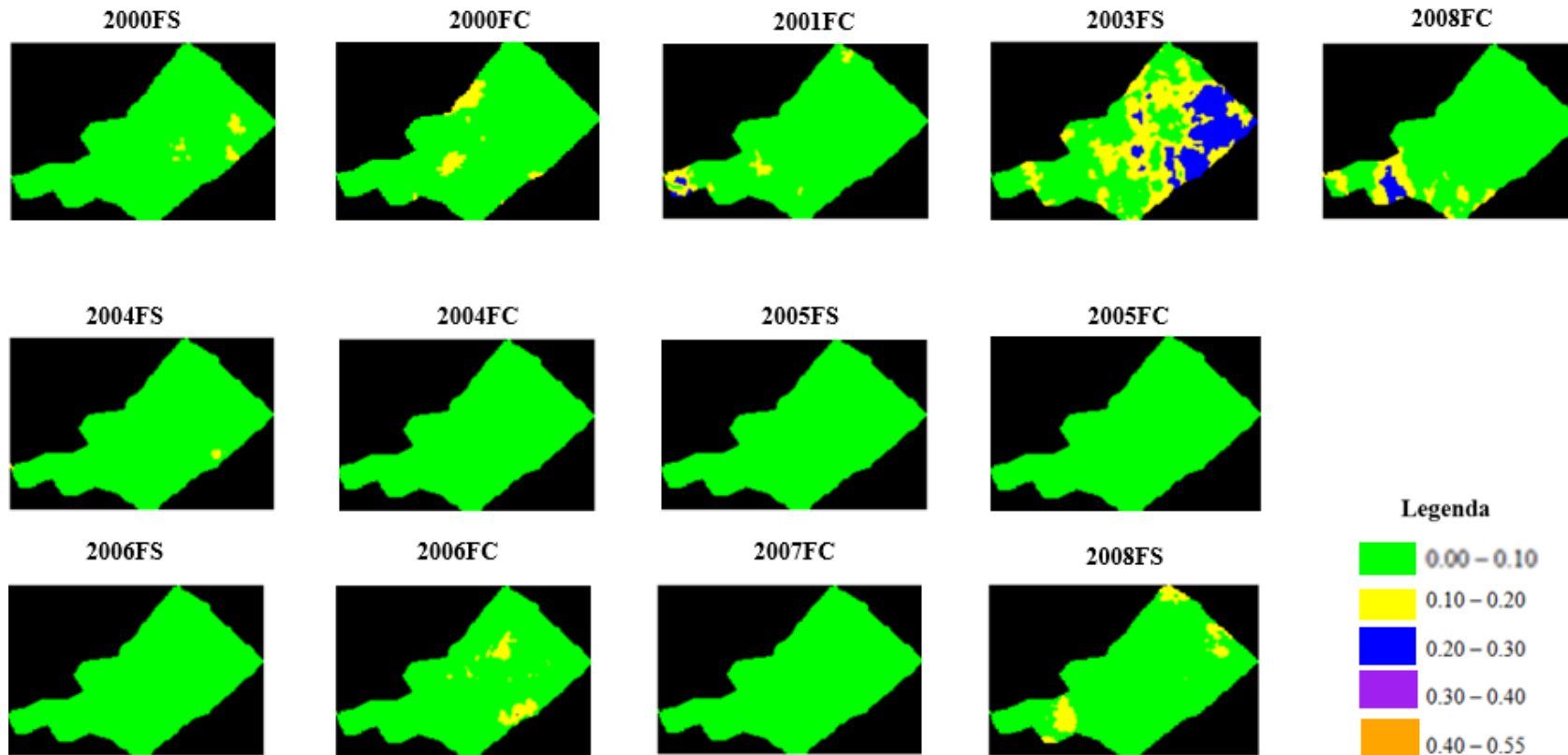
Os reduzidos valores de albedo no FLONA estão associados aos resíduos produzidos pela vegetação da floresta, o que favorece a maior cobertura de solo, diminuindo a reflectância, reduzindo a perda de água pela evaporação e favorecendo a maior adsorção de umidade em sua estrutura. Além disso, vale destacar a ocorrência de corpos hídricos no interior do FLONA, esta justificativa é a mais plausível, pois os valores são compatíveis com albedo de corpos hídricos encontrados por Silva *et al.* (2016), que trabalhando com imagens orbitais obteve valores de média de albedo de 0,053 para água. O albedo é altamente influenciado pela presença da umidade, havendo relação inversa entre albedo e umidade (ZANG; RONGHUI, 2004; CHEN *et al.*, 2006).

Para o FLONA, a redução da reflectância deve-se à presença dos resíduos proporcionados pela vegetação, que atuam na cobertura do solo, diminuindo a reflectância, além da presença de corpos hídricos na área. A atuação conjunta destes elementos acarretou baixos valores de albedo ao FLONA.

Na Figura 18 observam-se as classes de albedo que ocorreram durante a série

temporal 2000 a 2008 no FLONA, percebe-se que ocorre predomínio da classe de albedo (0,00 – 0,10) cor verde, indicativo de áreas com baixa reflectância devido a presença de resíduos que recobrem o solo e a ocorrência de corpos hídricos no FLONA.

Figura 18 - Mapas de Albedo para FLONA 2000 a 2008



FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO
 Fonte: Elaboração própria

Na série temporal de 2000 a 2008, merece destaque a presença da classe 0,00 – 0,10 que corresponde a áreas não desertificadas de acordo com os valores encontrados por Lamchim *et al.* (2016) indicando áreas com presença de resíduos e corpos hídricos. Esses valores baixos de albedo foram verificados em 2000FS, 2000FC, 2001FC, 2004FS, 2004FC, 2005FS, 2005FC, 2006FS, 2006FC, 2007FC, 2008FS e 2008FC.

Baixos valores de albedo podem ter sido provocados em consequência da presença de resíduos, materiais advindos de restos de folhas de plantas. Estes materiais atuam recobrando o solo e diminuindo a incidência da radiação sobre estas áreas, afetando a reflectância do solo e a redução da evaporação do mesmo, aumentando os estoques de água na superfície do solo, sendo estes valores de albedo compatíveis com a presença de água (SILVA *et al.*, 2016).

A ocorrência da classe de valores de albedo baixo (0,00 – 0,10) esteve relacionado com a presença de resíduos provenientes da vegetação, no entanto apesar de ter sido verificado baixos valores de NDVI para o FLONA no geral, indicando baixa cobertura vegetal, a presença de corpos hídricos foi importante para manter a vegetação verde, principalmente nas áreas próximas aos veios de água (Figura 8), isso garantiu a permanência da vegetação sobre estas áreas, assegurando as funções ecológicas da mesma como fornecimento de resíduos e de matéria orgânica.

Os corpos hídricos presentes no FLONA foram importantes para manter a vegetação em atividade, garantindo a sua sobrevivência e funções ecológicas, neste caso o processo de senescência da vegetação acaba deixando material no solo destas áreas e mantendo a matéria orgânica.

Os baixos valores de coeficiente de correlação entre o NDVI e o Albedo verificados para FLONA na Tabela 16, contraria o estabelecido na literatura, pois maiores valores de NDVI devem ser seguidos com baixos valores de albedos. Isso se deve ao fato da relação indireta da vegetação com a reflectância dessas áreas, através da presença dos resíduos e da umidade, ou seja, no FLONA a cobertura vegetal em si não afetou os valores de albedo. No entanto, a presença de resíduos afetou mais do que a própria vegetação. Assim, são necessários estudos de correlações entre os resíduos destas áreas com os valores de albedo, afim de se verificar o nível de relação existente.

Tabela 16 - Valores de Coeficiente de Correlação entre NDVI e Albedo para o FLONA 2000 - 2008

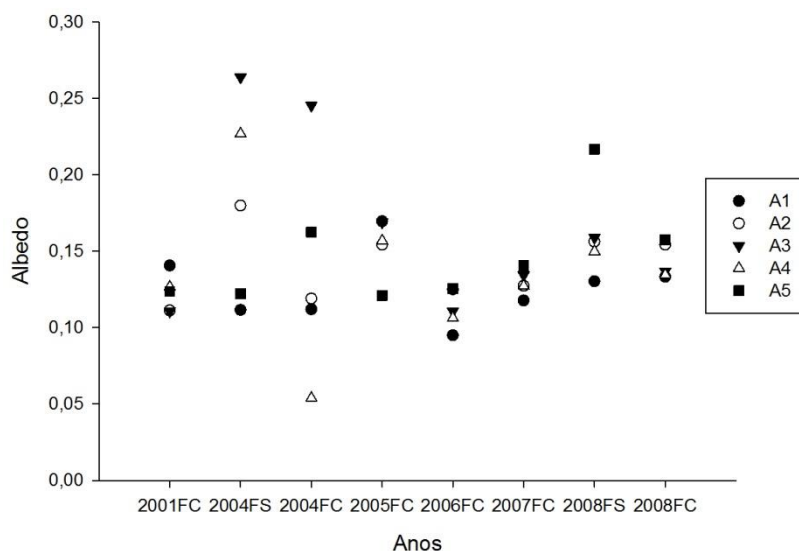
ANO	NDVI – ALBEDO
2000 (FS)	-0,3857
2000 (FC)	0,0452
2001 (FC)	0,1032
2003 (FS)	0,1882
2004 (FS)	-0,0864
2004 (FC)	0,1006
2005 (FS)	0,3704
2005 (FC)	0,0259
2006 (FS)	0,0222
2006 (FC)	0,3966
2007 (FC)	0,1894
2008 (FS)	0,4092
2008 (FC)	-0,2116

FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO

Fonte: Elaboração própria

Os resultados dos valores de albedo foram elevados em todas as áreas de exclusão (Figura 19), onde a unidade experimental Aroeira 1 (A1) apresentou maior valor de albedo em 2005FC (0,1696) e mínimo para 2006FC (0,095); unidade A2 obteve máximo de (0,1799) em 2004FS e mínimo de (0,1112) em 2001 FC; unidade A3 apresentou máximo de (0,2639) para 2004FS e mínimo de (0,1107) em 2006FS; a unidade A4 obteve máximo de (0,2269) em 2004FS e mínimo de (0,0538) em 2004FC e a unidade A5 obteve maior albedo em 2008FS (0,2169) e os menores em 2003FS (0,1210).

Figura 19 - Valores de Albedo para as áreas de exclusão 2001 a 2008



FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO.

Fonte: Elaboração própria

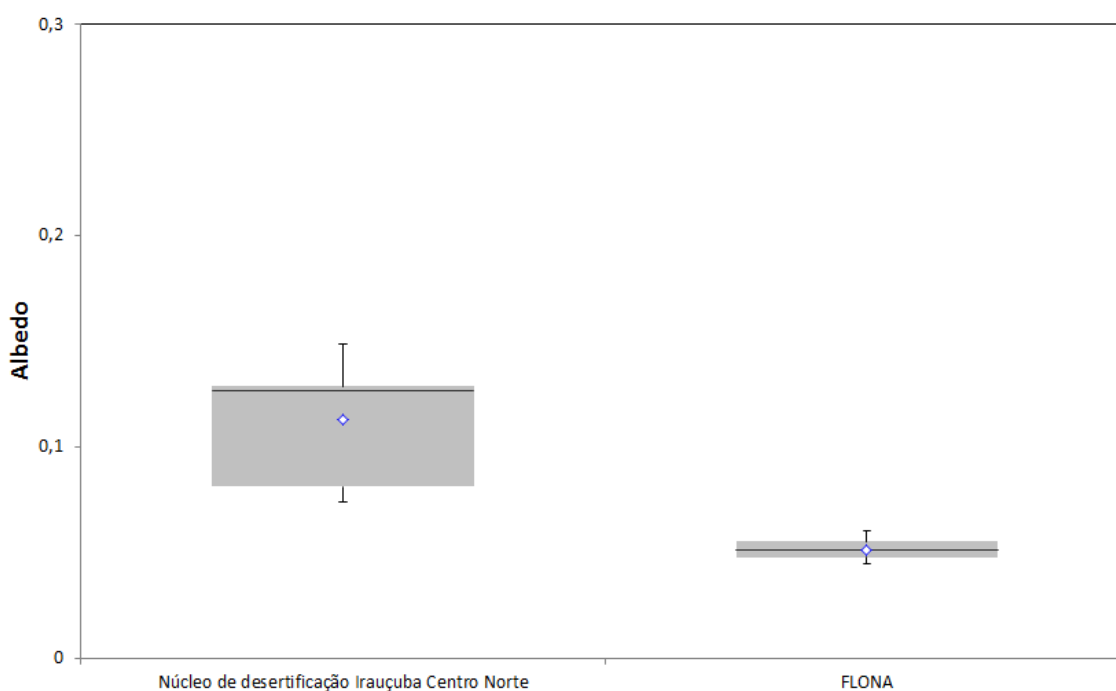
Os valores de albedo foram elevados no início do ano 2000 em que ocorreu a implantação do projeto das áreas de exclusão, isso se deve ao fato de que inicialmente havia pouca cobertura vegetal da área, identificada pelos baixos valores de NDVI (Figura 9). Havendo baixa cobertura da vegetação, o solo ficou exposto a intensos processos erosivos e a radiação solar, o que explica o aumento do albedo. Entretanto, os valores de albedo foram diminuindo (Figura 19) ao longo da série temporal analisada, isso pode ser atribuído a regeneração lenta e gradativa das áreas de exclusão, valendo salientar que os valores de NDVI para estas áreas foram baixos devido ao baixo porte da vegetação, onde foi observado a sua existência contudo não o suficiente para provocarem altos valores de NDVI, entretanto essa vegetação contribuiu para melhoria do fornecimento de resíduos e matéria orgânica a essas áreas reduzindo os valores de albedo, isso foi confirmado por estudos de Araújo Filho & Silva (2015).

Com exceção da Fazenda Aroeira A1, que em 2006FC apresentou valor de albedo de 0,095 e da fazenda Cacimba Salgada A4 que em 2004FC obteve albedo de 0,0538, todos os demais valores para os outros períodos foram superiores a 0,10, que na classificação de Lamchim *et al.* (2016), correspondem a áreas de solos expostos e desertificados, mesmo havendo a redução dos valores do albedo desde o início do projeto até o ano de 2008, ou seja, um intervalo de 8 anos não foram suficientes para modificarem as condições das áreas exclusão desertificadas para não desertificadas.

De acordo com Sousa *et al.* (2012) é necessário um período de pelo menos 7 anos para que os solos destas áreas iniciem o processo de recuperação, isso é um processo lento e gradativo. A redução dos valores de albedo nos últimos anos da série temporal estudada é verificada pelo maior tempo de exclusão destas áreas. Gradativamente a regeneração da vegetação implica em melhorias da qualidade do solo, como proteção do solo a agente erosivos, fornecimento de matéria orgânica e aumento na ciclagem de nutrientes, no entanto, essas características não foram verificadas quando da análise com dados orbitais sobretudo devido ao pouco tempo de exclusão verificado nos anos da série temporal deste experimento.

A variabilidade do albedo entre as regiões desertificadas e preservadas podem ser observadas na Figura 20.

Figura 20 - Box Plot de dados de albedo para as áreas desertificadas e preservadas



Fonte: Elaboração própria

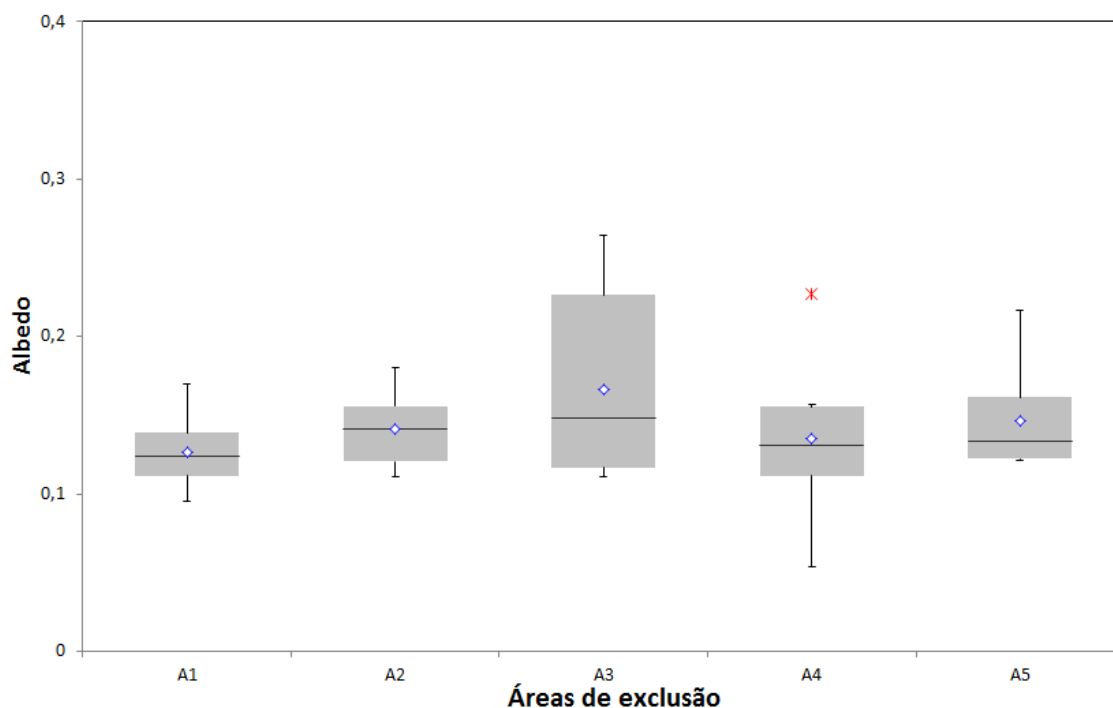
No Box plot do conjunto de dados (Figura 20), observa-se que a área desertificada apresentou mediana próximo ao 3º quartil, indicando distribuição assimétrica dos dados de albedo, ao contrário do FLONA onde a mediana está posicionada bem no meio do quadro indicando simetria dos dados e menor variabilidade.

As condições de campo podem justificar o aumento da variância sobre os

dados de albedo do núcleo, pois não há controle das condições ambientais, ao contrário do FLONA, em que apesar de ser verificado degradação sobre a área, a sua preservação associado com a presença de resíduos tenha resultado em condições mais homogêneas de albedo, conforme é visto na Figura 18.

A variabilidade do albedo das áreas de exclusão podem ser vistas na Figura 21.

Figura 21 - Box Plot de dados de albedo para as áreas de exclusão



A1: FAZENDA AROEIRA 1; A2: FAZENDA AROEIRA 2; A3: FAZENDA FORMIGUEIRO; A4: FAZENDA CACIMBA SALGADA 1; A5: FAZENDA CACIMBA SALGADA 2

Fonte: Elaboração própria

Exceção da unidade A3, todas as demais áreas de exclusão apresentaram baixa variabilidade, indicando maior homogeneidade de seus valores de albedo, a distribuição dos dados foram simétricas nas unidades A1, A2 e A4, as unidades A3 e A5 apresentaram dados com padrão assimétrico de distribuição. A baixa variabilidade destas áreas é atribuída ao controle das condições locais, pois o isolamento e as semelhanças, quanto a vegetação e solo, tem como resultado baixa dispersão dos valores de albedo.

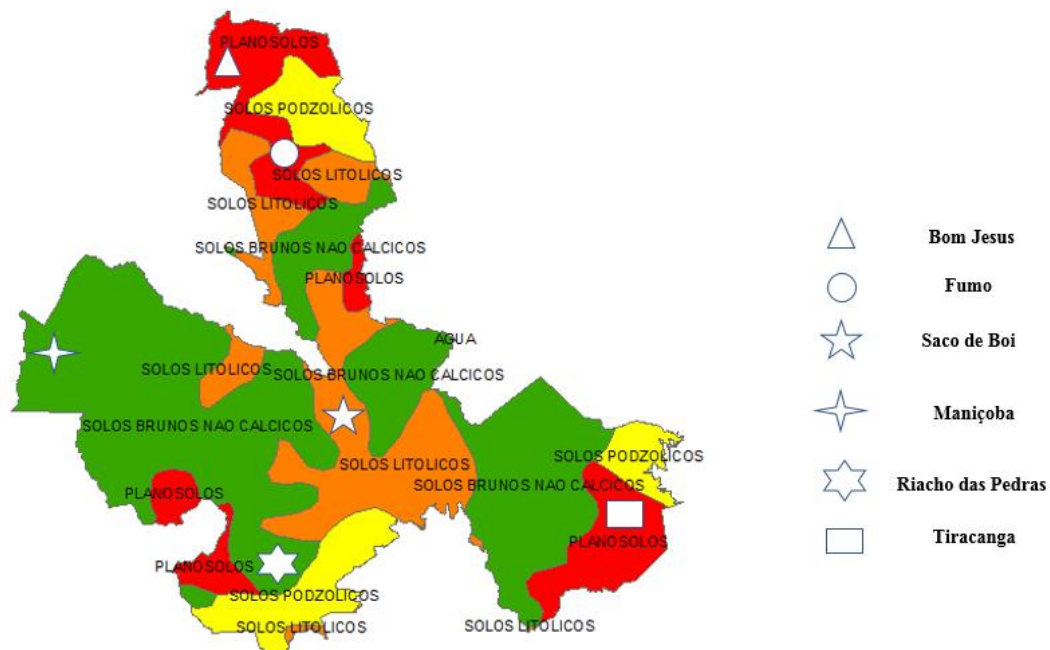
6.4 Linha de Solo

Antes de estudar a linha de solo é importante conhecer as classes de solos existentes no núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte, pois o comportamento da linha é em função do tipo de solo predominante na área.

Conforme observa-se na Figura 22, os principais tipos de solos no núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte são PLANOSSOLOS (1.562,83 km²); NEOSSOLOS LITÓLICOS (1.871,56 km²); LUVISSOLOS (5.014,55 km²) e ARGISSOLOS (1.130,162 km²). O conhecimento da distribuição das classes de solos destas áreas é importante, pois são solos típicos de regiões semiáridas e que apresentam características que podem intensificar a desertificação, devido a presença de horizonte B plânico para PLANOSSOLOS, B textural para ARGISSOLOS e LUVISSOLOS sendo a infiltração de água reduzida devido a baixa condutividade hidráulica destes horizontes, favorecendo o aumento da erosão e contribuindo para a intensificação dos processos erosivos e o início da desertificação. Os NEOSSOLOS LITÓLICOS apresentam baixa permeabilidade hídrica por apresentarem contato direto com a rocha, o que reduz a infiltração de água favorecendo a intensificação da erosão eólica e hídrica.

Na Figura 22 são apresentados os tipos de solos contidos no núcleo de desertificação estudado, observa-se o predomínio dos solos BRUNO NÃO CÁLCICO (LUVISSOLOS), as características apresentadas anteriormente para esta classe de solos têm papel relevante para ocorrência da desertificação, além do mais para estudos de linha de solo é importante saber as classes de solos, pois a linha de solo possibilitará, entre outras coisas, predizer informações mineralógicas destes solos e sua relação com a desertificação, fazendo uso dos *scatter plot 2D*, pode-se observar a concentração de pixels associados a vegetação e a solo exposto e verificar se estas áreas ao longo dos períodos secos e chuvosos apresentaram redução ou aumento ao longo dos anos estudados. Isso será importante para verificar o efeito da desertificação nestas comunidades, pois em áreas desertificadas o esgotamento do solo será refletido na baixa resposta da vegetação, mesmo com a precipitação.

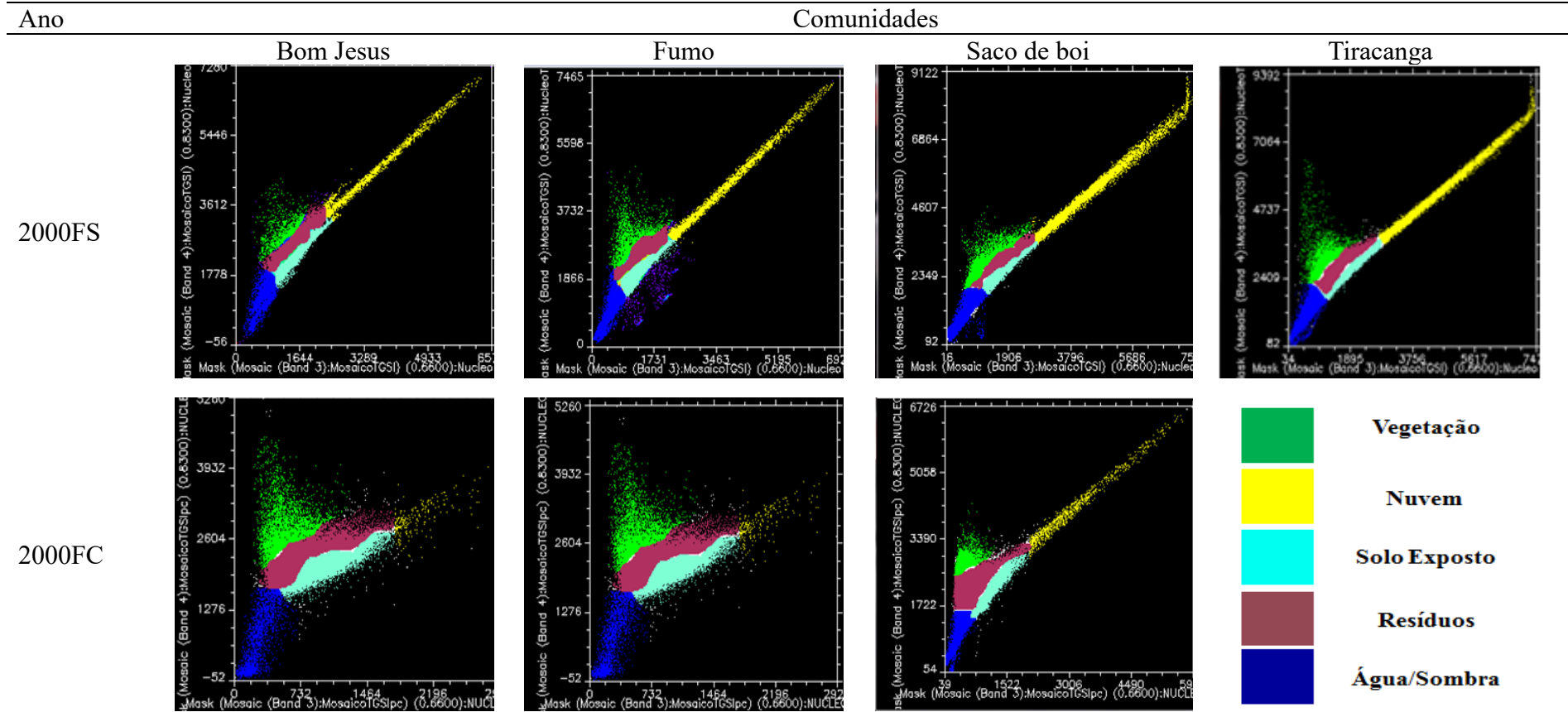
Figura 22 - Classes de solos no núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte



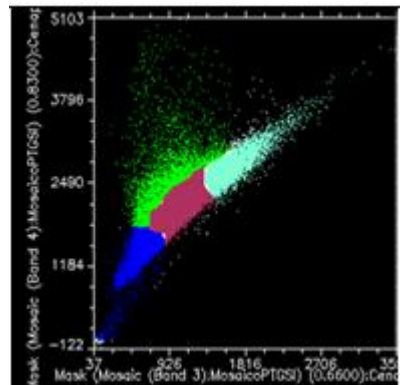
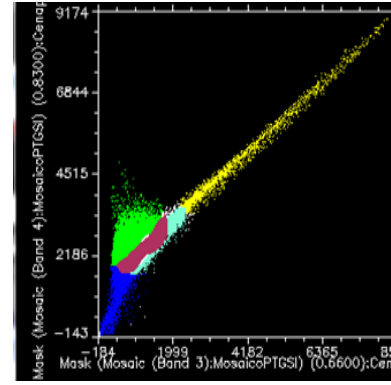
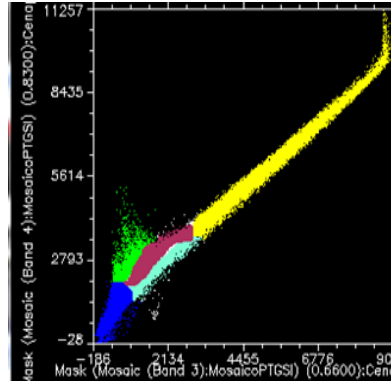
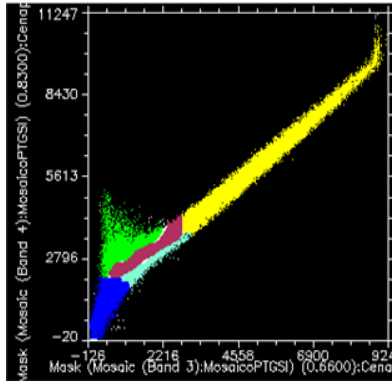
Fonte: Elaboração Própria

A Figura 23 apresenta a linha de solo para as comunidades Bom Jesus, Fumo, Saco de Boi e Tiracanga.

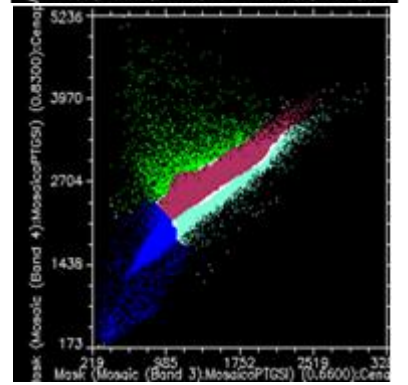
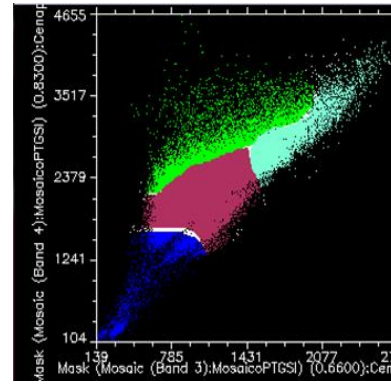
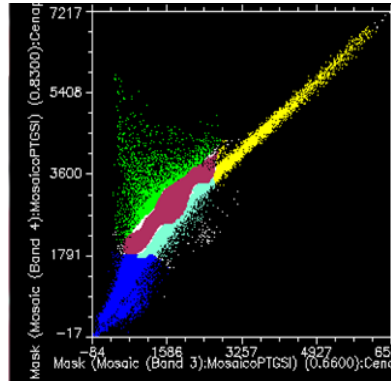
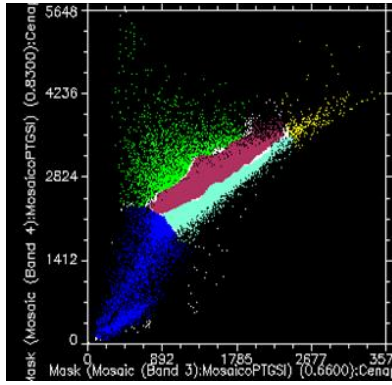
Figura 23 - Linha de solo para as comunidades Bom Jesus, Fumo, Saco de boi e Tiracanga



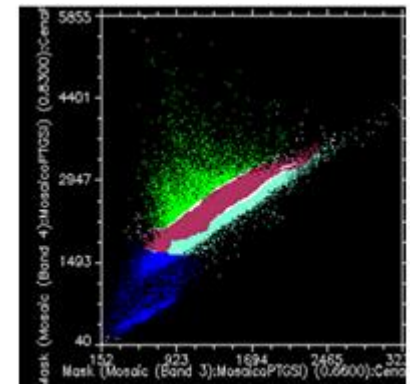
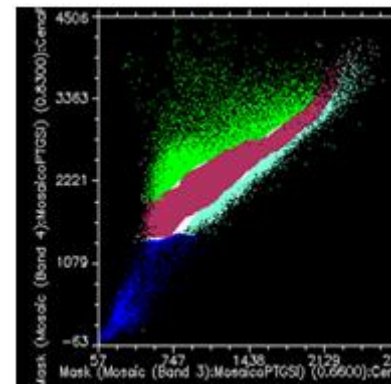
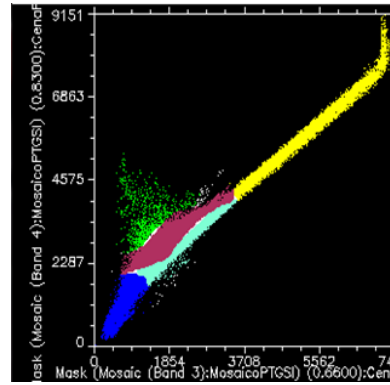
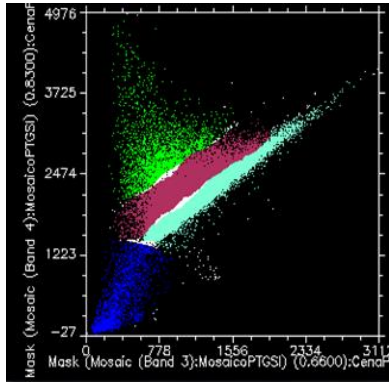
2001FC



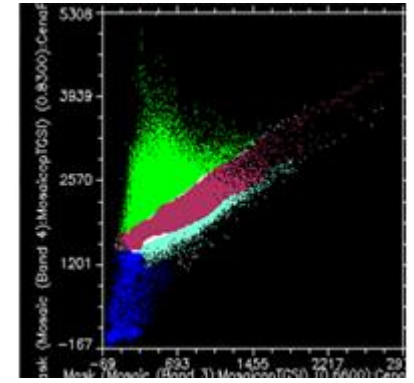
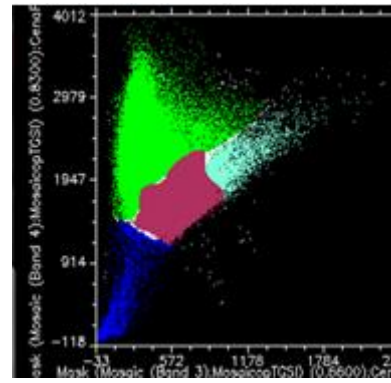
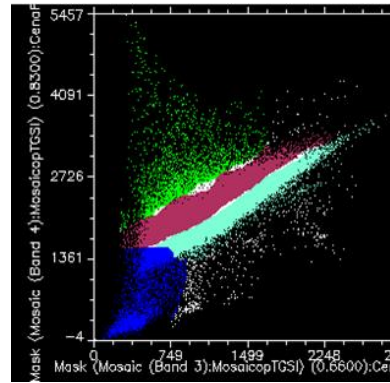
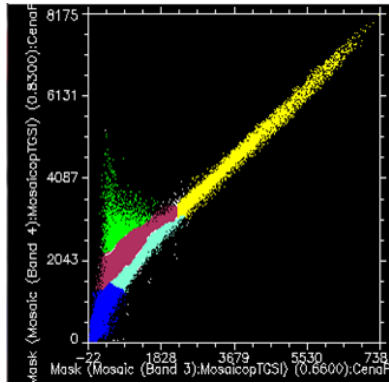
2003FS



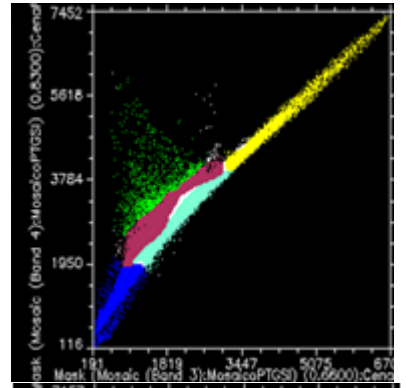
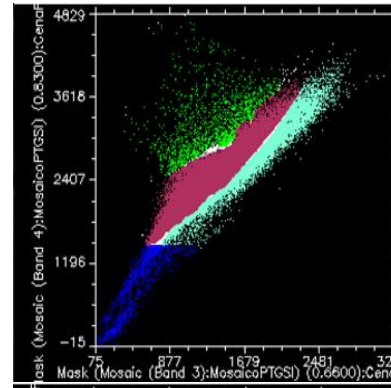
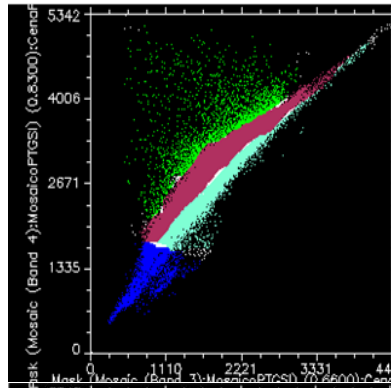
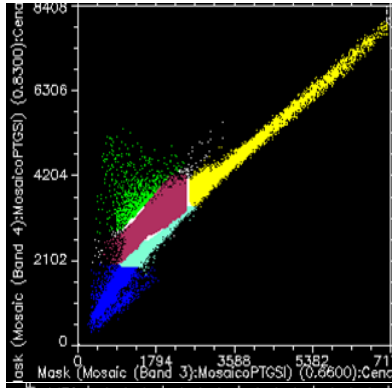
2004FS



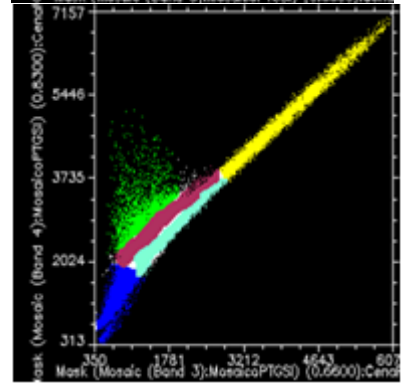
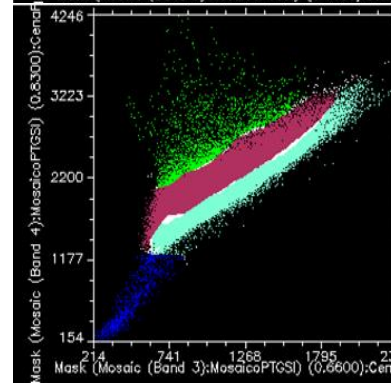
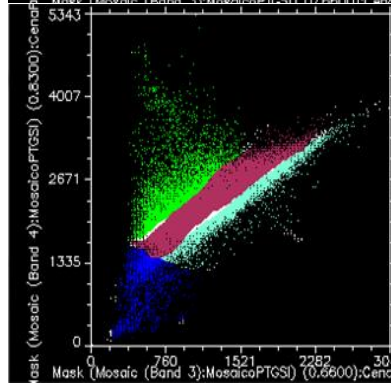
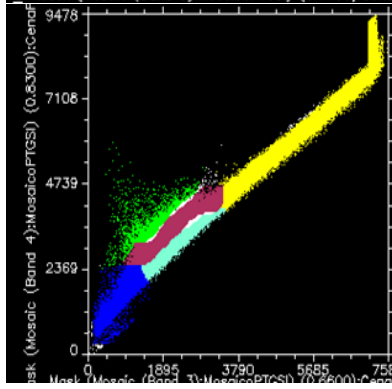
2004FC



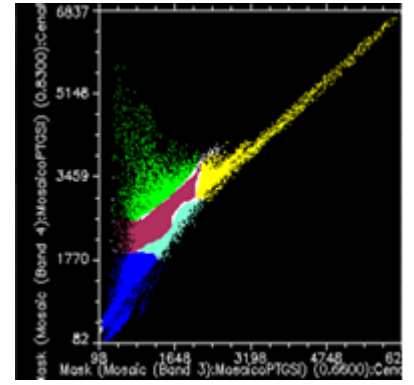
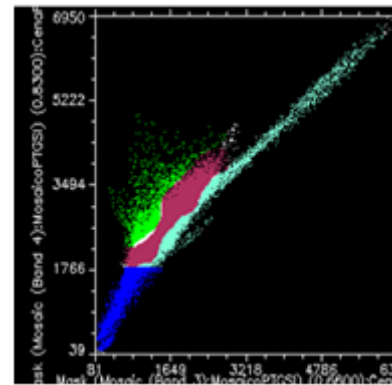
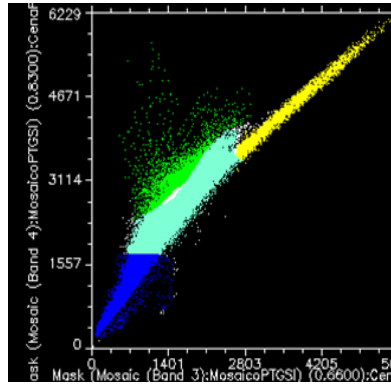
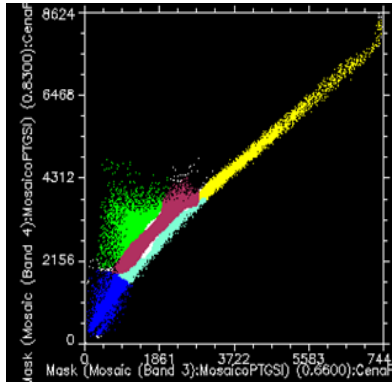
2005FS



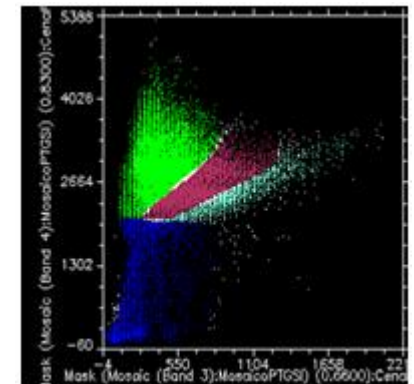
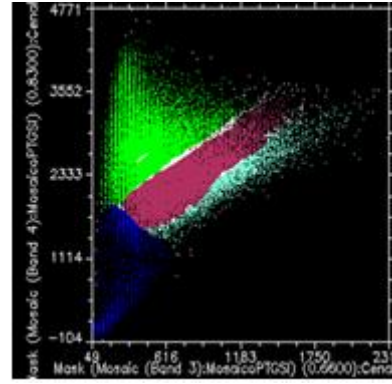
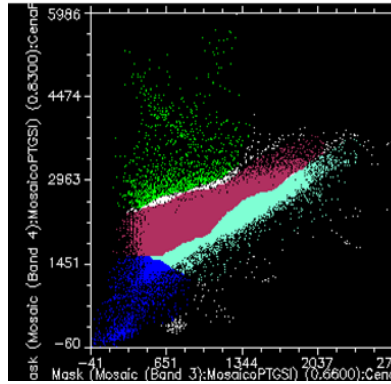
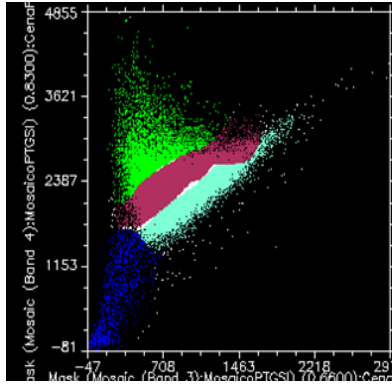
2005FC



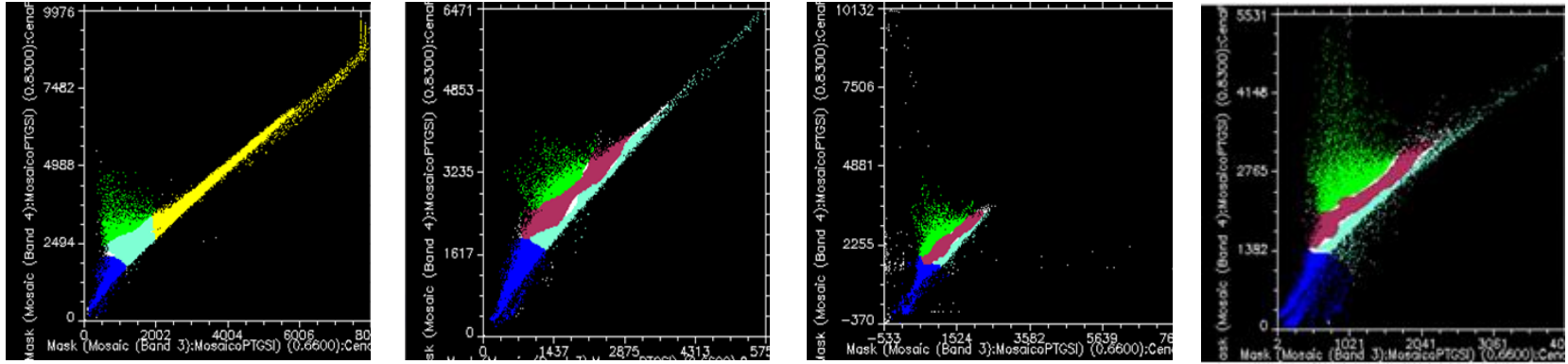
2006FS



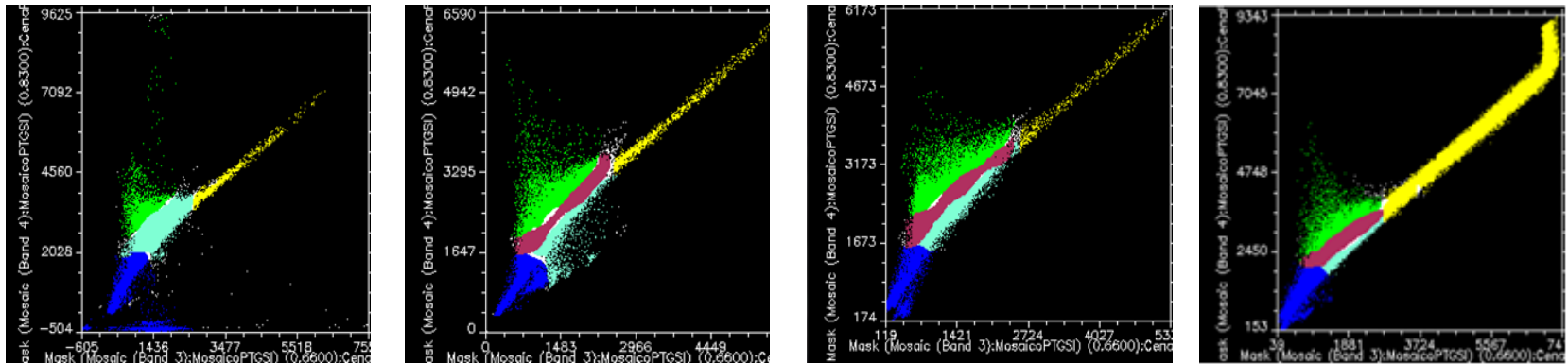
2006FC



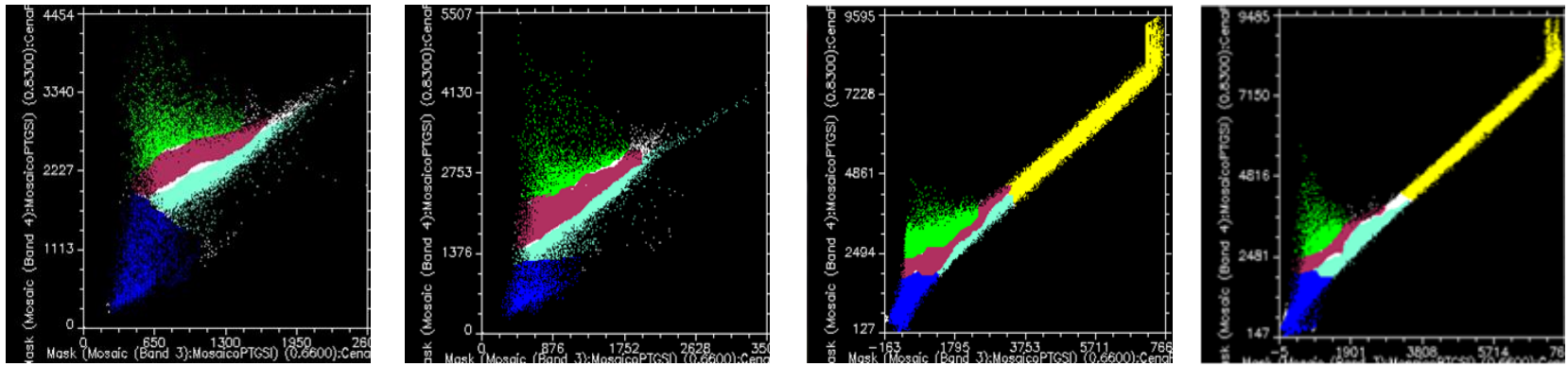
2007FC



2008FS



2008FC



FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO
 Fonte: Elaboração própria;

A Figura 23 apresenta os resultados para as comunidades Bom Jesus, Fumo, Saco de boi e Tiracanga. Observe que as comunidades inseridas em PLANOSSOLO apresentarem pixels situados na base da linha de solo (cor ciano), isso ocorreu devido a coloração produzida pelos PLANOSSOLOS, caracterizados por apresentarem cores pouco vivas tendendo a acinzentadas ou escurecidas, estas cores acarretam baixas reflectâncias nas bandas do visível e do infravermelho, por serem cores mais escuras absorvem mais energia e refletem menos, por isso a concentração de pixels na base da linha.

Na Figura 23 observam-se que existem agrupamentos de pixels associados a baixas reflectâncias da banda 4 (Cor verde) ao longo de todos os períodos analisados, sendo um indicativo da presença de vegetação rala, isso está relacionado com a pouca presença de clorofila que provoca baixos valores de reflectância nesta banda (DEMATTÊ *et al.*, 2016).

Os pixels associados a resíduos (Cor marrom) apresentam altas reflectâncias nas bandas 3 e 4, este comportamento está relacionado pelo fato destes materiais apresentarem componentes químicos como celulose, hemicelulose e lignina que possuem picos de absorção elevados, esta característica produz alta reflectância nas bandas 3 e 4 reforçando a presença de material seco nestas comunidades (DEMATTÊ *et al.*, 2016).

A comunidade Saco de Boi inserida em NEOSSOLOS LITÓLICOS, apresentaram concentração de pixels de solo exposto na parte superior da linha de solo nos períodos 2000FC, 2004FS, 2005FS, 2005FC, 2006FC e 2008FC. Nota-se maior agrupamento de pixels de solos expostos posicionados na parte superior da linha de solo em referência a altas reflectâncias das bandas 3 e 4, não foram encontradas explicações para justificar o fato deste comportamento não ter sido seguido para todos os anos.

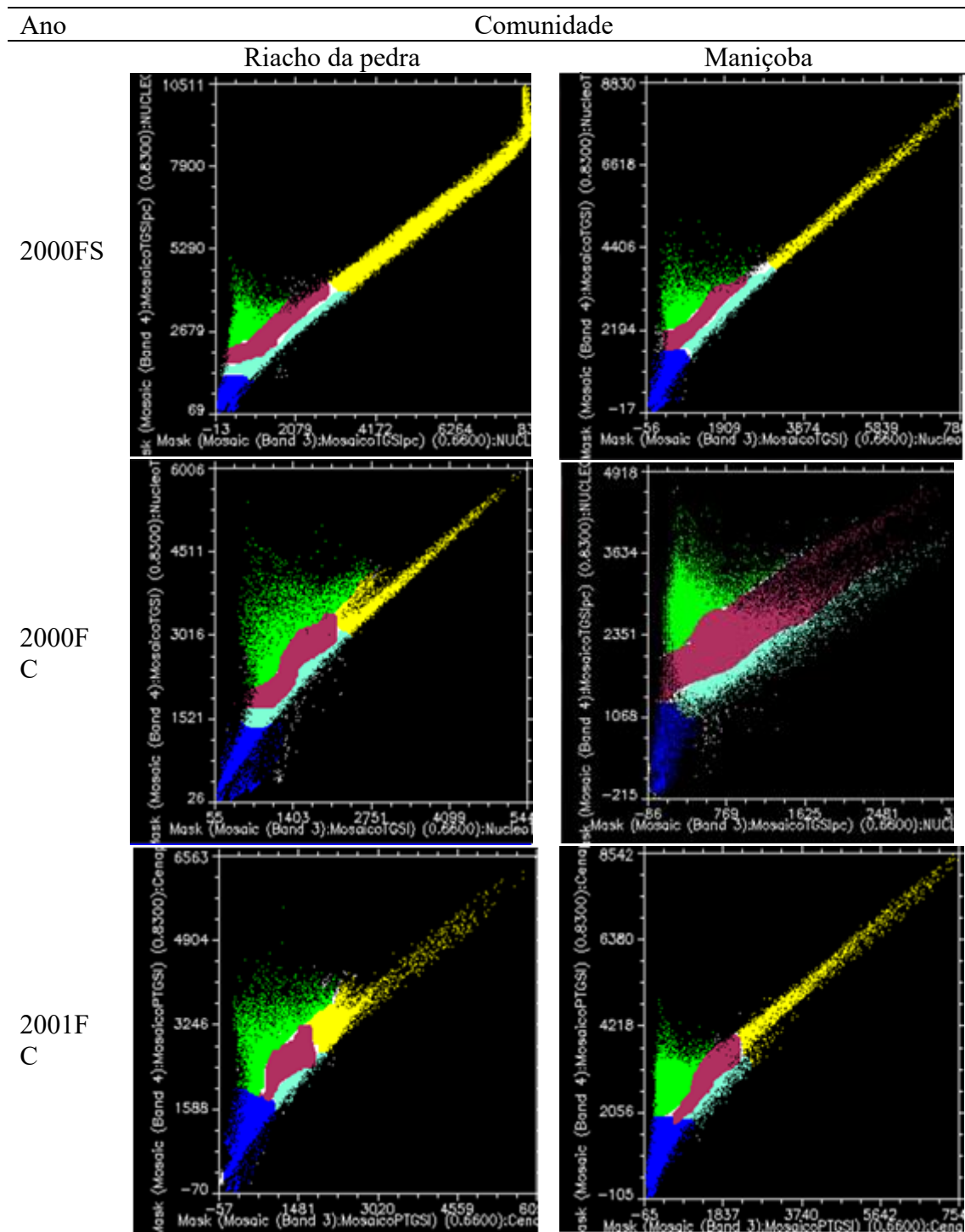
A presença de quartzo é compatível com os NEOSSOLOS LITÓLICOS que são caracterizados por serem pouco desenvolvidos, de reduzida profundidade, em que ocorreram pouca atuação dos processos pedogenéticos, em razão das características mineralógicas de seu material de origem, como por exemplo, maior resistência ao intemperismo ou da influência conjunta dos fatores de formação do solo. A presença de quartzo na superfície do solo fez com a reflectância aumentasse em ambas as bandas, por isso que ocorre agrupamento dos pixels associados a maiores valores de reflectância (DEMATTÊ *et al.*, 2004).

Com exceção da comunidade Saco de Boi, a linha de solo, indicou a presença

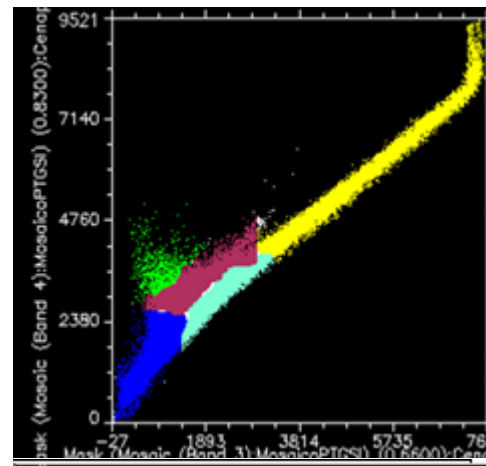
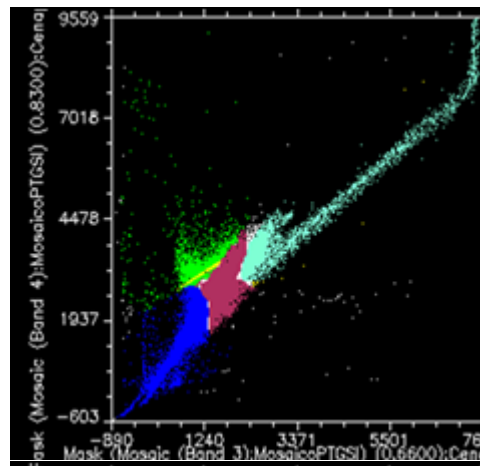
de áreas de baixas reflectâncias, com colorações pouco vivas e acinzentadas típico de PLANOSSOLOS, isso é uma característica importante, pois solos mais escuros tendem a absorverem mais água disponibilizando para as plantas. No entanto, pouca cobertura vegetal verificada em todos os anos estudados denunciam a baixa resposta da vegetação mesmo com ocorrência de precipitações, condição típica de área desertificada, permitindo pouca cobertura do solo e proteção a ação erosiva do vento e da água, podendo acarretar o surgimento de áreas de solos expostos e eventualmente o estabelecimento da desertificação.

Na Figura 24, observam-se os resultados da linha de solo para a comunidade Maniçoba e Riacho da pedra, inseridas em LUVISSOLOS.

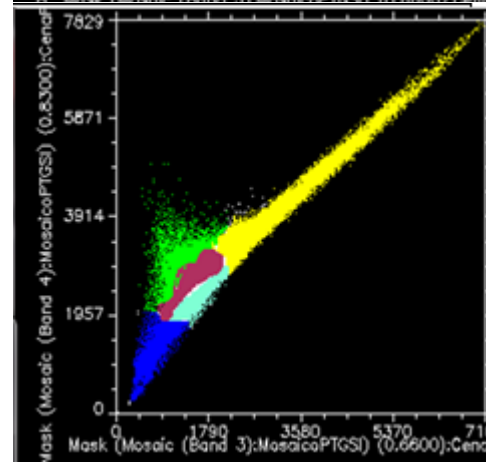
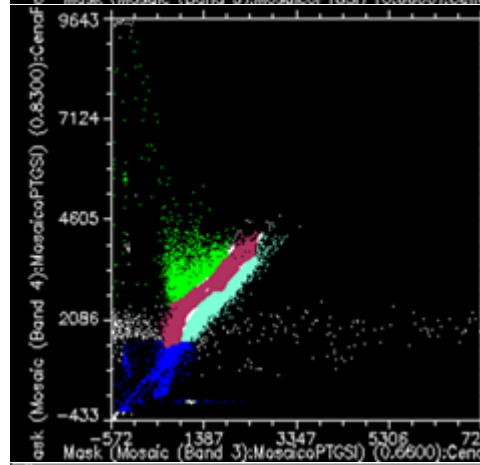
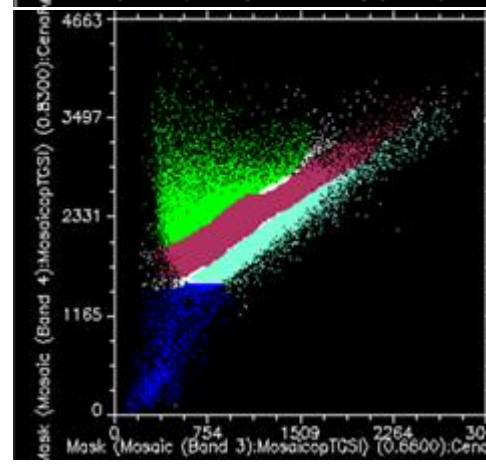
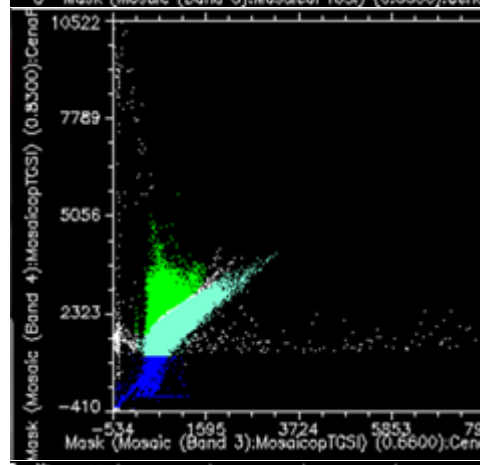
Figura 24 - Linha de solo para as comunidades Maniçoba e Riacho da pedra



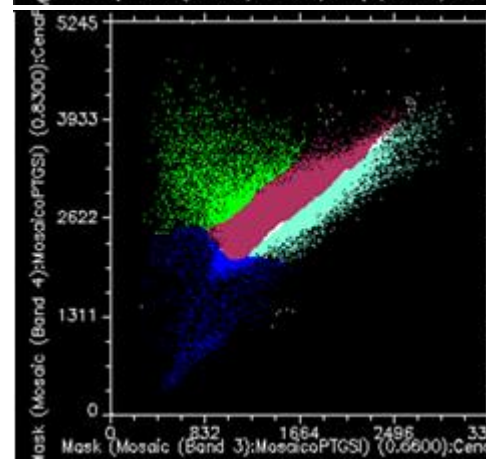
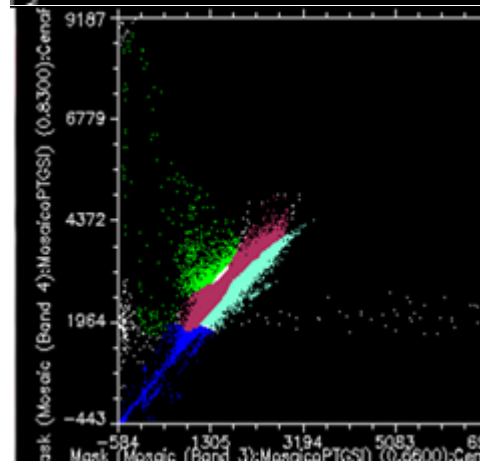
2003FS



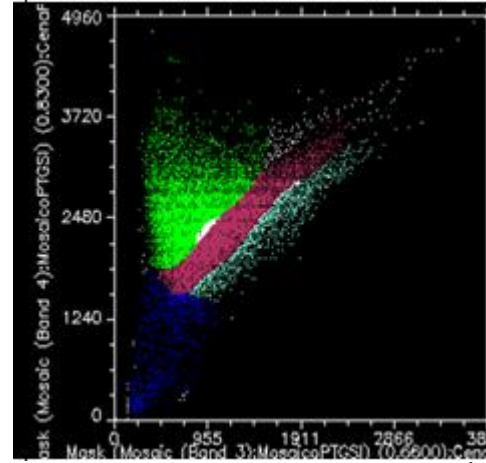
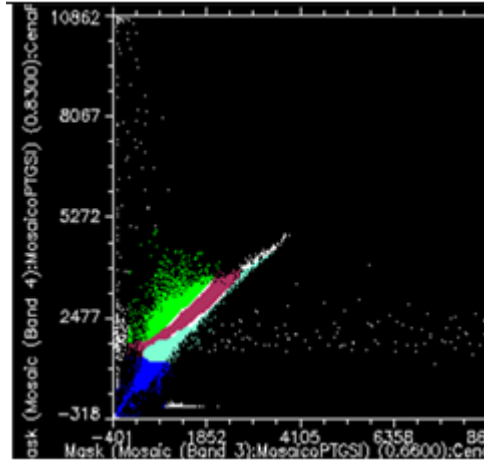
2004FS

2004F
C

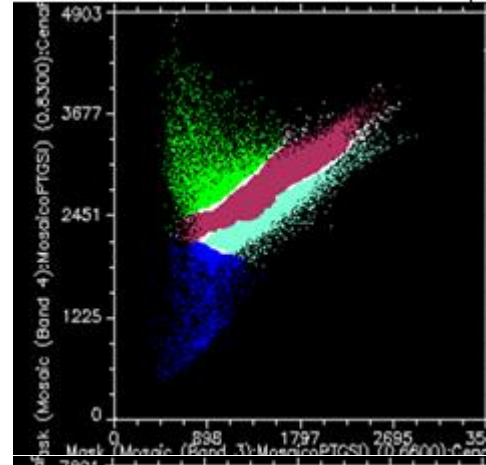
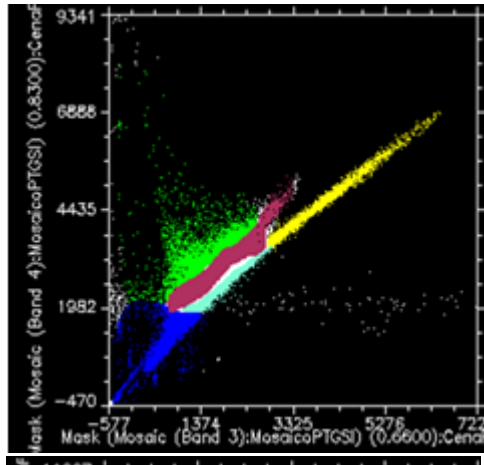
2005FS



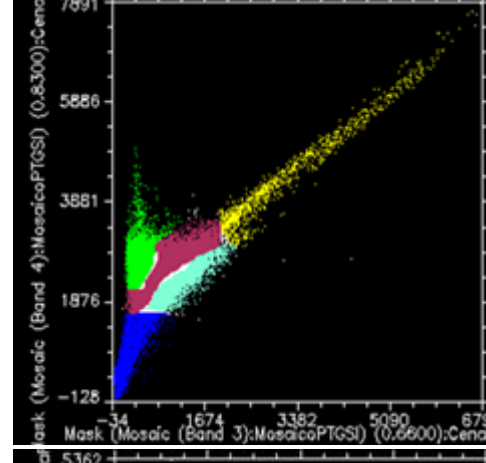
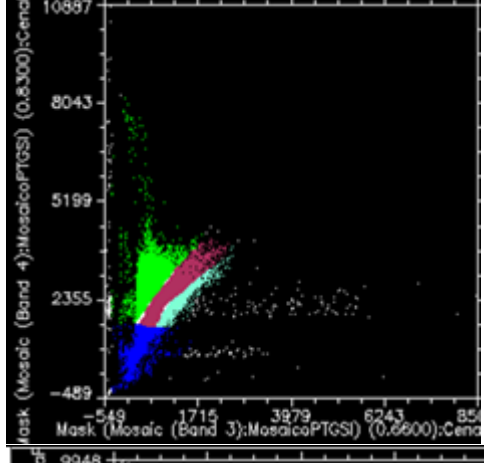
2005F
C



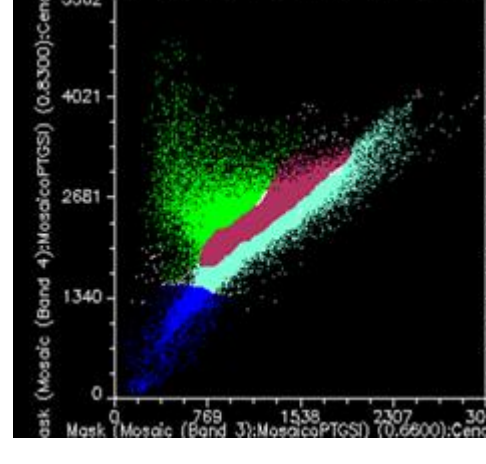
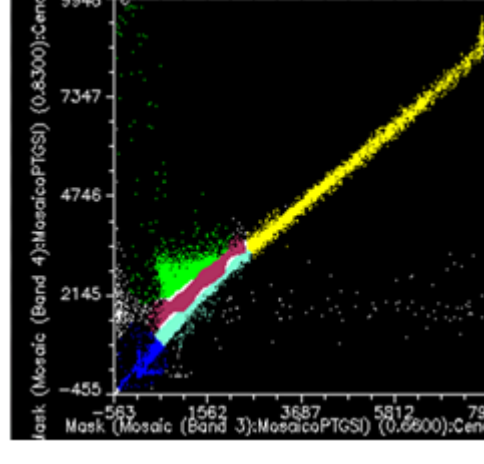
2006FS

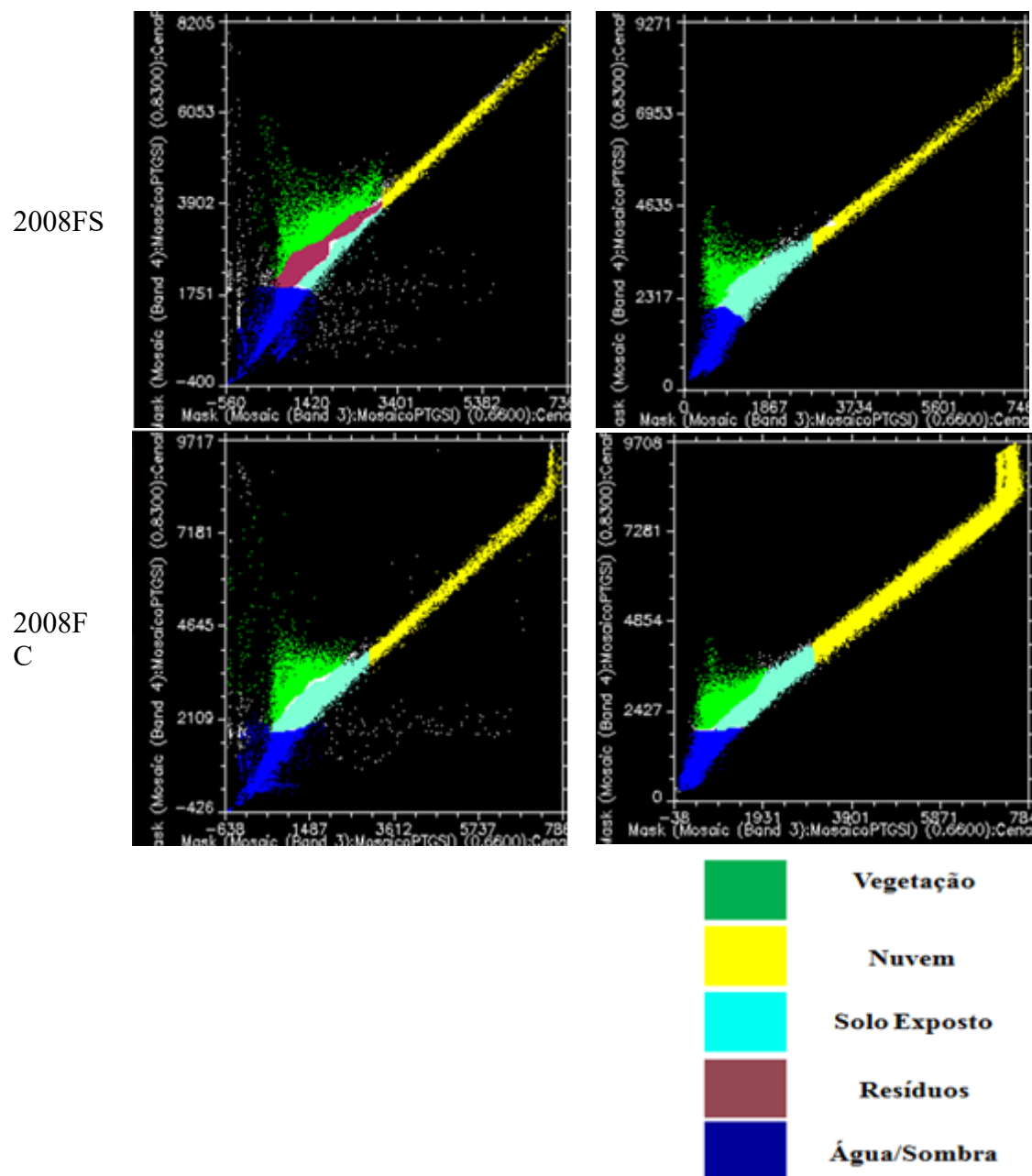


2006F
C



2007F
C





FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO
 Fonte: Elaboração própria;

A linha de solo para as comunidades Maniçoba e Riacho da Pedra, ambas localizadas em LUVISSOLOS exibiu a concentração de pixels de solo exposto (Cor ciano) na base da linha, próximo a interseção das bandas 3 e 4 indicando a presença de óxidos de ferro na superfície, resultante dos processos de formação deste tipo de solo, além disso estes solos são caracterizados por apresentarem cores vivas, avermelhadas e amareladas ou até mesmo brunadas, característica típica da presença de óxidos de ferro que são responsáveis pela coloração do solo, a presença deste minerais produzem baixas

reflectâncias nas faixas do visível e do infra vermelho próximo, mascarando as feições de absorção da água e de outros minerais (DEMATTÊ *et al.*, 2004).

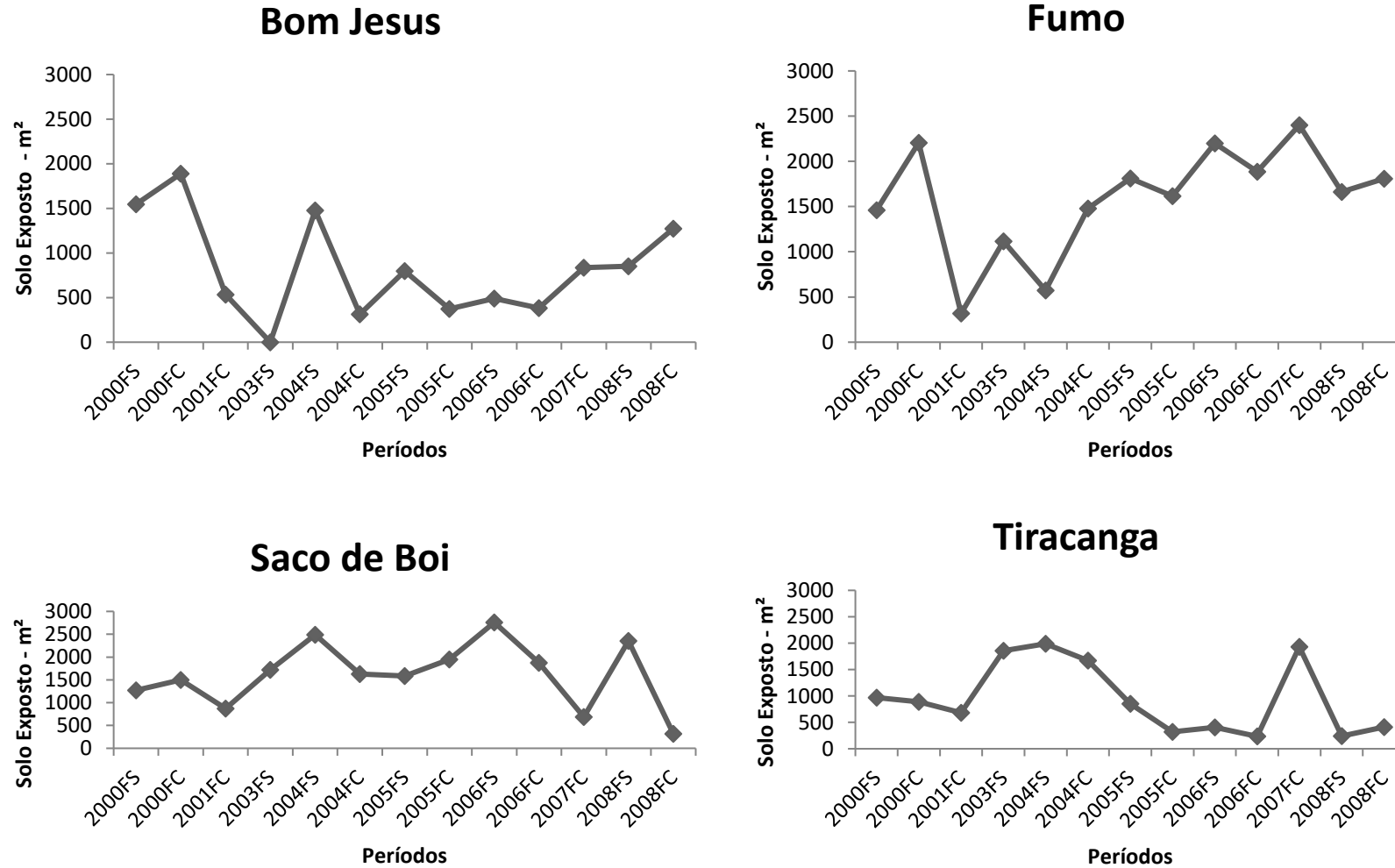
A linha de solo para as comunidades de Maniçoba e Riacho da Pedra apresentaram baixo agrupamento de pixels associados a vegetação (Cor Verde), verificados pelo posicionamento dos pixels em torno dos baixos valores de reflectância da banda 4, este comportamento permite inferir a presença de vegetação de baixo porte devido a reduzida presença de clorofila, o que reduz a reflectância sobre a banda 4 (DEMATTÊ *et al.*, 2016).

Os pixels associados a resíduos estão concentrados próximos da linha de solo exposto, na grande maioria dos períodos estudados observam-se o posicionamento destes em relação a altas reflectâncias das bandas 3 e 4, no entanto não foram realizadas observações de campo para atestar se realmente ocorrem presença de resíduos, além disso o intervalo espectral do Landsat 05 não permite caracterização mais eficiente.

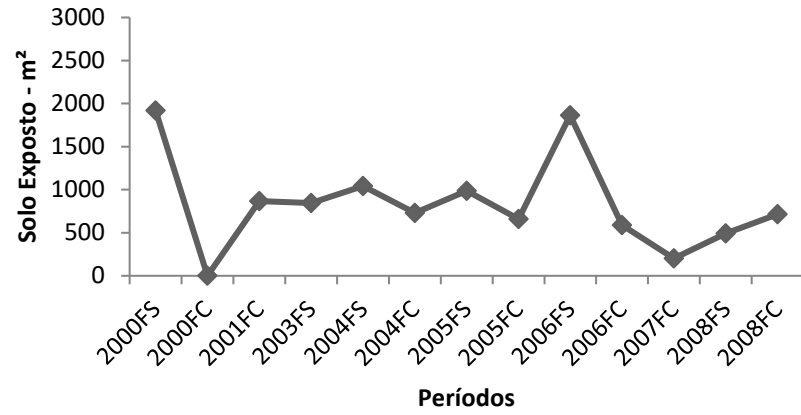
O formato da linha de solo indicou a presença de vegetação de baixo porte sobre estas comunidades, verificadas com o baixo agrupamento de pixels posicionados em baixas reflectâncias da banda 4, em todos os anos estudados é notável a presença de vegetação rala tanto no período seco como no chuvoso. Este comportamento serve de alerta para os efeitos da desertificação, pois mesmo as condições de precipitação não foram suficientes para provocarem boas resposta da vegetação a ponto de se obterem altas reflectâncias na banda 4. Portanto o baixo vigor de vegetação associado a presença de LUVISSOLOS são fatores preponderantes a aumento da severidade da erosão e posterior agravamento da desertificação.

As oscilações de áreas de solo exposto ao longo da série temporal analisada das comunidades estudadas podem ser vistas na Figura 25, onde se pode observar que as comunidades de Bom Jesus e Riacho da pedra inicialmente no ano de 2000 apresentaram as maiores áreas de solo exposto com 1547 m² e 1920,5 m², respectivamente.

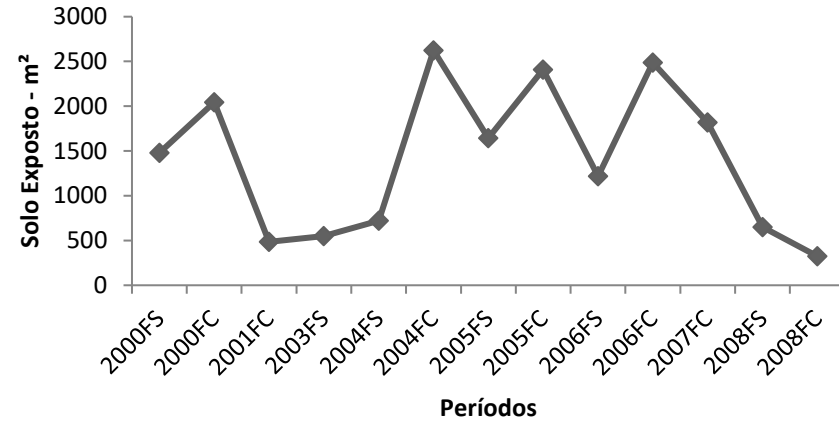
Figura 25 - Área de solo exposto nos períodos secos e chuvosos ao longo dos anos de 2000 a 2008



Riacho da Pedra



Maniçoba



FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO
 Fonte: Elaboração própria

Os dados da Figura 25 revelaram que a comunidade Bom Jesus apresentou tendência crescente das áreas de solo exposto a partir do período de 2005FS, assim como foram observados uns picos de áreas de solo exposto em 2004FS e 2005FS seguido por uma queda em 2004FC e 2005 FC, havendo um aumento das áreas de solo exposto a partir de 2006FC até 2008FC com 1.272,00 m², este comportamento também foi analisado na comunidade de Riacho da Pedra a partir do período de 2007FC (Figura 25).

As comunidades Saco de Boi, Riacho da Pedra e Tiracanga apresentaram suas áreas de solo exposto reduzidas durante o período chuvoso, isso foi verificado nos anos de 2000FC, 2001FC, 2004FC, 2005FC, 2006FC e 2007FC, indicando que nestas comunidades o período chuvoso possibilitou o surgimento da cobertura vegetal, no entanto comportamento contrário foi observado nas comunidades de Fumo e Maniçoba nos quais as áreas de solo exposto aumentaram no final do período chuvoso, nos anos de 2000FC, 2004FC, 2005FC, 2007FC e 2008FC.

Todas as comunidades estudadas estão inseridas no núcleo de desertificação Irauçuba / Centro Norte, no entanto o estudo da linha de solo para identificar áreas de solo exposto é importante devido o estudo dos impactos da desertificação nestas comunidades, observado através da recuperação da vegetação em áreas de solo exposto, nestas comunidades os dados do IBGE revelaram presença de extrativismo vegetal nos municípios, voltado principalmente para extração de lenha, por exemplo, na comunidade Saco de Boi, Riacho de Pedra e Maniçoba todas pertencentes município de Santa Quitéria, nestas comunidades os picos de áreas de solos expostos coincidiram com grandes volumes de lenha extraída no município de Santa Quitéria, segundo o IBGE os anos de 2004, 2006 e 2008 foram extraídos cerca de 131.531 m³, 137.537 m³, e 141.970 m³ respectivamente.

A comunidade de Tiracanga localizada no município de Canindé foi observado um pico de área de solo exposto no ano de 2007, neste período o município de Canindé apresentou cerca de 108.752 m³ de lenha extraída, essa situação mostra-se como um fator preponderante a desertificação, visto que estes dados demonstram que os intensos desmatamentos verificados nas cidades elencadas acima, acaba contribuído para o aparecimento de áreas de solos expostos, favorecendo a ocorrência de processos erosivos desencadeando áreas desertificadas (LANDIM *et al.*, 2011).

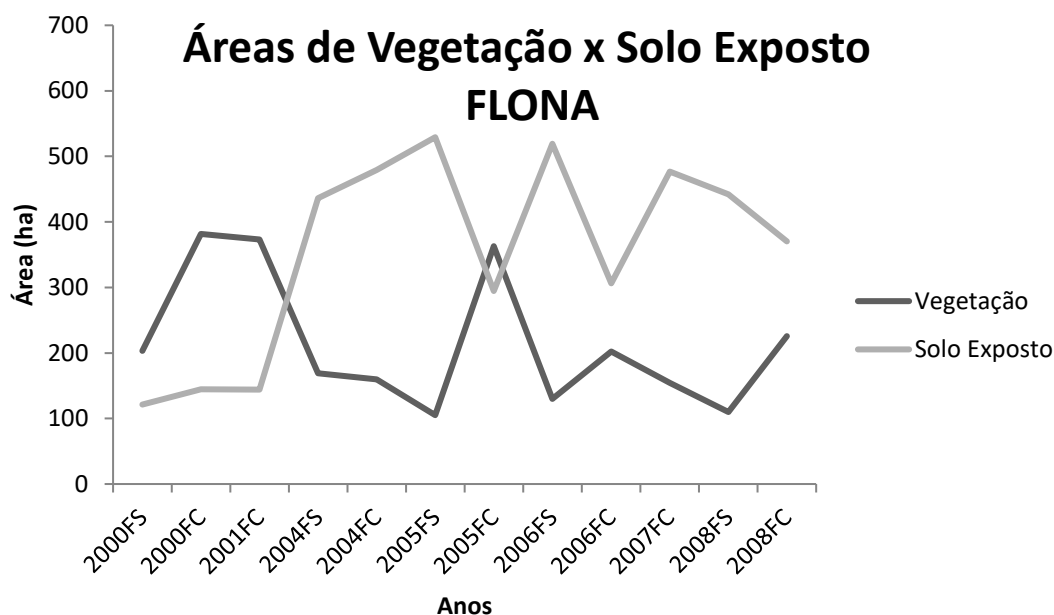
Nas comunidades de Fumo e Maniçoba foram observados maiores áreas de solos expostos no final do período chuvoso, enquanto que no final do período seco houve

redução das áreas de solos expostos, esse comportamento pode ser explicado pelos valores de precipitação ocorridos nos anos de 2000, 2004, 2005 e 2007 o que fez com os agricultores implantassem suas lavouras de subsistências no final do período seco, a fim de poder aproveitar as chuvas do início do período chuvoso para iniciarem as operações de preparo de solo, por isso os baixos valores de solo exposto neste período, possivelmente atribuído ao início do desenvolvimento das culturas agrícolas, com a entrada do período chuvoso as poucas e irregulares precipitações permitiu a conclusão do ciclo da cultura, chegando ao final do ciclo vegetativo com o início das operações de colheita quando ocorre o término da janela chuvosa, após a colheita neste período o solo fica exposto.

As comunidades Saco de Boi, Riacho da Pedra e Tiracanga apresentaram áreas de solo exposto reduzidas durante o período chuvoso, é um indicativo da recuperação da vegetação local frente a ocorrência de chuva, realçando a resiliência destas áreas em comunidades afetadas pelos processos de desertificação, indicando que não são todas as áreas acometidas pelo problema, já que a pouca precipitação ocorrida permitiu o recobrimento do solo, indicando uma situação menos severa de desertificação.

As áreas ocupadas com vegetação e solo exposto são apresentadas na Figura 26, onde inicialmente a FLONA contava com cerca de 202,95 hectares (2000FS) de vegetação, esta situação foi se modificando ao longo do tempo, quando em 2000FC houve aumento das áreas de vegetação para 381,60 hectares, em 2001FC a área ocupada pela vegetação obteve pequena redução, vindo a aumentar somente em 2005FC para 363,06 hectares, após este período as áreas cobertas pela vegetação apresentaram constantes reduções atingido uma área de 225,63 hectares em 2008FC, os períodos 2004FS, 2004FC, 2005FS, 2006FS, 2007 FC e 2008FS foram os anos que apresentaram as menores áreas ocupadas por vegetação.

Figura 26 - Áreas ocupadas por vegetação e solo exposto FLONA 2000 a 2008



FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO

Fonte: Elaboração própria

Com relação a áreas de solos expostos percebem-se que em 2000FS as áreas de solos expostos ocupavam 121,27 hectares (18,34%), isso aumentou em 2000FC para 144,36 hectares (21,8%); no ano de 2004 as áreas de solos expostos quadruplicaram chegando a 436,32 hectares (66 %) no período seco e 479,16 hectares (72,4 %) para o período chuvoso, em 2005FS chegou a 529,20 hectares (80%), reduzindo em 2005FC a 294,39 hectares (44,5 %), após este período foram observados extensas áreas de solos expostos como em 2006FS 519,03 hectares (78,5%), 2006FC com 306,09 hectares (46,3 %), 2007FC com 476,73 hectares (72%) e 2008FS 442,17 (66,8 %).

De maneira geral observam-se que as áreas de solo exposto se sobressaíram em relação as de vegetação, isso é preocupante pois em uma área preservada como o FLONA as grandes áreas de solo exposto podem serem alvos de erosão hídrica e eólica, a presença das precipitações irregulares ocorridas na região, associado com a falta de fiscalização dos órgãos ambientais e o desrespeito das normas de proteção da fauna e da flora podem acarretar a destruição da biodiversidade do FLONA e causar possíveis degradações, como por exemplo a desertificação.

Os períodos de aumento das áreas de vegetação 2000FC, 2001FC e 2005FC se deu por causa da precipitação pluviométrica no final da época chuvosa, entretanto no ano de 2004FC foram verificados altos valores de precipitação no posto de Jaibaras

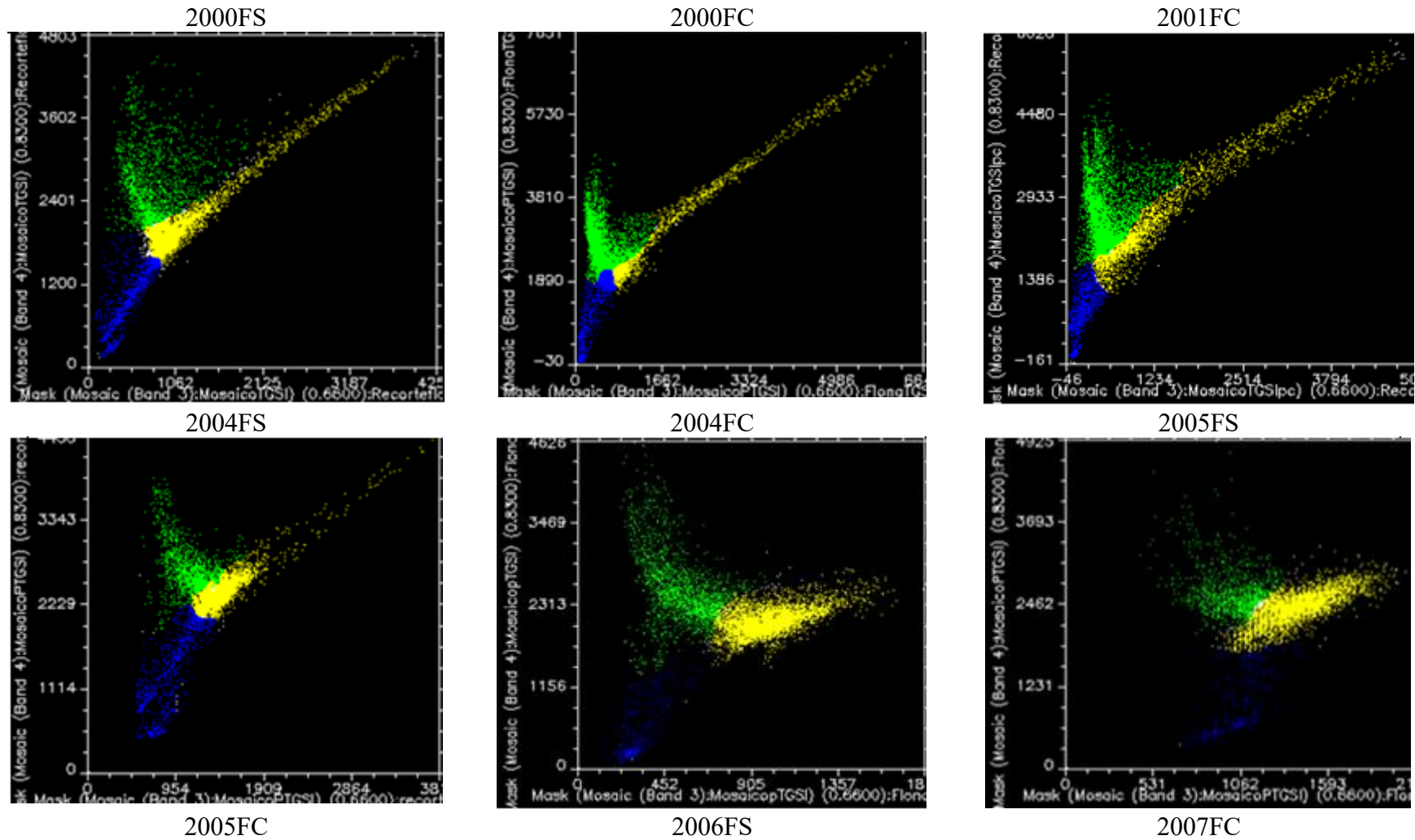
(921,10 mm) e, contudo foram identificadas extensas áreas de solos expostos ou com deficiente cobertura vegetal, mesmo comportamento também foi verificado para o ano de 2007FC, possivelmente isso pode ser justificado pela distribuição irregular da precipitação no FLONA durante estes períodos, já os períodos 2004FS, 2005FS, 2006 FS e 2008FS tiveram suas áreas de solos expostos ampliados devido a pouca precipitação sobre estes locais (Figura 5).

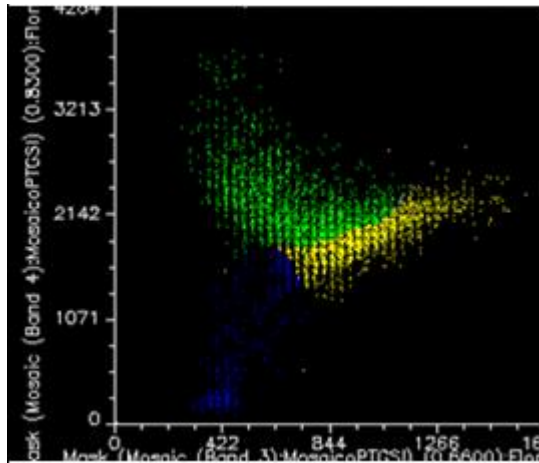
De acordo com a Figura 26 observa-se que no início da série temporal trabalhada a vegetação do FLONA foi maior do que as áreas de solo exposto, entretanto a partir de 2004FS o cenário começa a se inverter, pois se verifica que as áreas de solo exposto começam a se sobressair em relação as de vegetação, a pouca cobertura vegetal associado com grandes áreas de solo exposto é preocupante devido ao aumento da suscetibilidade a desertificação, pois sem vegetação ocorrem processos erosivos de forma mais acentuada, desencadeando a perda de nutrientes e empobrecimento do solo, podendo causar ao longo do tempo o surgimento de áreas desertificadas, também se verifica que mesmo em épocas chuvosas não foram suficientes para provocarem boa resposta da vegetação como se observa na Figura 26, que no final da série temporal analisada 2008FC se verifica a pouca cobertura vegetal frente a extensas áreas de solos expostos.

A distribuição irregular das chuvas na série temporal analisada juntamente com as condições precárias enfrentadas pela unidade de conservação, como falta de controle sobre seu gerenciamento, ausência de plano de manejo e falta de recursos, podem justificar a redução da vegetação e as extensas áreas de solos expostos encontradas na FLONA.

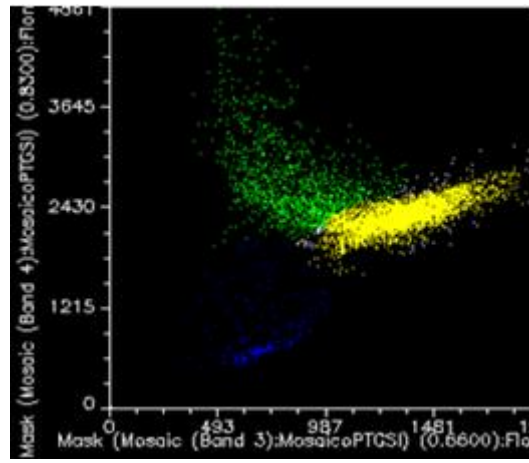
Com a realização da segmentação dos alvos vegetação (cor verde), e solo exposto (cor amarela) pode-se estudar o padrão espectral dos solos contidos na FLONA de Sobral e entender a variação destes ao longo do tempo (Figura 27).

Figura 27 - Linha de Solo para FLONA nos períodos secos e chuvosos ao longo dos anos de 2000 a 2008

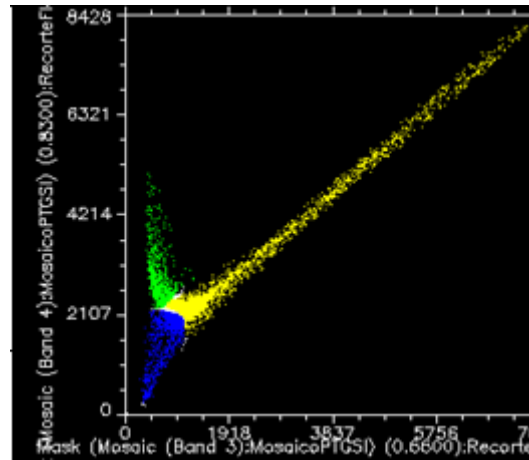
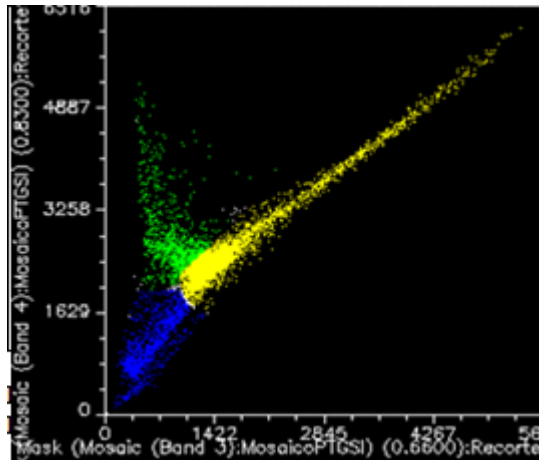
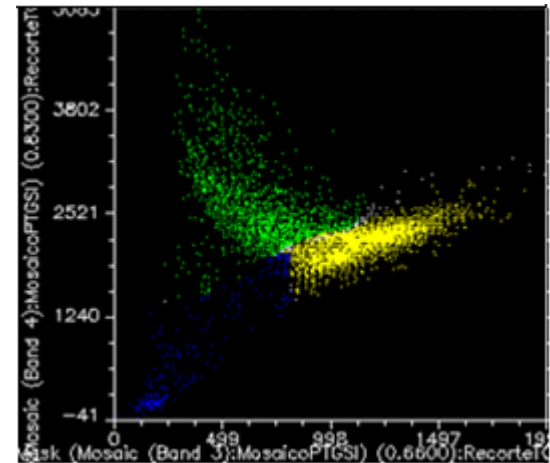




2008FS



2008FC



FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO

Fonte: Elaboração própria

Os períodos 2000FS, 2000FC, 2001FC, 2004FS, 2004FC, 2005FS, 2005FC, 2006FS, 2007FC, 2008FS e 2008FC apresentaram concentração de pixels de solo exposto na base da linha de solo (Figura 27).

A linha de solo para o FLONA indicou a presença solos de baixa reflectância, nas regiões do visível quanto no infravermelho próximo, provavelmente isso se deve ao fato dos solos destas áreas apresentarem cores escuras, pouco vivas, ou em decorrência da presença da floresta que possivelmente tenha recoberto o solo, reduzindo a sua reflectância.

Os resultados mostraram que no ano 2000FS, 2000FC, 2001FC (Figura 27), ou seja, no início da série temporal analisada o FLONA apresentava presença de vegetação rala, pois se observam o agrupamento de pixels de vegetação posicionados a baixos valores da banda 4, esse período coincidiu com a precipitação ocorrida nestes anos (Figura 5), o que assegurou manutenção da vegetação, contudo a partir de 2004FS notam-se maiores dispersões dos pixels em relação a banda 4, isso permite inferir a redução da cobertura vegetal do FLONA conforme é mostrado na Figura 27. Observa-se que os períodos 2004FS, 2004FC, 2005FS, 2005FC, 2006FS, 2007FC, 2008FS e 2008FC apresentaram pixels mais dispersos em torno da banda 4, o que reforça a redução da vegetação, pois a pouca quantidade de clorofila faz com que ocorra diminuição da reflectância nesta banda (DEMATTE *et al.*, 2016).

A redução da vegetação a partir de 2004FS pode ser justificada pela pouca precipitação neste período (Figura 5), além disso, foram obtidas informações da WWF, organização não governamental responsável pelo monitoramento de áreas preservadas, que o FLONA não conta com planejamento de manejo, não existe proteção a entrada de pessoas e animais e há desrespeito do uso das áreas de entorno do FLONA, além disso as atividades de piscicultura estão instaladas próximo ao açude Jaibaras que é um reservatório importante para o FLONA, o conjunto destas práticas contribuem para destruição da biodiversidade desta área e associado com a precipitação irregular típica de regiões semiáridas provocaram a baixa resposta da vegetação em todos os períodos da série temporal analisada.

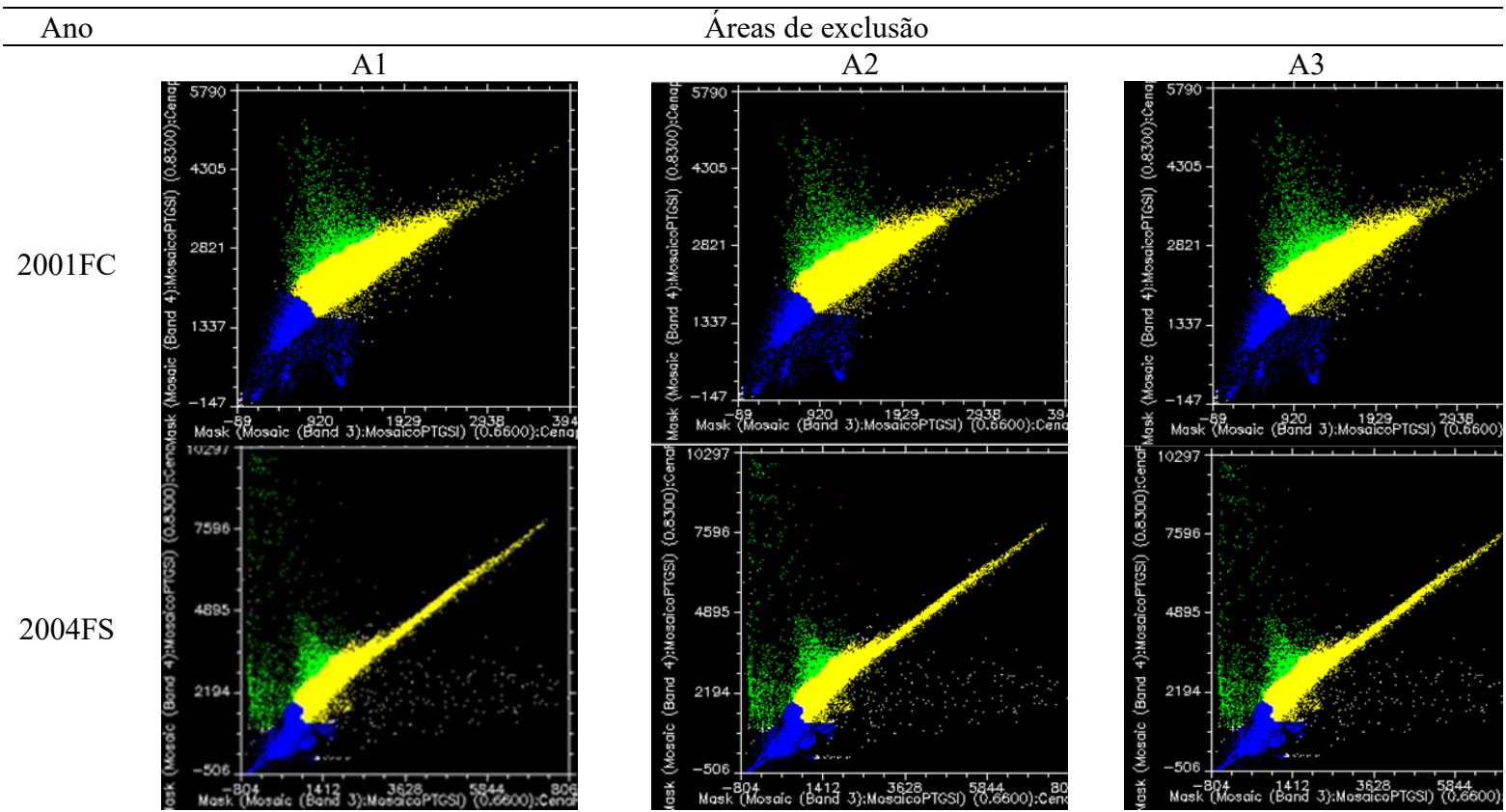
A linha de solo não foi capaz de discriminar a presença de resíduos, pois se verificam apenas pixels com comportamentos de água/sombra, solo e vegetação, provavelmente isso se deve ao fato de que a cobertura vegetal tenha mascarado a presença do mesmo e que as áreas de solo exposto existentes não haviam cobertura com resíduos.

A análise da linha de solo para o FLONA mostrou o quanto a vegetação da área está comprometida, a dispersão dos pixels de vegetação em torno da banda 4 reflete as práticas insustentáveis em uma área preservada que teve impacto decisivo sobre a flora da unidade de preservação, é notável pela linha de solo (Figura 27) o baixo vigor da vegetação ao longo dos períodos secos e úmidos, com base nisso pode-se afirmar que as práticas antrópicas existentes na área de preservação poderá transformar o FLONA em uma área desertificada, para um diagnóstico baseado neste experimento pode-se dizer que o FLONA está suscetível a desertificação.

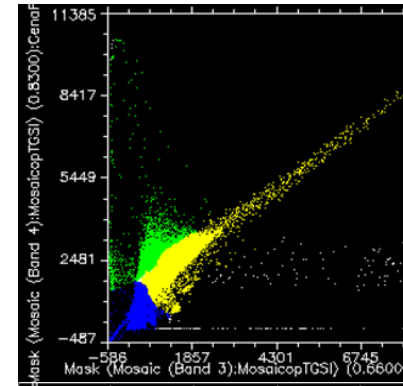
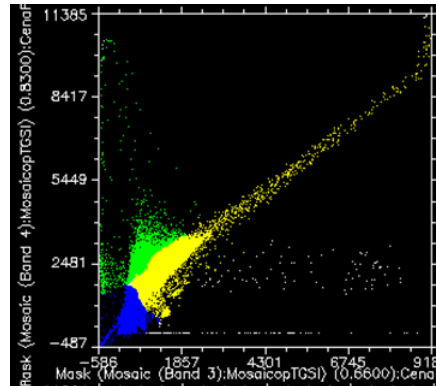
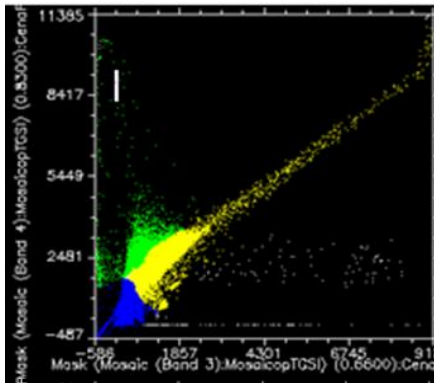
Os resultados da linha de solo para as áreas de exclusão são apresentados nas Figuras que se seguem, observam-se que todos os períodos analisados e em todas as unidades de exclusão, foram observados concentração de pixels de solos expostos próximos a intercessão das bandas 3 e 4.

A Figura 28 mostra a linha de solo para as unidades A1, A2 e A3, durante os períodos 2001FC, 2004FS, 2004FC, 2005FC, 2006FC, 2007FC, 2008FS e 2008FC.

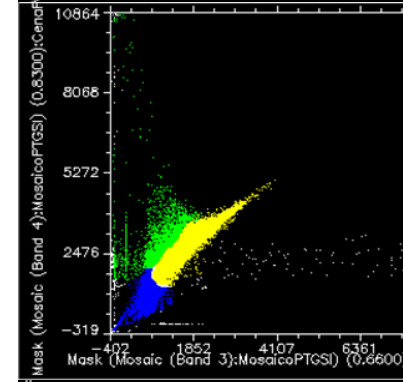
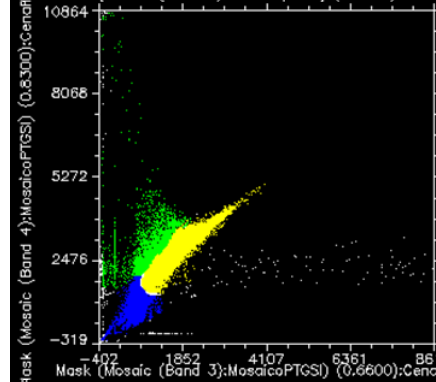
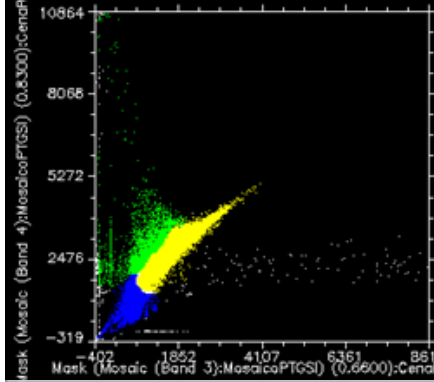
Figura 28 - Linha de solo para as áreas de exclusão A1,A2 e A3



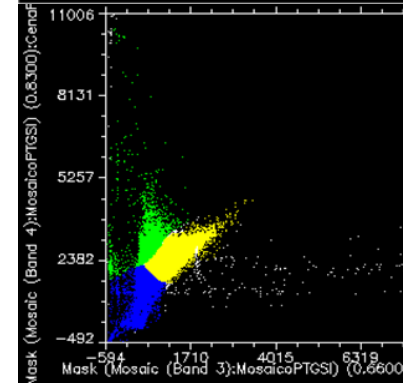
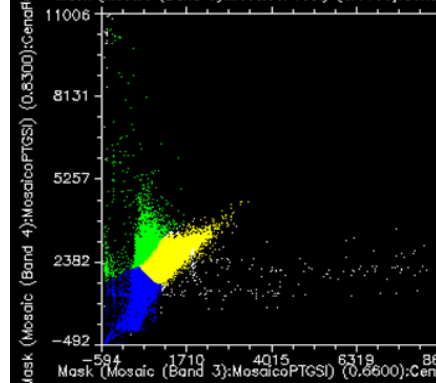
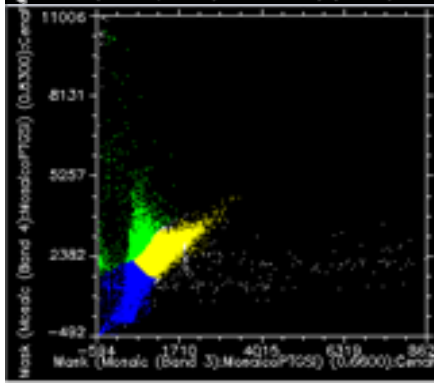
2004FC



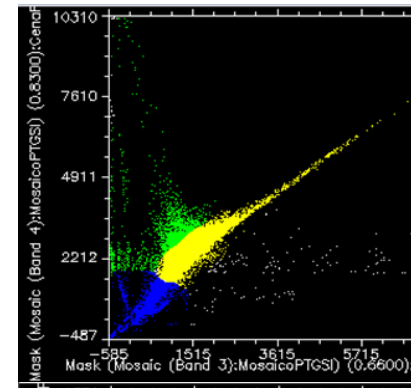
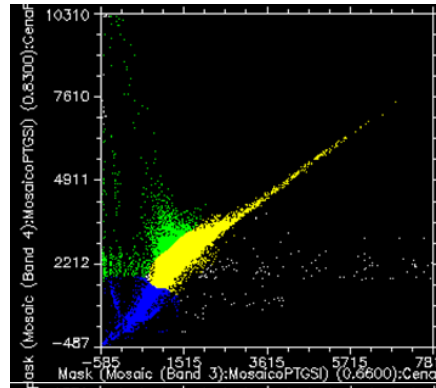
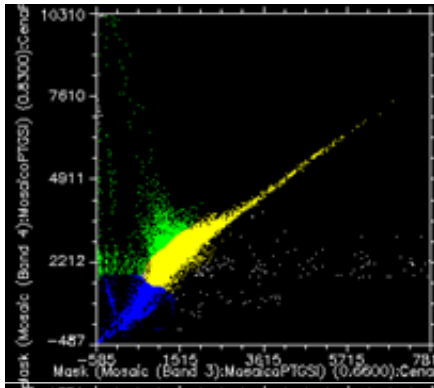
2005FC



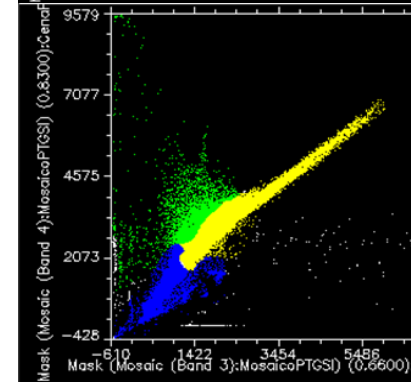
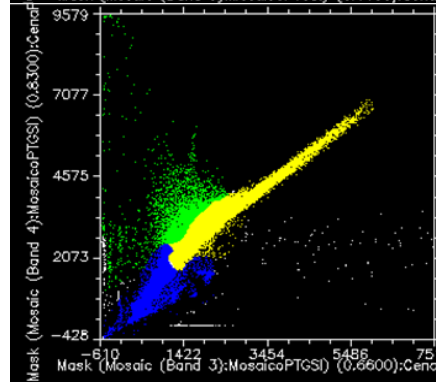
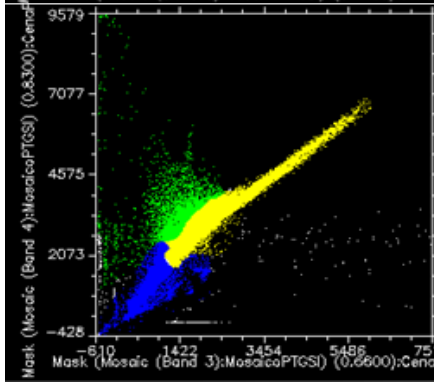
2006FC



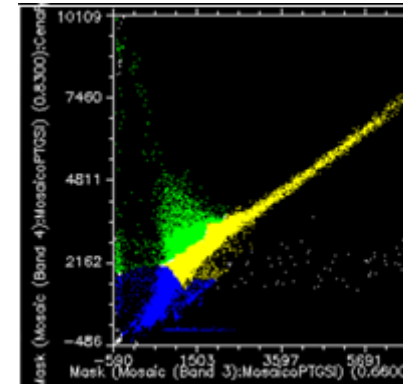
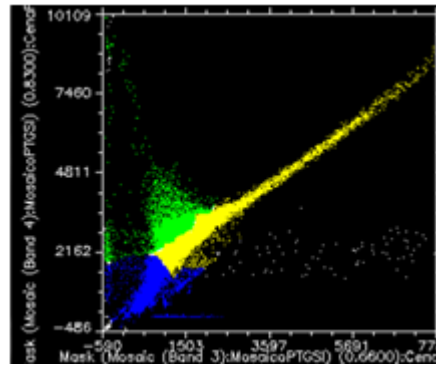
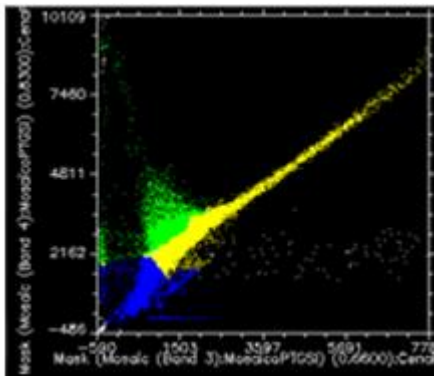
2007FC



2008FS



2008FC



FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO
Fonte: Elaboração Própria

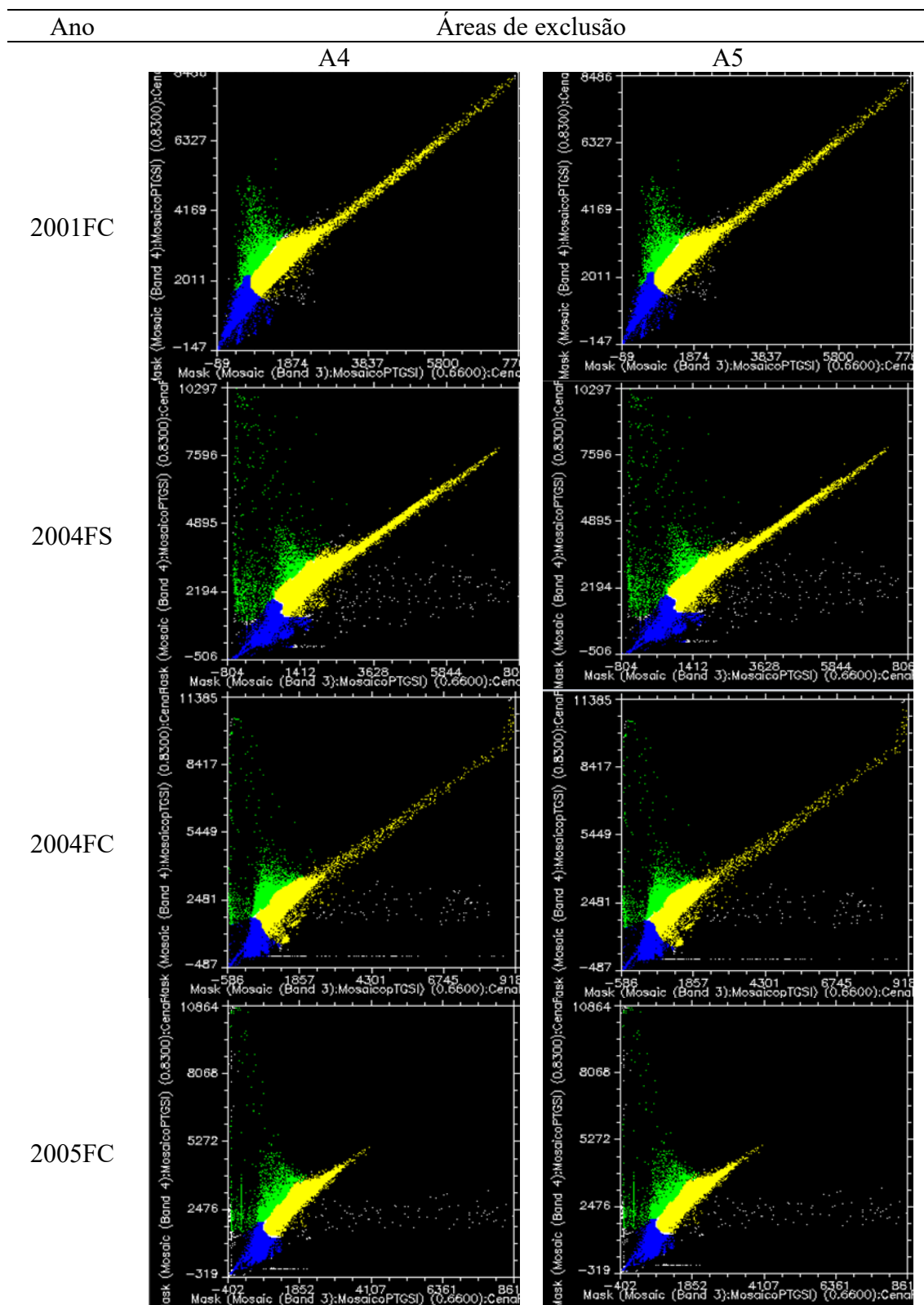
A Figura 28 apresentou concentração de pixels de solo exposto (Cor Amarela) situados próximo da interseção das bandas 3 e 4 nas áreas de exclusão A1, A2 e A3 em todos os anos da série temporal estudada, indicando baixas reflectâncias na região do visível e do infravermelho próximo, isso se deve ao fato dos solos destas áreas serem do tipo: PLANOSSOLOS NÁTRICOS Órtico vertissólico a fraco, como verificado em discussões anteriores este tipo de solo é caracterizado por apresentar cores pouco vivas, acinzentadas e escurecidas, esse padrão de cor produzem baixas reflectâncias nestas bandas (FUKUHARA *et al.*, 1976).

A linha de solo para as unidades citadas acima, não indicaram presença de resíduo, apenas a baixa cobertura vegetal (Cor Verde) verificada pela grande dispersão dos pixels de vegetação posicionados a reduzidos valores da banda 4, a redução da reflectância na banda 4 foi verificado em todos os anos da série temporal (Figura 28) e deve-se ao fato da pouca presença de pigmentos de clorofila sobre esse material que faz com que ocorra pouca reflectância nesta banda (DEMATTE *et al.*, 2016).

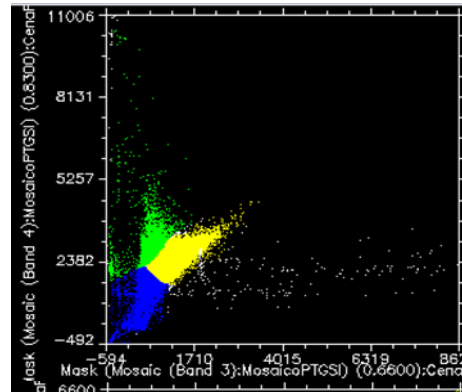
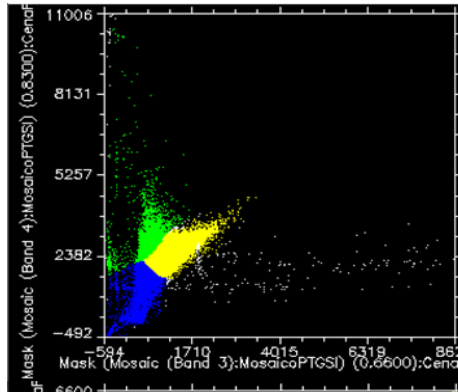
O baixo vigor de vegetação destas áreas de exclusão, pode estar relacionado a pouca precipitação ocorrida, associado com o empobrecimento do solo devido ao sobrepastejo, que foi praticado a muito tempo, outro fator que justifica a pouca vegetação é o reduzido tempo de exclusão relativo aos anos estudados neste experimento, pois apesar destas áreas estarem cercadas da entrada de animais, a vegetação recuperada não foi suficiente até o período de 2008FC para produzirem valores de elevadas reflectâncias na banda 4, esse comportamento foi verificado tanto em períodos secos como de chuva o que reforça o reduzido potencial de recuperação da vegetação, apontando para a maior exposição do solo, seguido do estabelecimento da erosão e agravamento da desertificação.

A Figura 29 apresenta comportamento de linha de solo para as áreas de exclusão A4 e A5.

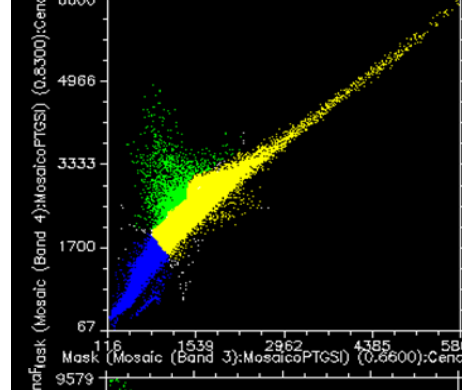
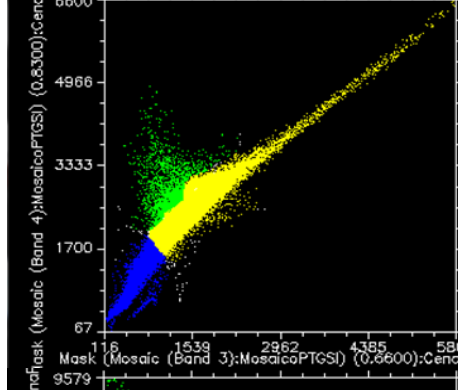
Figura 29 - Linha de solo para as áreas de exclusão A4 e A5



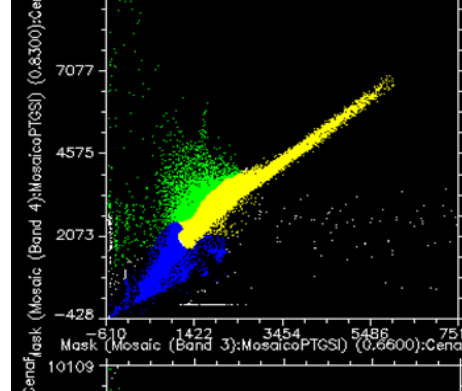
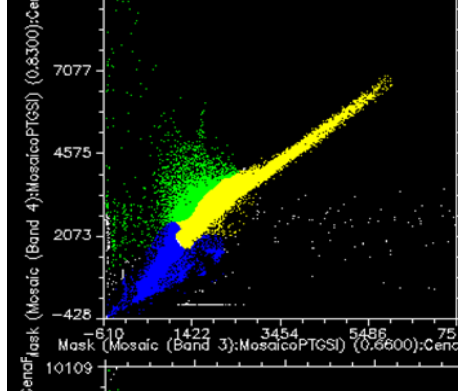
2006FC



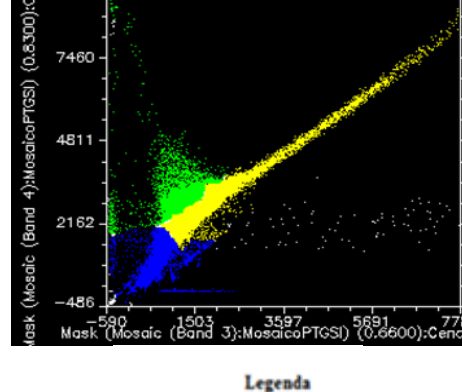
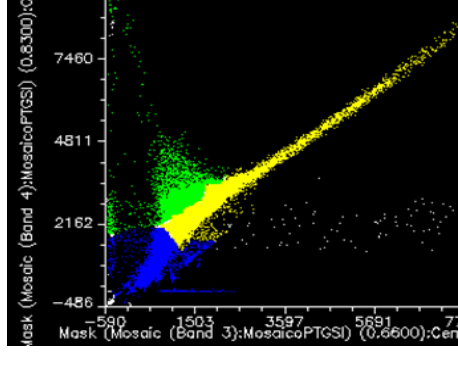
2007FC



2008FS



2008FC



FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO
 Fonte : Elaboração Própria

Os solos da Fazenda Cacimba Salgada 1 são do tipo NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos fragmentário a fraco, são caracterizados por apresentarem pouca atuação dos processos pedogenéticos, são rasos e de contato direto com a rocha, além disso tem elevados teores de minerais primários como por exemplo o quartzo, entretanto a presença deste mineral deveria provocar aumento das reflectâncias na linha de solo o que não ocorreu, pois como se verifica na Figura 29 que a linha de solo apresentou baixas reflectâncias, isso pode estar relacionado com o fato da linha de solo não ser capaz de distinguir o solo de áreas próximas, pois a maioria delas apresentarem a mesma classificação de solos, com exceção da Fazenda Cacimba Salgado A4, possivelmente a linha de solo tenha confundido a classe de solo da Fazenda Cacimba Salgada 1 com as demais.

A linha de solo para as unidades A4 e A5 não indicou presença de resíduos, mas sim baixo vigor da vegetação, conforme se observa na Figura 29. Ao longo de todos os anos estudados nota-se a pouca cobertura vegetal nestas áreas, verificado com o comportamento das reflectância das bandas 3 e 4, onde se verifica que ocorreram pixels de vegetação (Cor Verde) situados a baixos valores de reflectância da banda 4, o que reforça a pouca cobertura vegetal em todos os anos estudados, devido a baixa reflectância associada a esta banda (DEMATTÊ *et al.*, 2016).

O estudo da banda 4 é importante para identificar o nível de cobertura vegetal sobre uma área, pois alta cobertura vegetal produz alta reflectância nesta banda, já que nesta região do espectro ocorre reflectância do infravermelho próximo, contudo isso não é observado para a Fazenda Cacimba Salgada – A4.

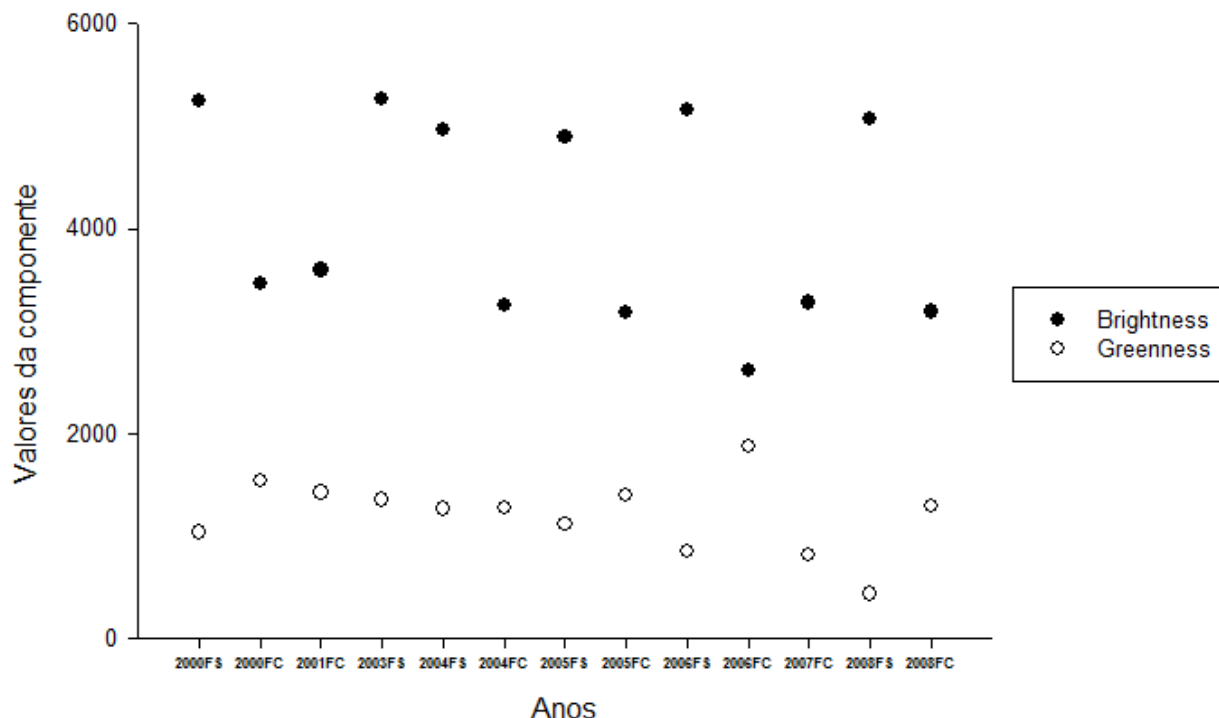
As áreas de exclusão A4 e A5 indicaram reduzida vegetação em suas áreas, mantendo o mesmo padrão verificado para as unidades A1, A2, A3, por serem áreas muito próximas e submetidas as mesmas condições de degradação, a cobertura vegetal apresentou mesmo comportamento das demais, ou seja, baixo potencial de recuperação tanto em períodos secos e chuvosos, o que reforça a baixa resiliência da vegetação, sendo um indicativo da desertificação.

6.5 Tasseled Cap

Os resultados da transformação Tasseled Cap Brightness e Greenness, mostraram que de maneira geral os valores Tasseled Cap Brightness (TCB) foram

elevados para o núcleo de desertificação Irauçuba / Centro Norte, principalmente para o período seco (FS) nos anos de 2000, 2003, 2004, 2005, 2006 e 2008 (Figura 30).

Figura 30 - Brightness e Greenness no Núcleo



FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO

Fonte: Elaboração própria

A componente Greenness apresentou baixos valores em relação ao Brightness no núcleo de desertificação Irauçuba / Centro Norte especialmente para o período 2008FS em que o verdor obteve valor de 435,9195 e o valor máximo foi de 1.880,1940 para 2006FC (Figura 30).

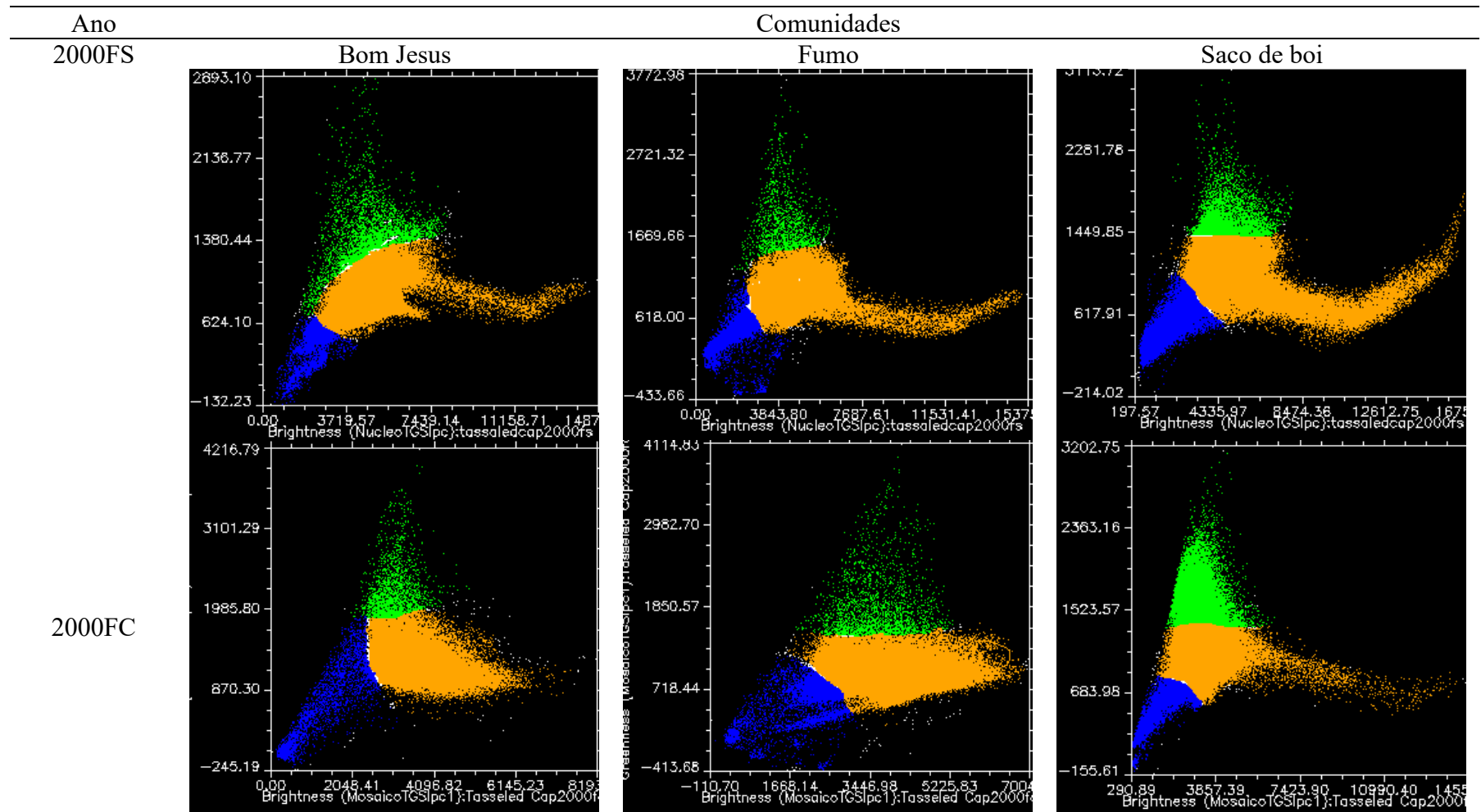
Verificou-se também a influência da umidade (precipitação pluviométrica) sobre as variações das componentes estudadas, no qual nos períodos posteriores a ocorrência de chuva, a componente Brightness apresentou valores reduzidos em relação ao período seco, por exemplo, nos anos 2000FC, 2001FC, 2004FC, 2005FC, 2006FC, 2007FC e 2008FC. Em contrapartida a componente Greenness apresentou aumento dos valores para os períodos 2000FC, 2004FC, 2005FC, 2006FC E 2008FC, em relação aos períodos de estiagem (Figura 30).

Com o uso da transformação Tasseled Cap através do plano de vegetação, foram observados elevados valores da componente Brightness e baixos valores da Greenness para o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte, esse cenário é típico de

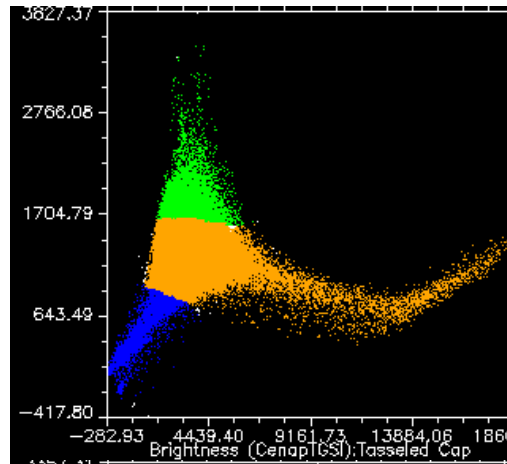
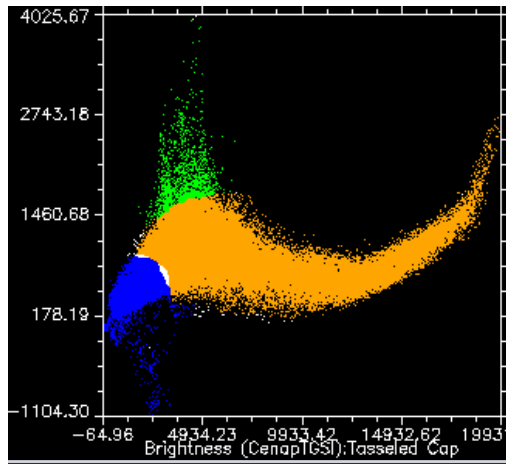
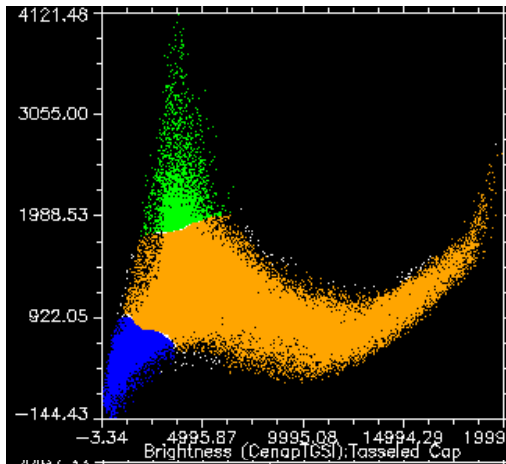
áreas perturbadas, pois Healey *et al.* (2005) obteve índices de distúrbios baseado na estrutura (Greenness X Brightness) para identificação de florestas perturbadas, em que a redução da vegetação foi acompanhada do aumento do brilho da paisagem.

A Figura 31 mostra uso da transformação Tasseled Cap através do plano de vegetação, nela pôde-se observar os valores das componentes Brightness e Greenness para a comunidades Bom Jesus nos períodos secos (FS) e chuvosos (FC) dos anos de 2000, 2001 (apenas FC), 2003 (apenas FS), 2004, 2005, 2006, 2007 (apenas FC) e 2008.

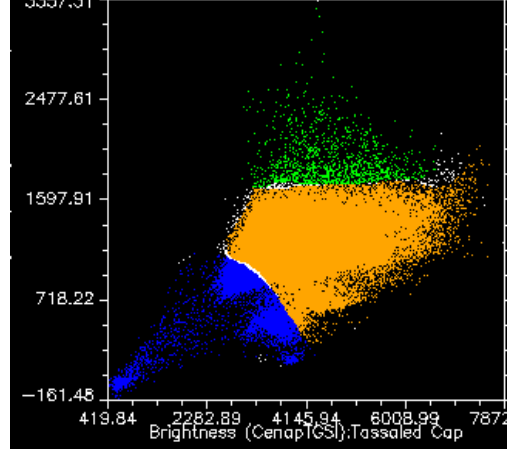
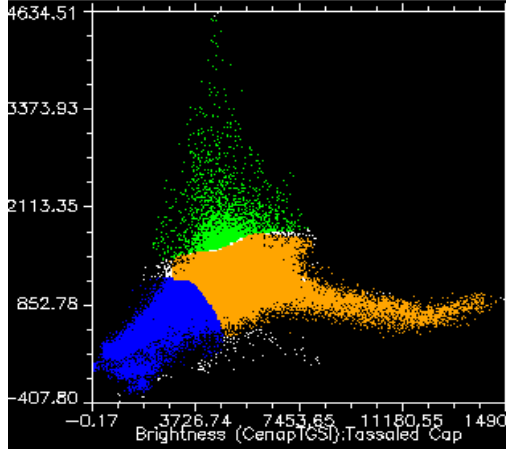
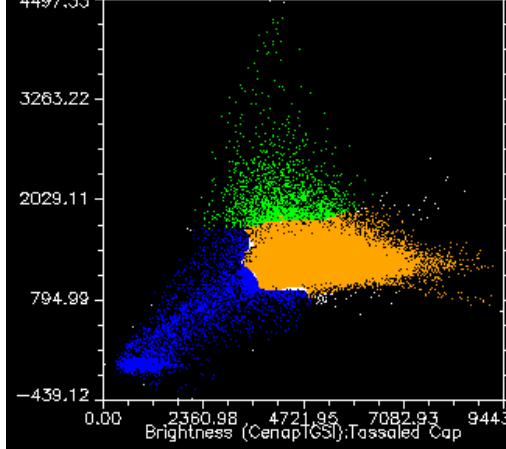
Figura 31 - Brightness e Greenness paras as comunidades Bom Jesus, Fumo e Saco de boi



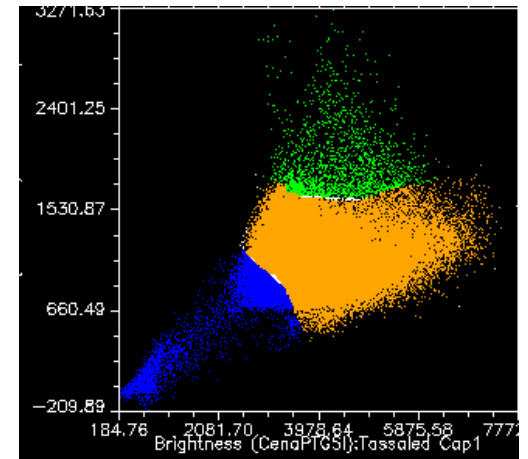
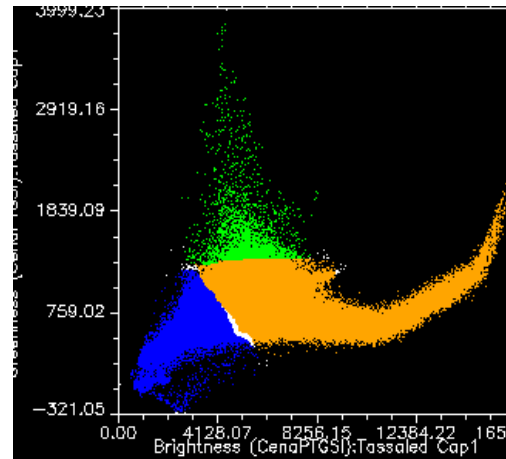
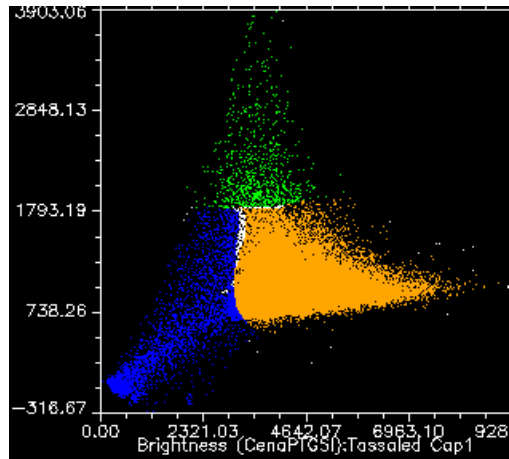
2001FC



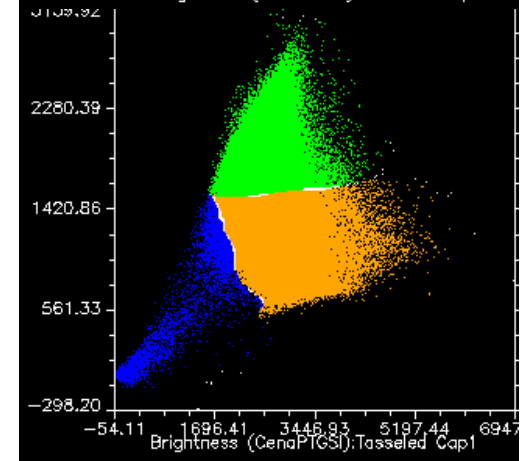
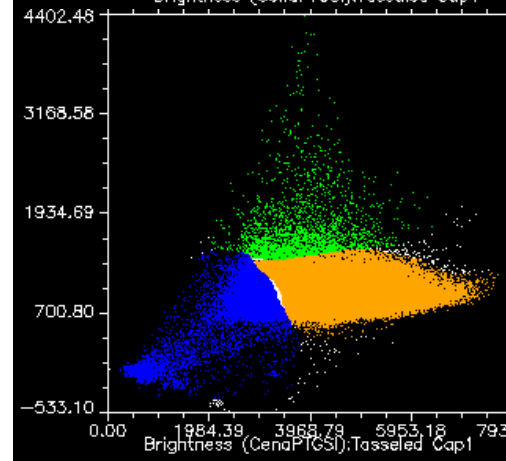
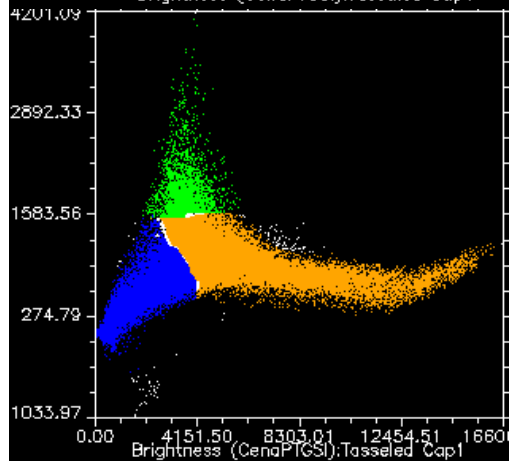
2003FS



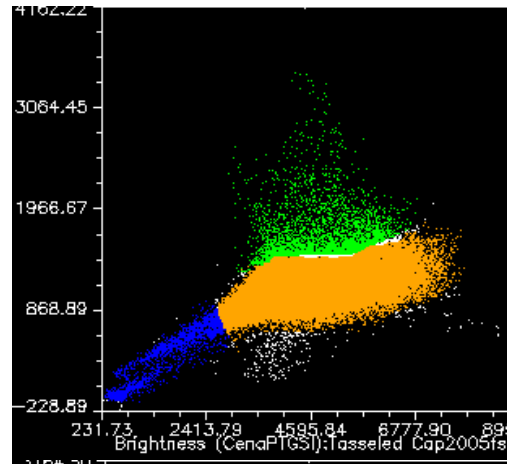
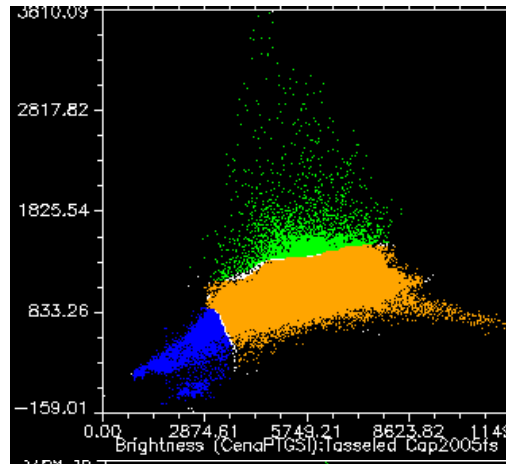
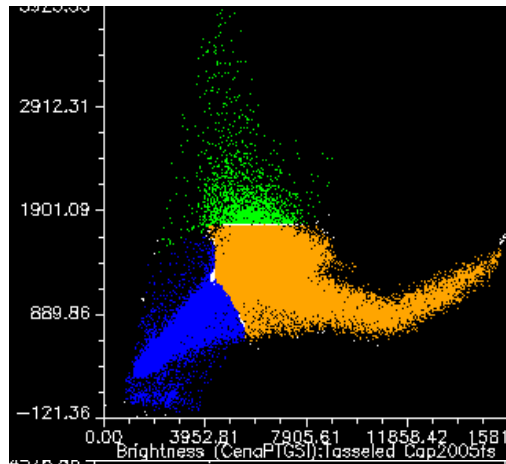
2004FS



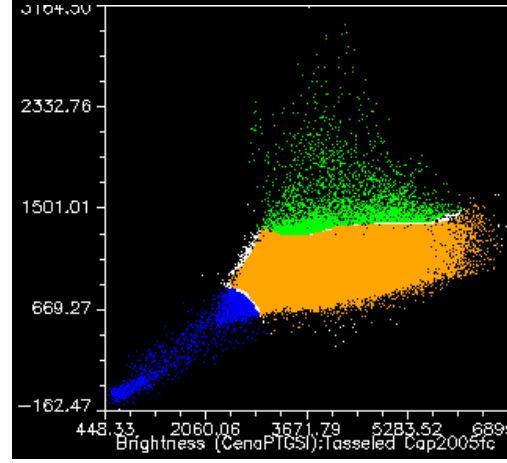
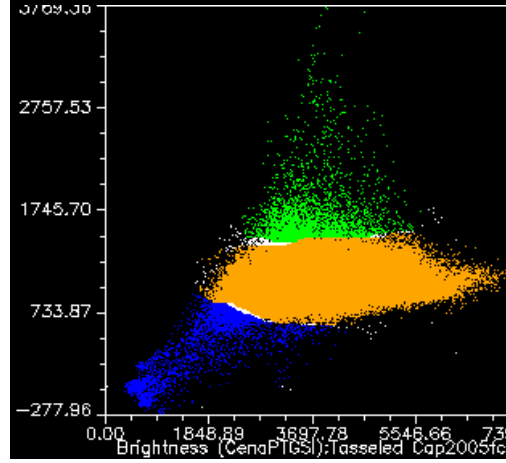
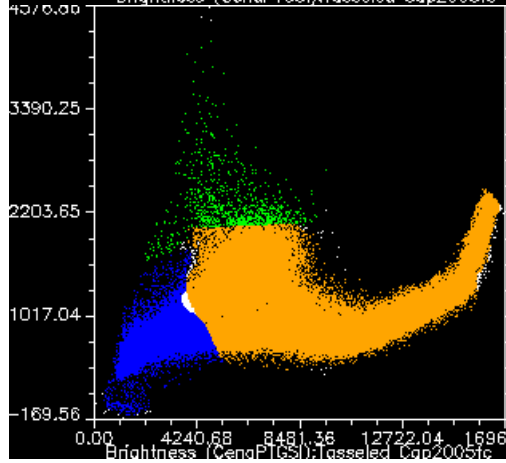
2004FC



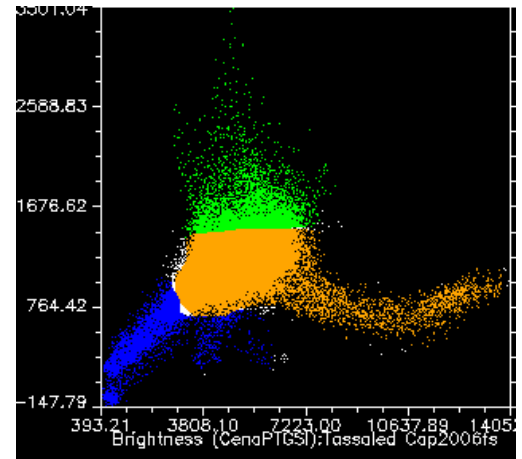
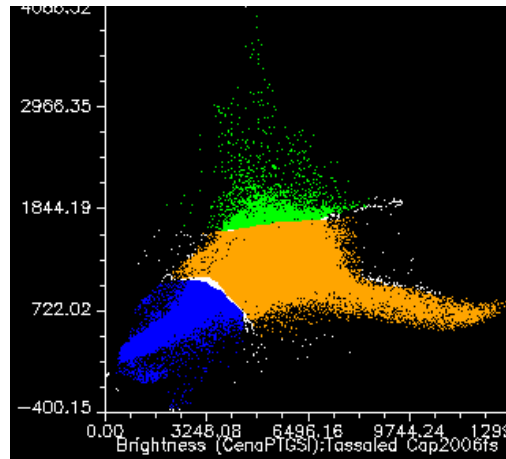
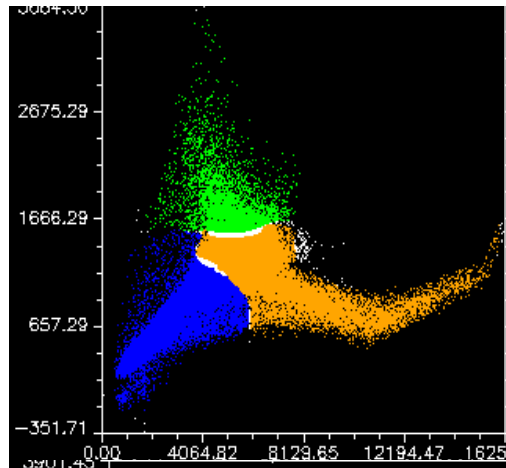
2005FS



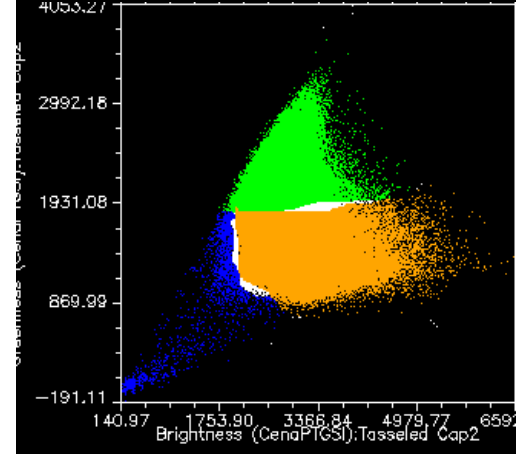
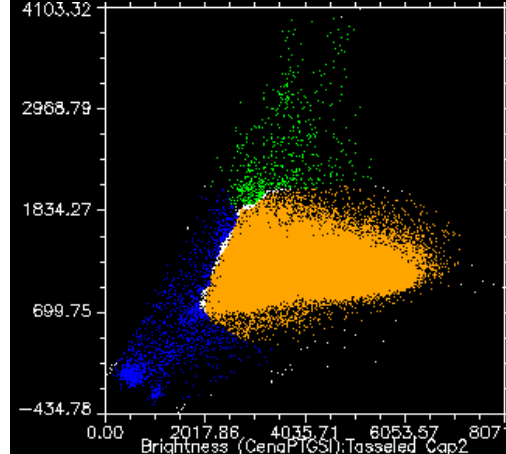
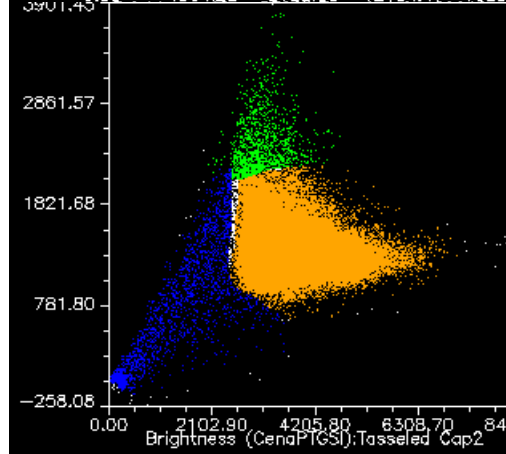
2005FC



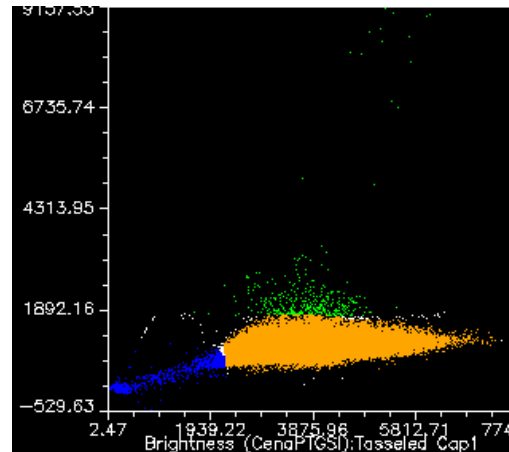
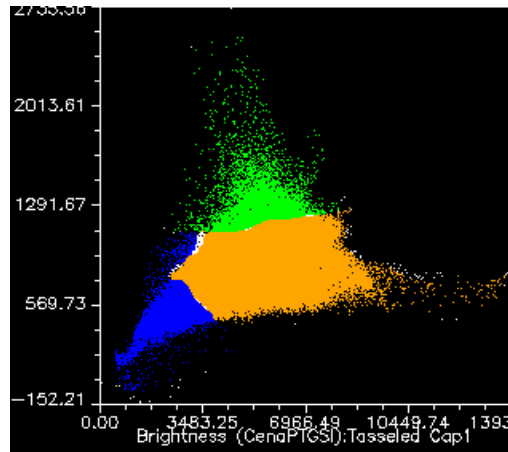
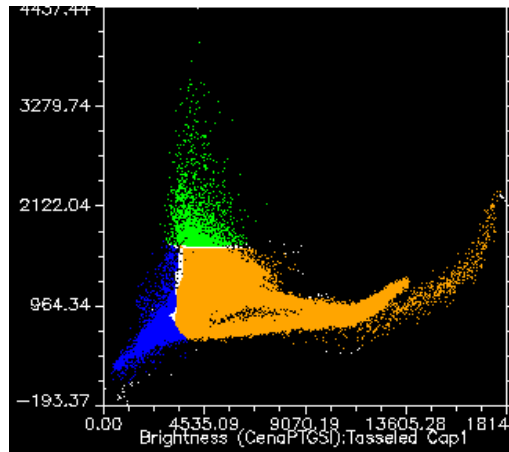
2006FS



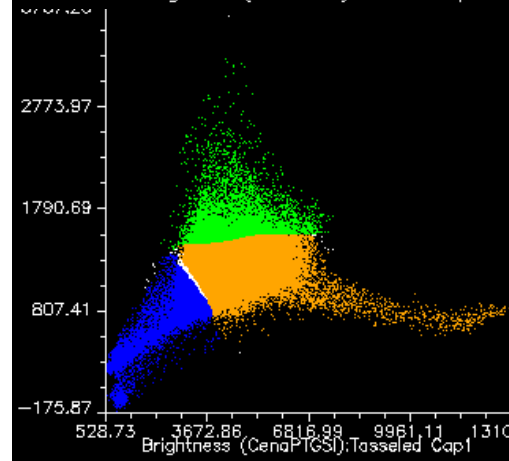
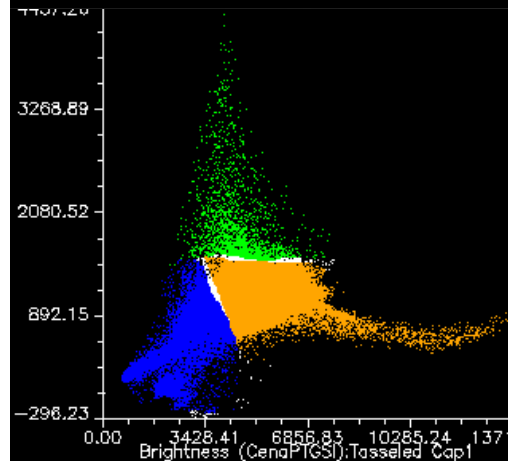
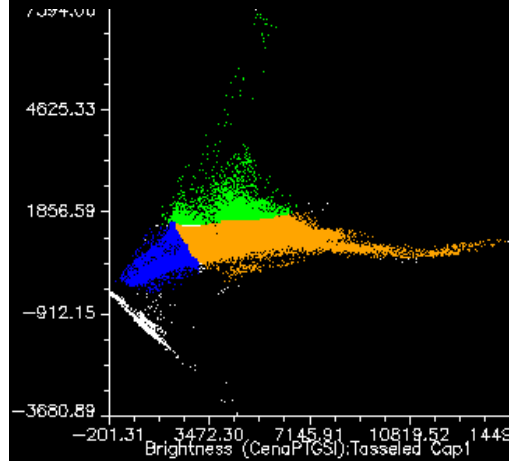
2006FC



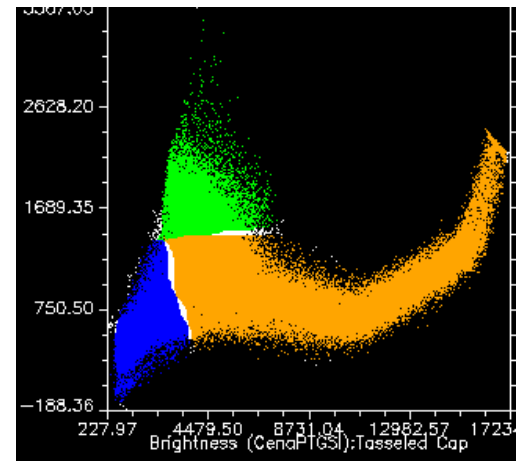
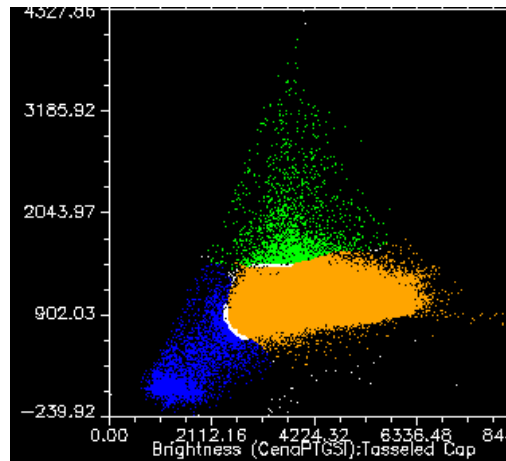
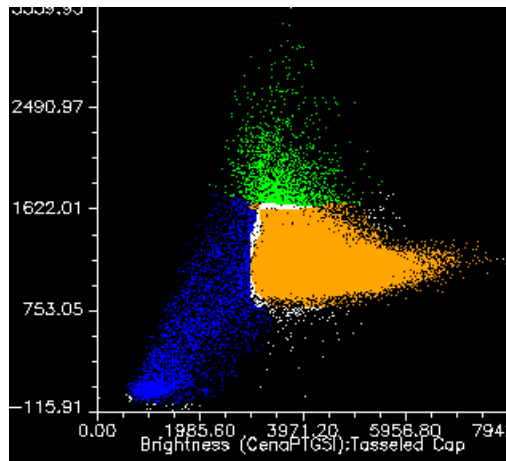
2007FC



2008FS



2008FC



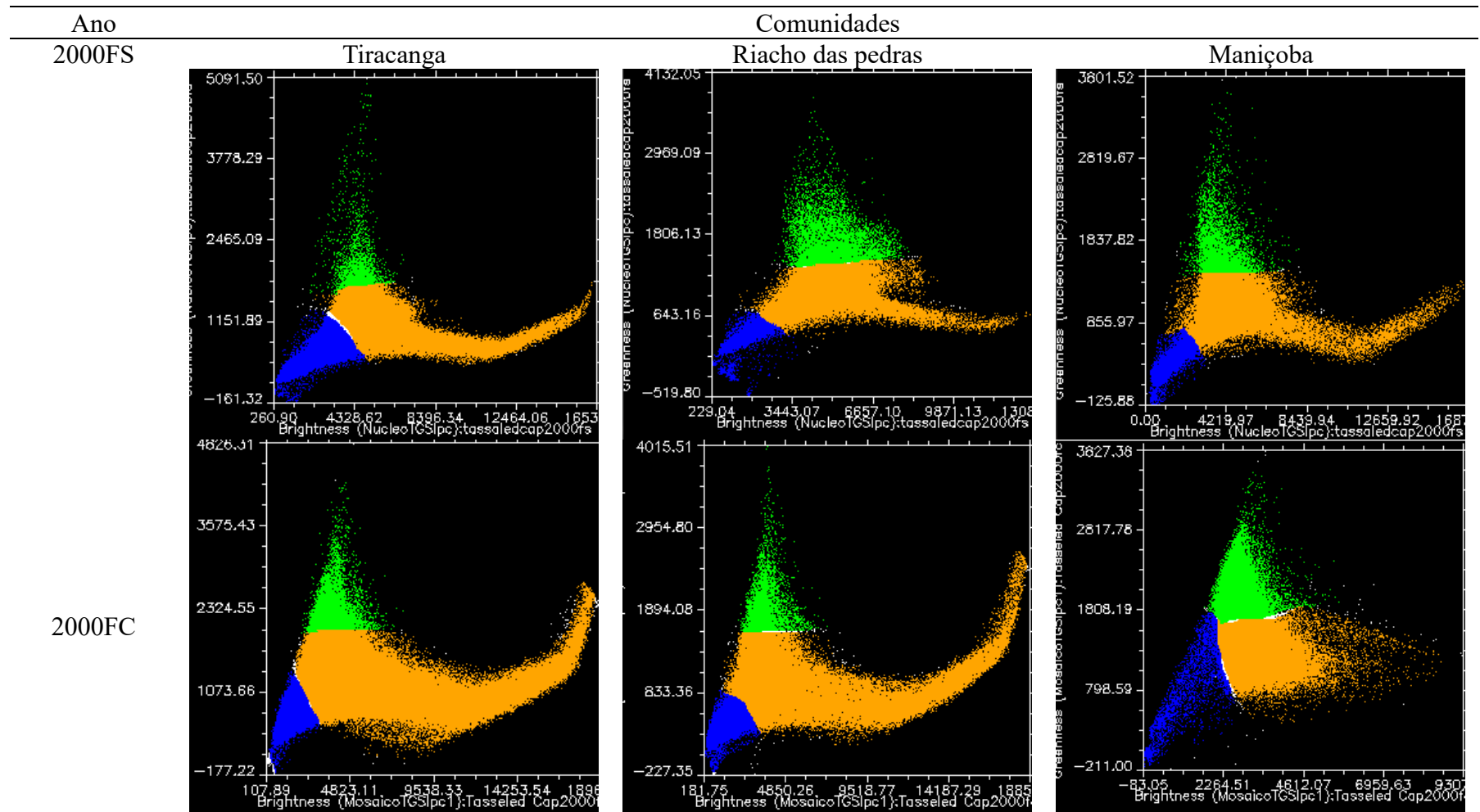
FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO
 Fonte: Elaboração Própria

De acordo com a Figura 31, o plano de vegetação para as comunidades Bom Jesus, Fumo e Saco de boi indicou presença de poucos pixels de Greenness ao longo de todos os anos estudados (Cor Verde), isso é perceptível devido ao baixo agrupamento dos pontos ao redor do eixo do Greenness mesmo durante os períodos chuvosos, ao contrário do que se observa com o eixo Brightness que não sofre nenhuma variação ao longo do tempo, verificado pelo intenso agrupamento de pontos (Cor Laranja), isso pode ser um indicativo da baixa recuperação da vegetação mesmo após o período chuvoso.

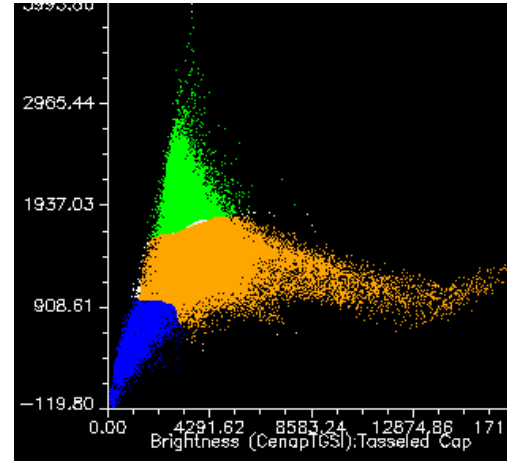
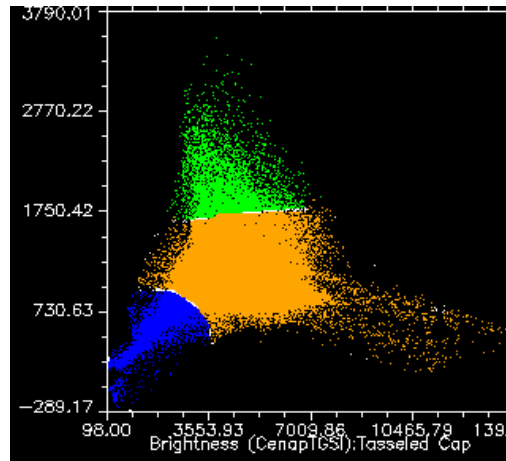
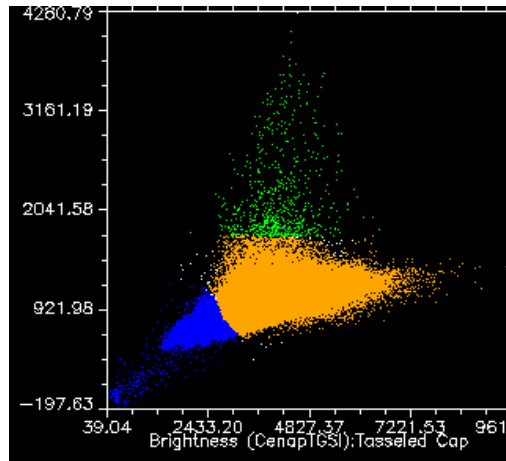
Observam-se que os pixels de Greenness estão posicionados a baixos valores desta componente representada pelo eixo Y, por outro lado nota-se maiores valores em torno da componente Brightness no eixo (X). Essa diferença dos valores de Brightness (brilho de solo) em relação aos de Greenness (verdor da vegetação) indicam degradação, pois em áreas degradadas a remoção da vegetação (redução do Greenness) com isso ocorre aumento das áreas de solo exposto (aumento do Brightness) esse comportamento é típico de áreas degradadas, pois a comparação das componentes revela predomínio de alto brilho em relação ao baixo verdor (HEALEY *et al.*, 2005; BEURS *et al.*, 2016).

Na Figura 32 observa-se a distribuição das componentes Brightness e Greenness para as comunidades Tiracanga, Riacho das pedras e Maniçoba.

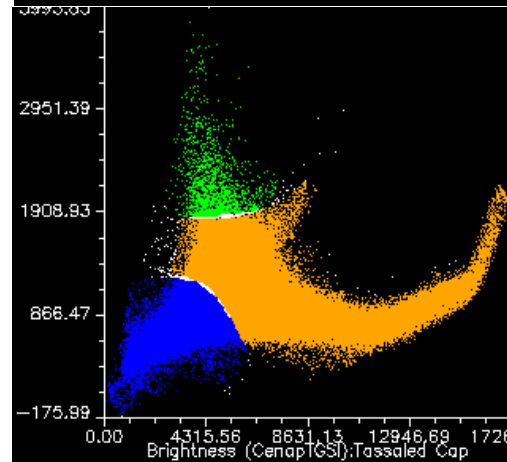
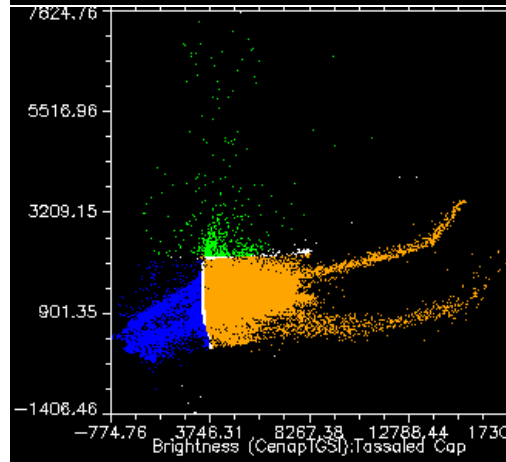
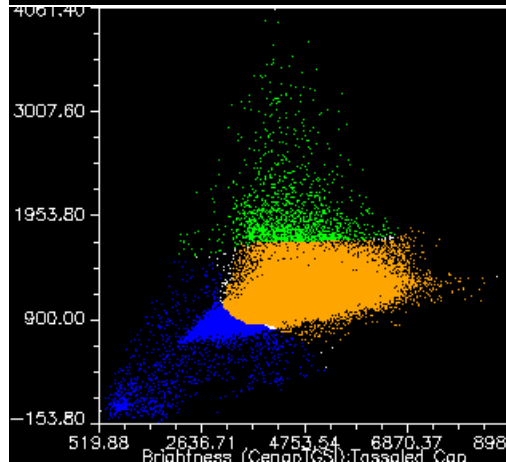
Figura 32 - Brightness e Greenness paras as comunidades Tiracanga, Riacho das pedras e Maniçoba



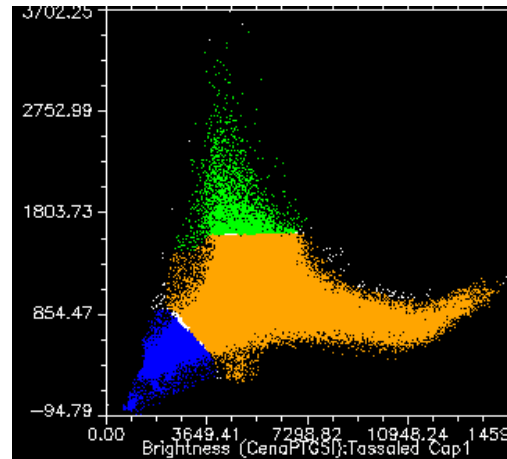
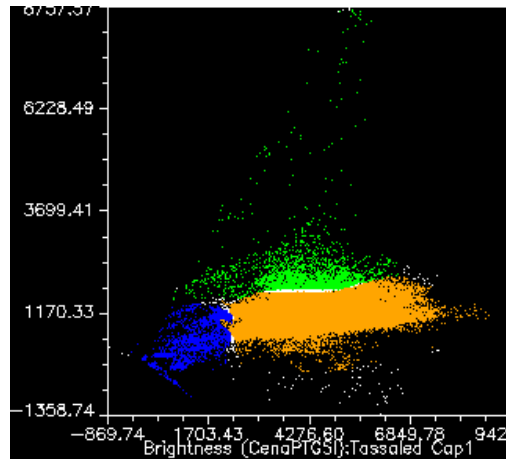
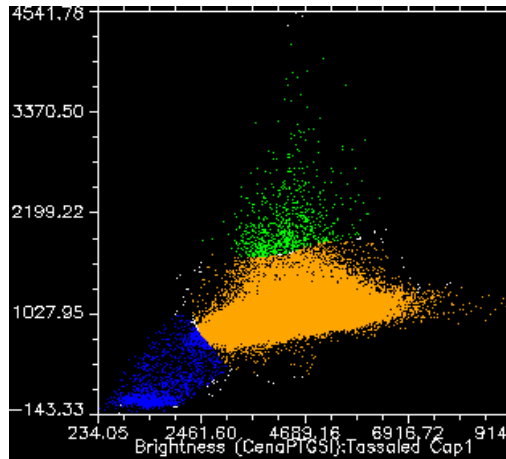
2001FC



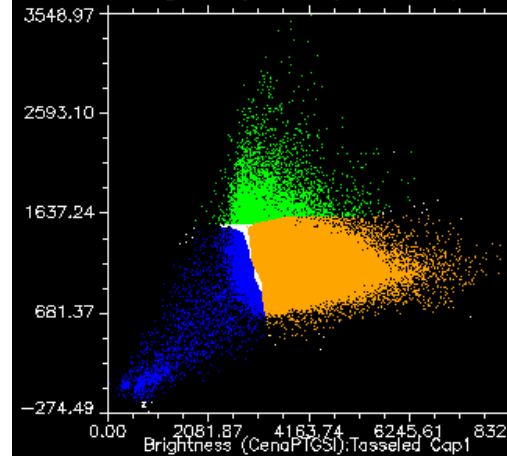
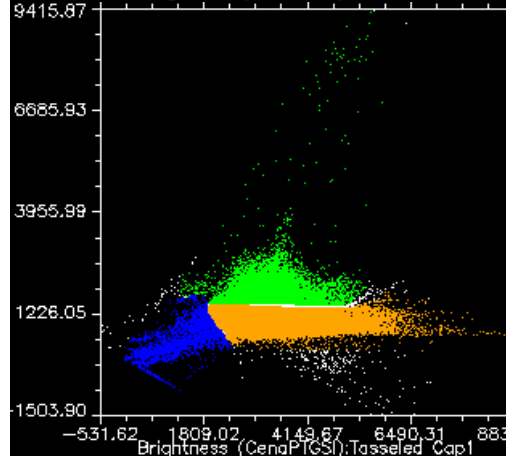
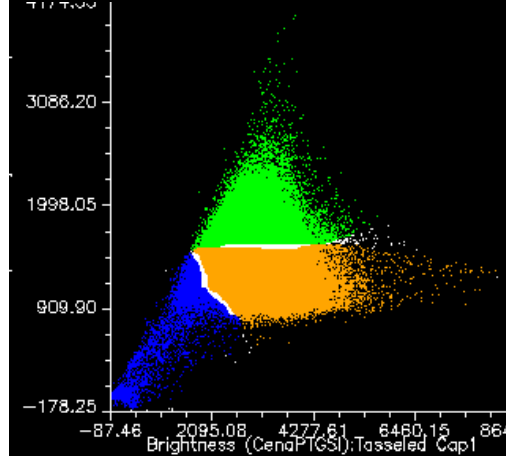
2003FS



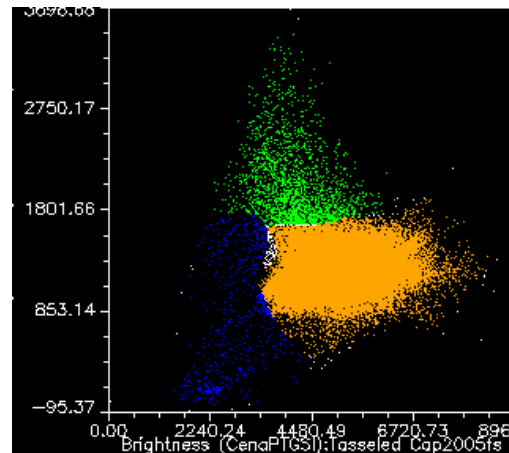
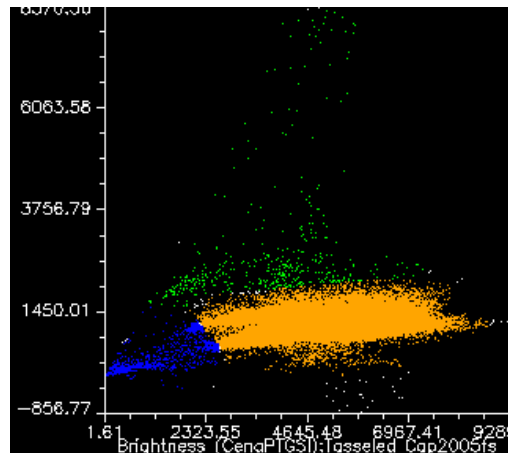
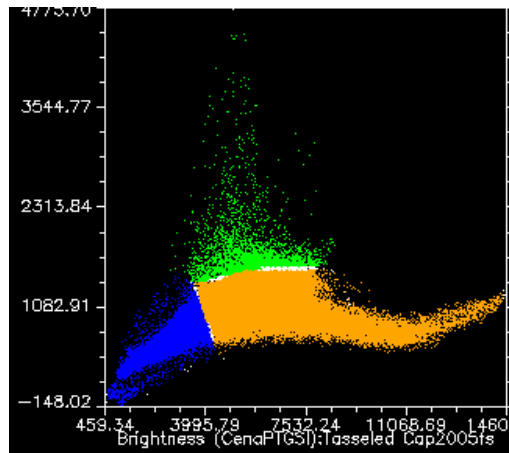
2004FS



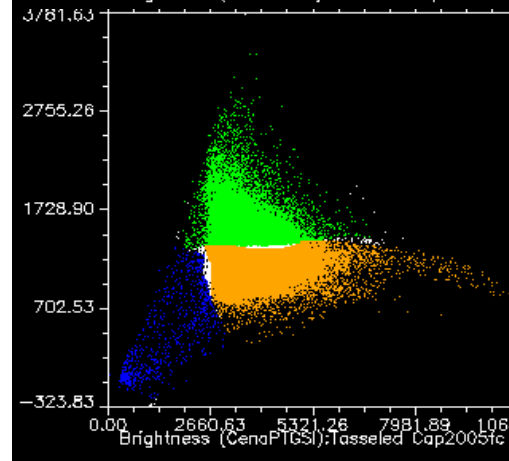
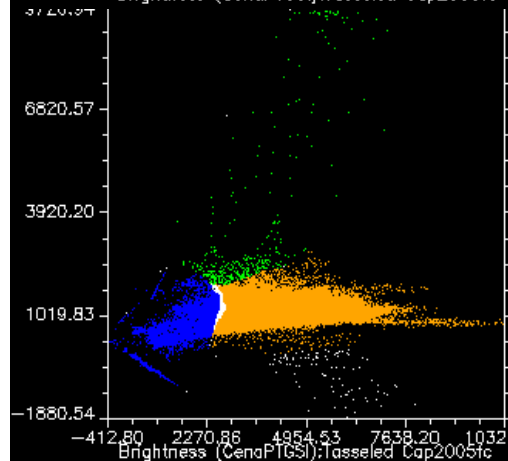
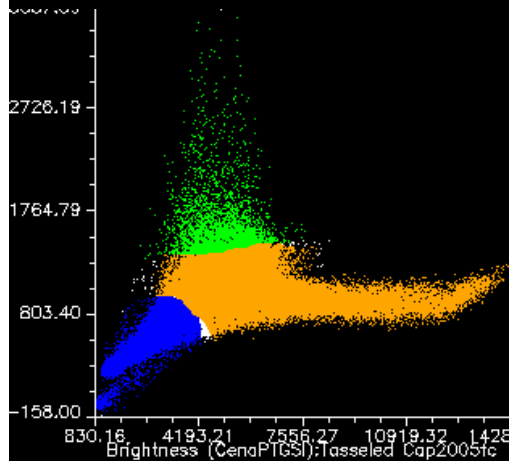
2004FC



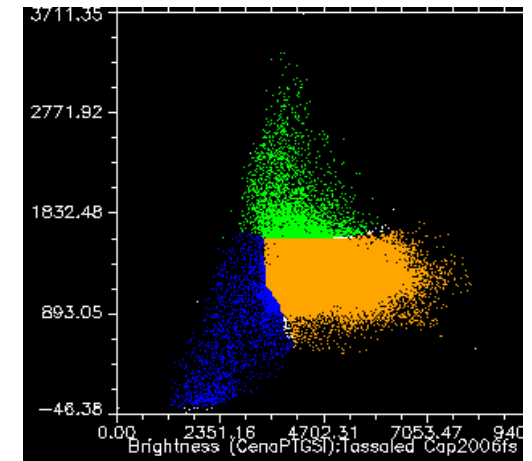
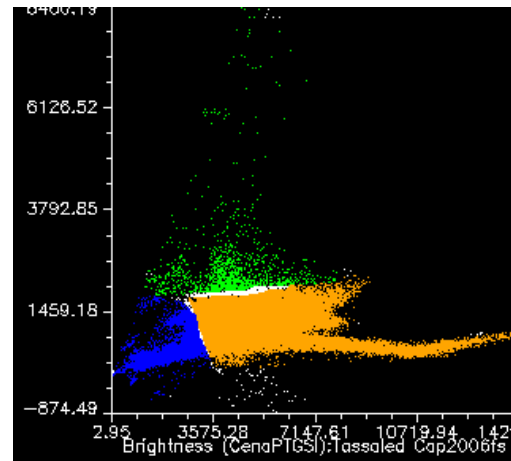
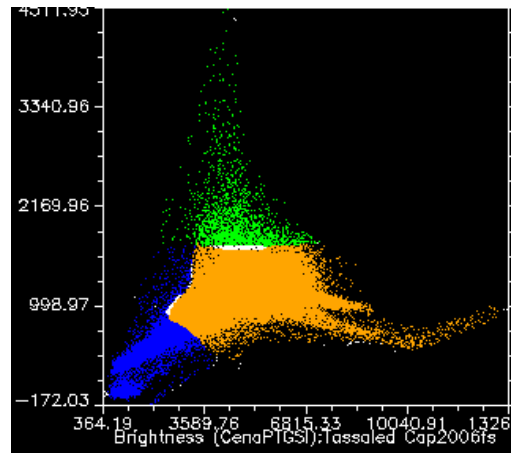
2005FS



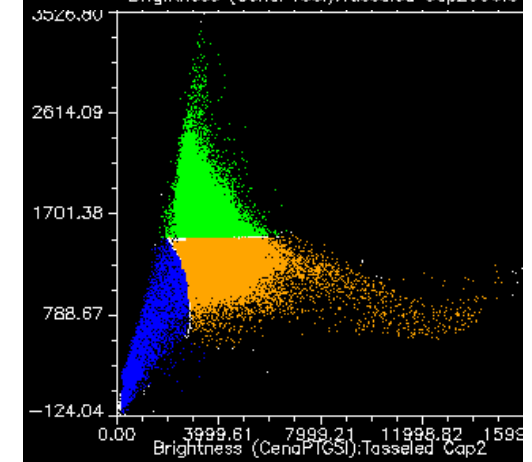
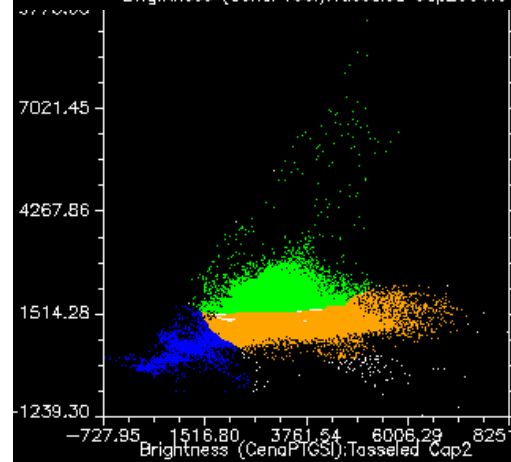
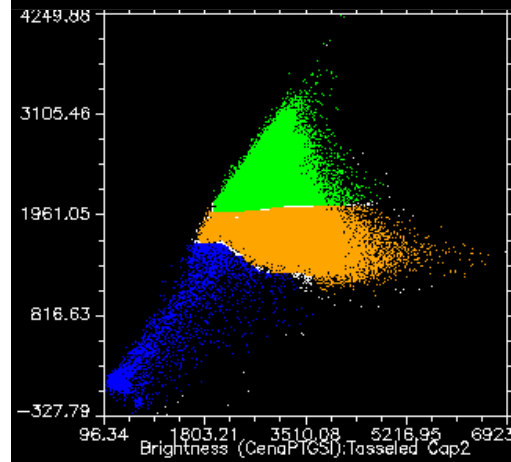
2005FC



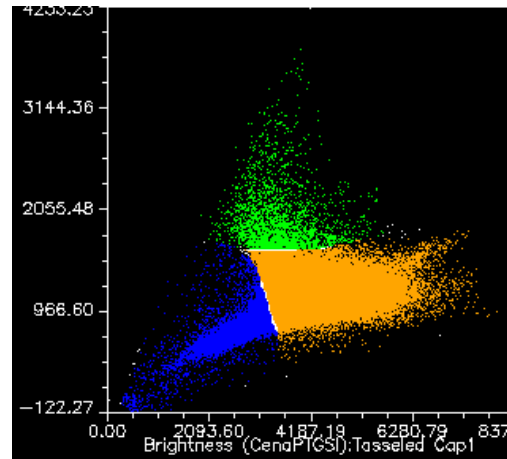
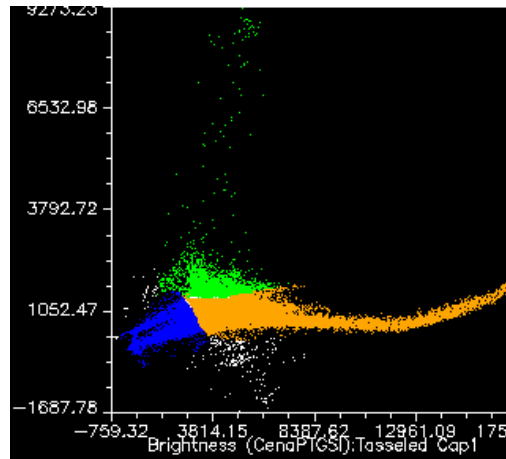
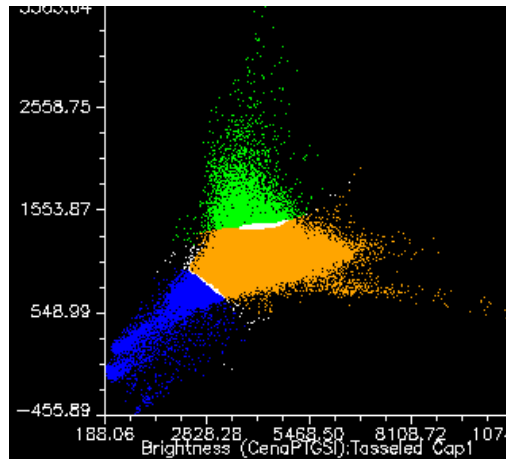
2006FS



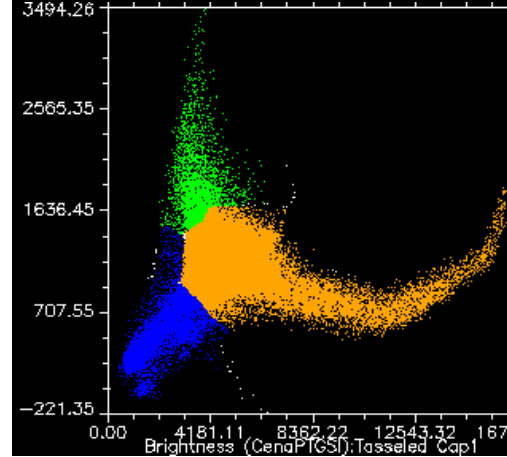
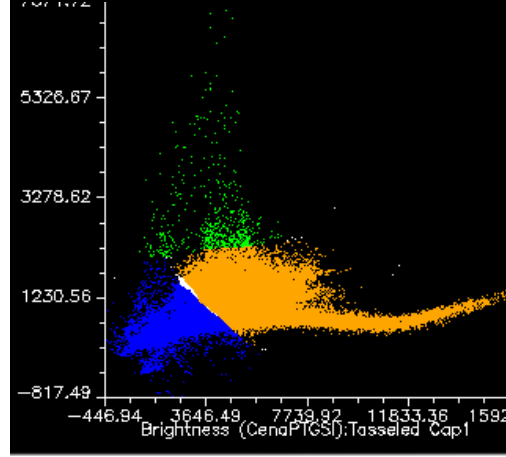
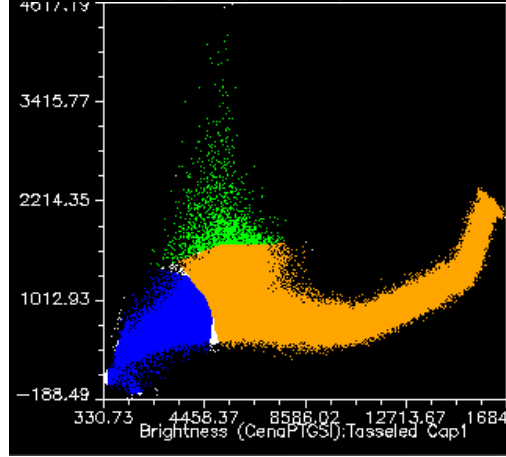
2006FC



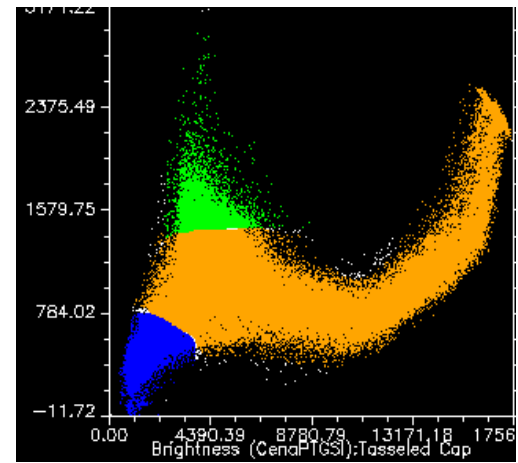
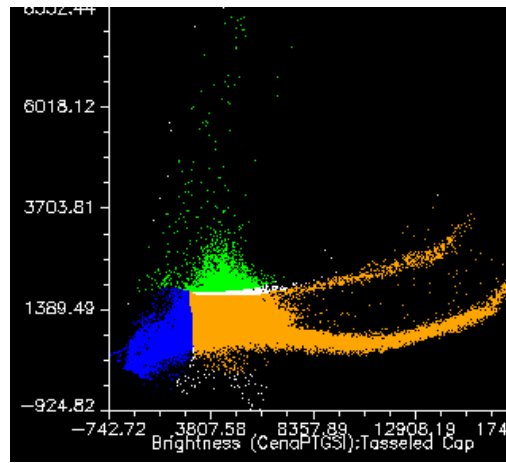
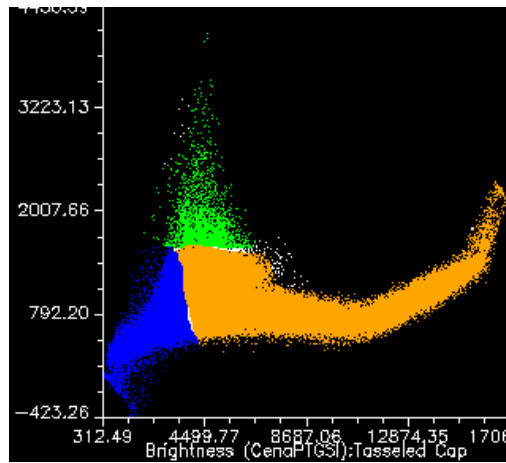
2007FC



2008FS



2008FC



FC: FINAL CHUVOSO; FS: FINAL SECO

Fonte: Elaboração Própria;



Na Figura 32, a transformação Tasseled Cap indicou reduzida quantidade de pixels associados ao eixo Greenness (Y) (cor verde) e maiores quantidades de pixels posicionados em relação ao eixo Brightness (X) (cor laranja) nas comunidades Riacho das pedras, Tiracanga e Maniçoba.

O comportamento apresentado pela Transformação Tasseled Cap foi o mesmo apresentado para as comunidades citadas anteriormente, observa-se que os pixels de vegetação (cor verde) estão referenciados a baixos valores, enquanto que os pixels de Brightness (cor laranja) estão situados a altos valores de Brightness.

A análise da componente Brightness indicou que em todos os períodos analisados, está componente permaneceu inalterada como visto na análise temporal, havendo concentração de pixels (Cor Laranja) associado a altos valores desta componente, por outro lado nota-se que os pixels associados ao Greenness (Cor Verde) apresentaram variações em função da época chuvosa, contudo vale destacar a superioridade do Brightness (brilho de solo) em relação a componente Greenness (verdor). Essa discrepância entre os valores de ambas as componentes denuncia a degradação presente no meio (BEURS *et al.*, 2016).

A partir da análise gráfica nota-se a variação da componente Greenness ao longo do tempo em algumas comunidades específicas, contudo em todas as comunidades estudadas é visível a não modificação da componente Brightness mesmo com o final do período chuvoso, o que leva a deduzir que mesmo com a ocorrência de precipitação nestes locais, houve resposta da vegetação, mas não o suficiente para reduzir o brilho do solo, possivelmente este comportamento seja explicado pela vegetação caatinga ser esparsa e de baixo porte e a presença de práticas antrópicas inadequadas, o que reduz a capacidade da vegetação de responder a precipitação havendo apenas uma singela alteração do verdor, típico de uma vegetação rala, não recobrando o solo para que houvesse redução dos valores de brilho.

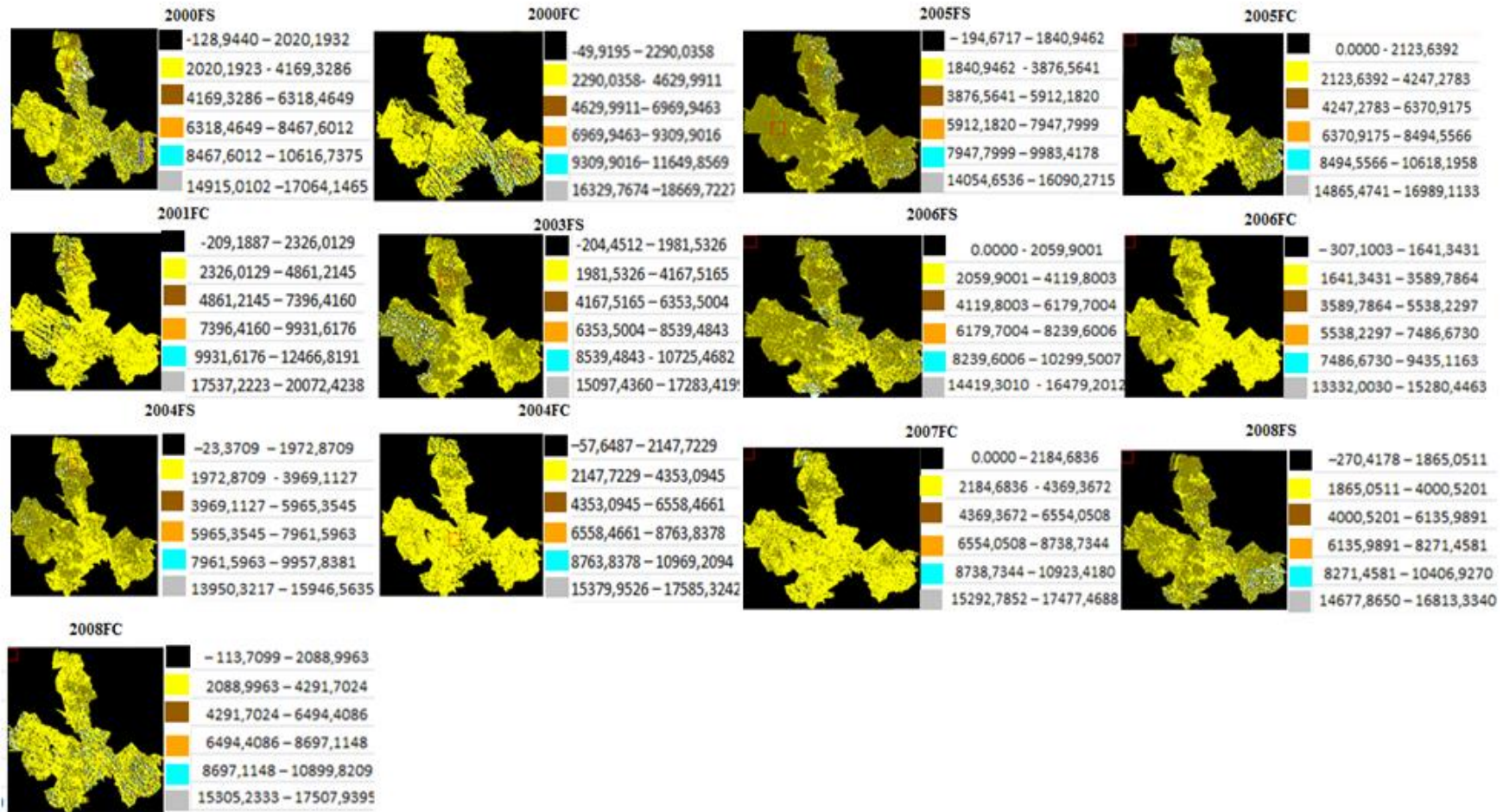
Os valores das duas componentes podem ter sido afetados devido ao processo de correção atmosférica aplicado sobre as imagens, esse processo resultou em valores de reflectância com escala de 1000 a 10.000, quando multiplicado pelos coeficientes da transformação resultou em valores elevados de Brightness e Greenness, no entanto é necessário fazer a aplicação da transformação sobre as imagens corrigidas, pois trabalhar com os valores em números digitais não é apropriado devido as mudanças das condições de geometria de iluminação, entretanto vale salientar que apesar da transformação os

valores obtidos se mantiveram na mesma proporção não dificultando a interpretação dos resultados (HUANG *et al.*, 2002).

A componente Brightness é importante em estudos de degradação, pela relação direta com as características de reflectância de solo (CRIST & CICONE, 1984). Altos valores desta componente indica a exposição do solo que é uma característica primordial para início da desertificação.

A Figura 33 mostra a distribuição dos valores de Brightness no núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte na série temporal de 2000 a 2008.

Figura 33 - Mapas de Brightness para o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte durante os períodos secos e chuvosos entre os anos de 2000 a 2008



FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO

Fonte: Elaboração Própria

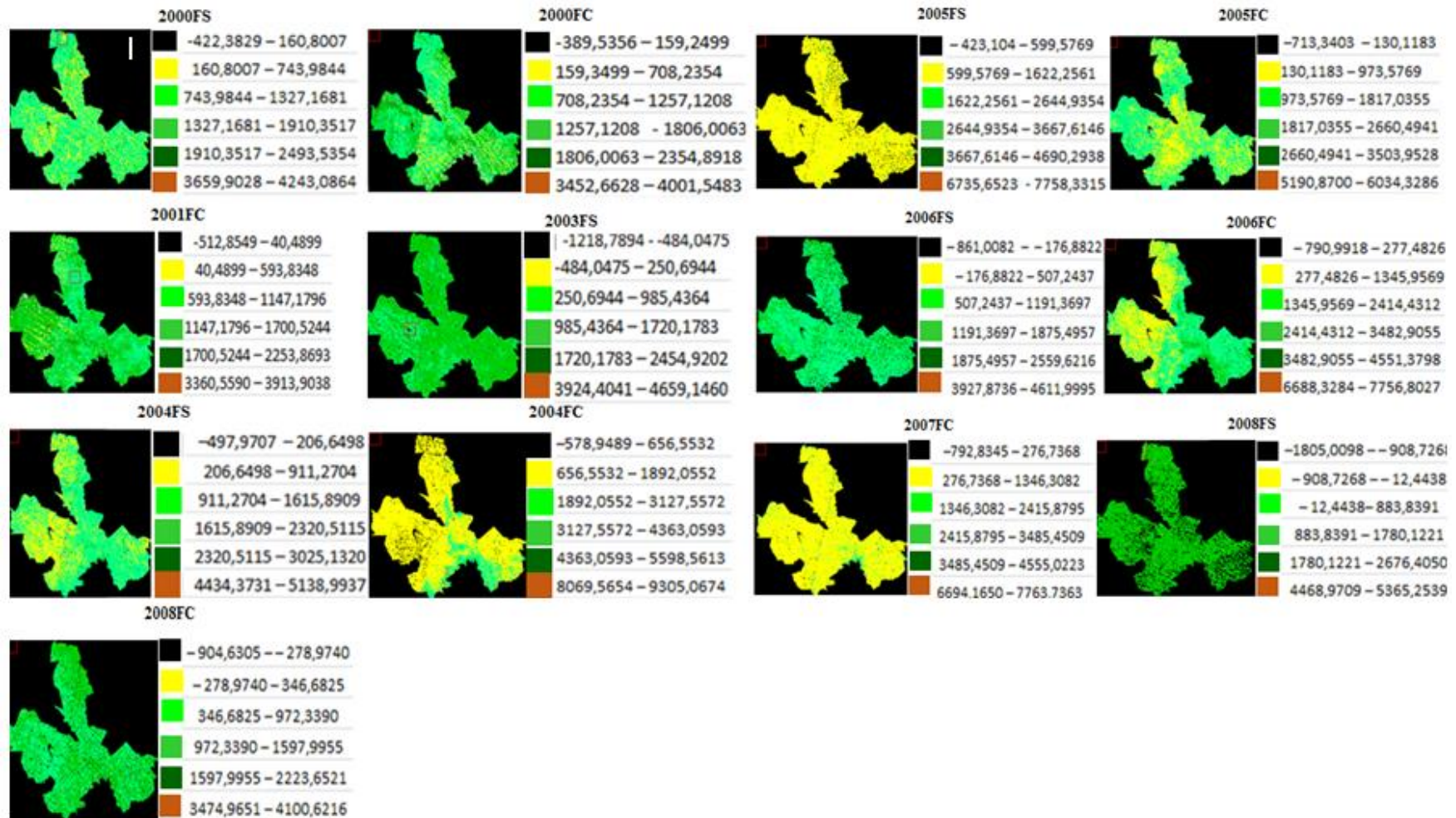
Os mapas contidos na Figura 33 apresentam a distribuição dos valores de Brightness no núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte durante os períodos seco e chuvoso, na análise dos mapas observa-se a predominância da classe de cor amarela nos períodos 2000FC, 2001FC, 2004FC, 2005FC, 2006FC, 2007FC e 2008FC, em relação aos demais períodos como 2000FS, 2003FS, 2004FS, 2005FS, 2006FS e 2008FS.

Essa analogia permite perceber que a componente Brightness (brilho do solo) apresentou menores valores na época chuvosa (Cor Amarela) em relação aos valores de Brightness da época seca, que foram maiores (Cor Marrom), isso se deve ao fato de que com a precipitação a presença de água no solo tende a deixá-lo mais escuro, solos mais escuros apresenta menores valores de Brightness (brilho), refletindo diretamente na redução da componente Brightness (BAUMANN *et al.*, 2014).

Nas épocas secas o solo fica exposto devido a reduzida vegetação, proporcionado pela pouca quantidade de água, isso aumenta a reflectância do mesmo, contribuindo para aumento dos valores de Brightness para a área.

A Figura 34 mostra a distribuição da componente Greenness para o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte.

Figura 34 - Mapas de Greenness para o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte durante os períodos secos e chuvosos entre os anos de 2000 a 2008



FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO

Fonte: Elaboração Própria

A Figura 34 apresentou os mapas referentes aos diferentes valores de Greenness encontrados para o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte, percebe-se que em 2000FS o núcleo apresentava predomínio da classe 743,9844 – 1327,1681 (Cor Verde), em 2000FC a classe permaneceu, no entanto começou a aparecer maiores valores de Greenness (Cor Verde), isso se manteve em 2001FC e 2003FS, a partir de 2004FS ocorreu redução da componente chegando a valores reduzidos em 2004FC (Cor Laranja), continuando em 2005FS, em 2005FC os valores de Greenness começam a aumentar para classe cor verde, essa classe permaneceu em 2006FS e 2006FC, seguido pela redução em 2007FC, aumentando em 2008FS e reduzindo em 2008FC, este comportamento reforça o que foi discutido anteriormente, ou seja, a reduzida presença de vegetação presente no núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte, indicando o baixo potencial de recuperação da caatinga, o que reduz a cobertura do solo e aumento os riscos de erosão.

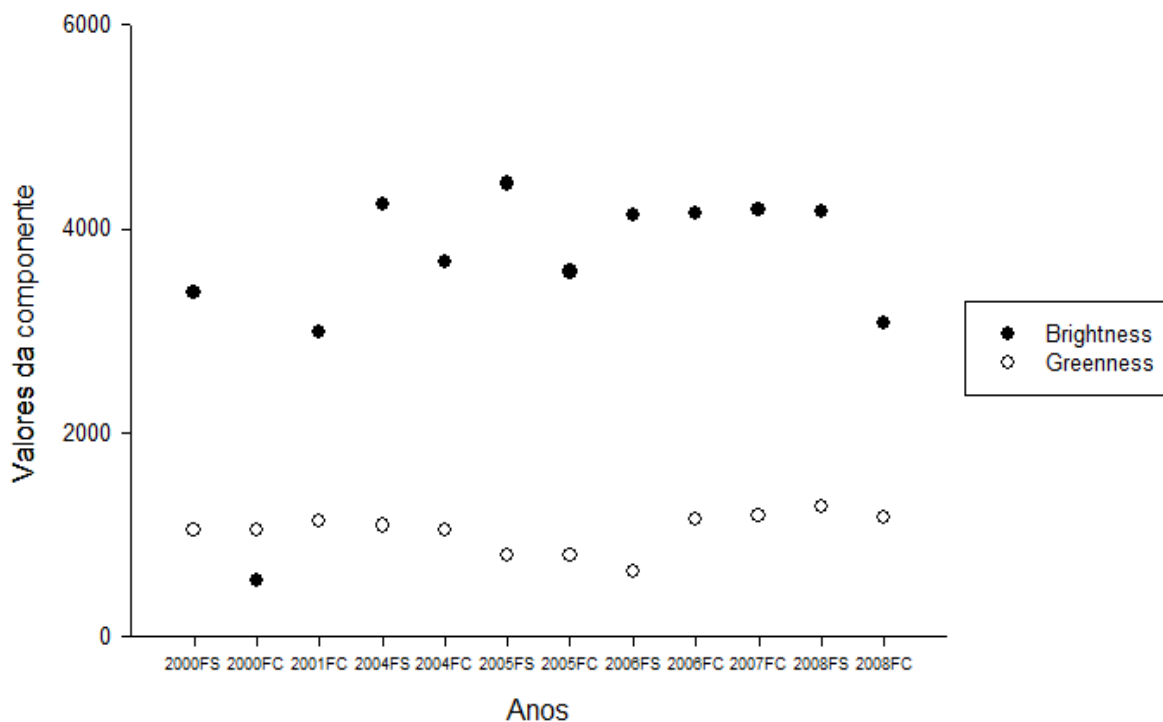
As mudanças nos valores de Greenness na transição de 2000FS para 2000FC e 2001FC podem ser justificada pelas maiores precipitações que ocorreram nestas épocas Figura 5, no entanto a resposta da vegetação não se deu de maneira proporcional a precipitação, pois as classes de Greenness oscilaram muito pouco durante a série temporal trabalhada, os anos de 2000, 2001, 2004 e 2006 foram verificados boas precipitações que produziram bons valores de NDVI, contudo a Tasseled Cap Greenness não mostrou isso, pois os intervalos de Greenness foram bastantes reduzidos e se mostraram bem inferiores aos valores de Brightness isso é um indicativo da deficiente cobertura vegetal estabelecida no núcleo, em que se verifica baixos Greenness e altos Brightness, como discutido anteriormente esse comportamento é típicos de áreas degradadas (HEALEY *et al.*, 2005).

Os resultados da transformação Tasseled Cap Brightness e Greenness para o FLONA (Figura 40) mostraram que o maior valor da componente Greenness foi verificado em 2008FS (1.270,7329) seguidos por 2007FC (1.182.1662); 2008FC (1.173.22870); 2001FC (1.130,0326); 2000FC (1.048,3463) e 2004FC (1.038,1639) e os menores em 2006FS (643.1357); 2005FS (801.65) e 2005FC (801.9884), isso mantém o mesmo comportamento observado para o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte, ou seja, os reduzidos valores de Greenness reforçam o baixo vigor da vegetação encontrada para o FLONA.

Em relação a componente Brightness foram observados a presença de maiores valores desta em relação a Greenness (Figura 33), isso foi verificado em 2005FS (4.442,8989); 2004FS (4.238,0454); 2007FC (4.190.4856); 2008FS (4.168,6545);

2006FC (4.152,807) e 2006FS (4.132,2143), por outro lado, os menores valores de brilho foram encontrados para o período 2000FC (553,99), a principal conclusão da análise da componente Brightness é o fato dos valores terem sido elevados tanto nos períodos secos e chuvosos, reforçando o baixo potencial de resposta da vegetação do FLONA a ocorrência da precipitação.

Figura 35 - Valores de Brightness e Greenness FLONA



FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO

Fonte: Elaboração Própria

A precipitação influenciou os valores das componentes Brightness e Greenness, observa-se que a componente Brightness obteve valores superiores no período seco em relação ao período chuvoso, verificado para os períodos (2000FS/2000FC), (2004FS/2004FC), (2005FS/2005FC) e (2008FS/2008FC), em contrapartida a componente Greenness apresentou mudanças consideráveis somente em (2006FS/2006FC), nos demais períodos os valores da componente apresentaram sensíveis aumentos nos períodos (2000FS/2000FC), (2005FS/2005FC), e reduções observadas em (2004FS/2004FC) e (2008FS/2008FC).

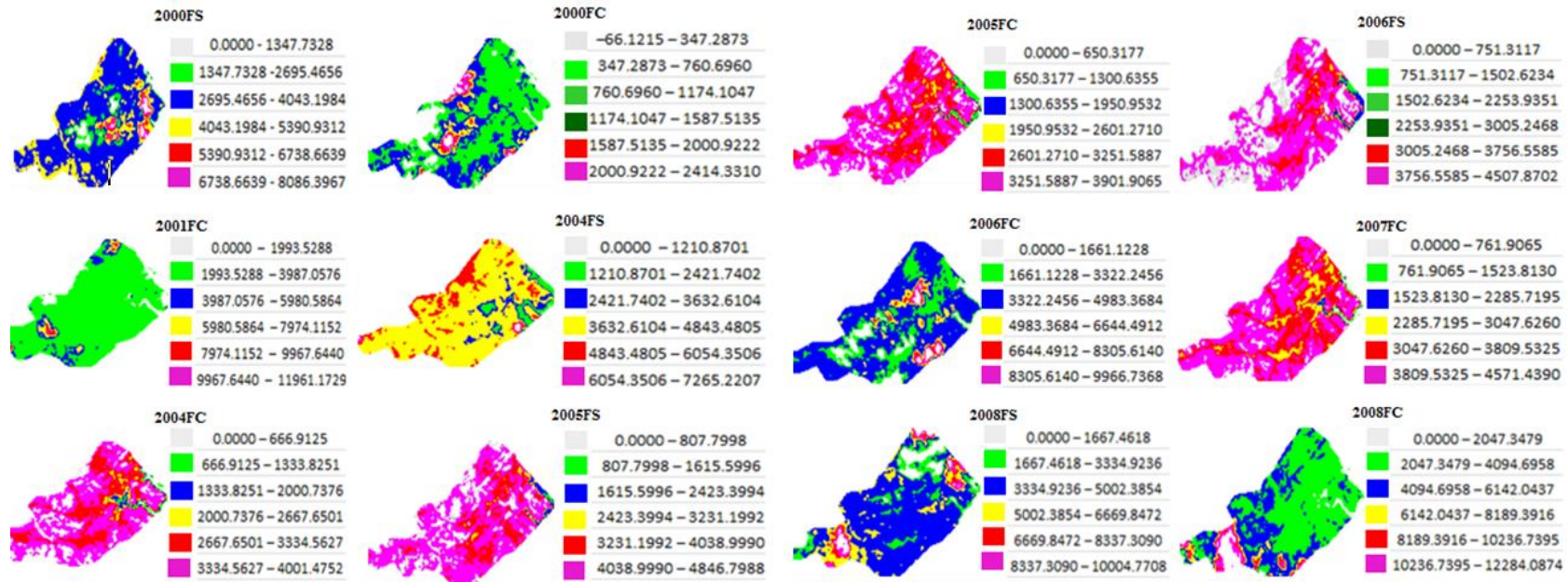
Comparando o comportamento das componentes Brightness (solo) e Greenness (vegetação) nota-se a superioridade da componente relacionada ao brilho do

solo em relação a componente de vegetação, isso é atribuído a deficiente cobertura da vegetação causada pela pouca e irregular precipitação pluviométrica associados com a presença de atividade antrópicas que vem ocorrendo no FLONA, contribuindo para um cenário de diminuição de cobertura vegetal na área, que deixa o solo exposto a radiação solar, conseqüentemente aumentando os valores de brilho nestas áreas (BEURS *et al.*, 2016).

A Figura 35 mostrou pouca variação da componente Greenness ao longo da série temporal analisada, tanto em períodos úmidos e secos, o contrário é observado na componente Brightness que destaca a superioridade desta em relação à Greenness, os valores de Brightness se destacaram no FLONA reforçando a presença de solo exposto e a relação com os estudos de degradação, visto que esta apresenta relação direta com as características de reflectância de solo (CRIST & CICONE, 1984).

A Figura 36 mostra as classes de Brightness para a FLONA na série temporal de 2000 a 2008.

Figura 36 - Mapas de Brightness para FLONA durante os períodos secos e chuvosos entre os anos de 2000 a 2008



FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO
 Fonte: Elaboração Própria

A Figura 36 apresentou as distribuições das classes de Brightness para a FLONA durante os períodos de 2000 a 2008, os mapas mostraram que os períodos 2000FS, 2004FS, 2004FC, 2005FS, 2005FC, 2006FS, 2006FC, 2007FC, 2008FS e 2008FC foram verificadas classes de Brightness elevadas, pois nestes períodos houve predomínio de maiores valores da componente em decorrência da pouca precipitação registrada no posto do Jaibaras (Figura 6).

Somente os períodos de 2000FC e 2001FC foram observados valores reduzidos de Brightness, pois estas épocas foram caracterizadas por ter havido precipitação suficiente para melhorar a resposta da vegetação (Figura 6), sendo verificados valores altos de NDVI nestes anos (Figura 8), atuando na proteção do solo e diminuindo o seu brilho.

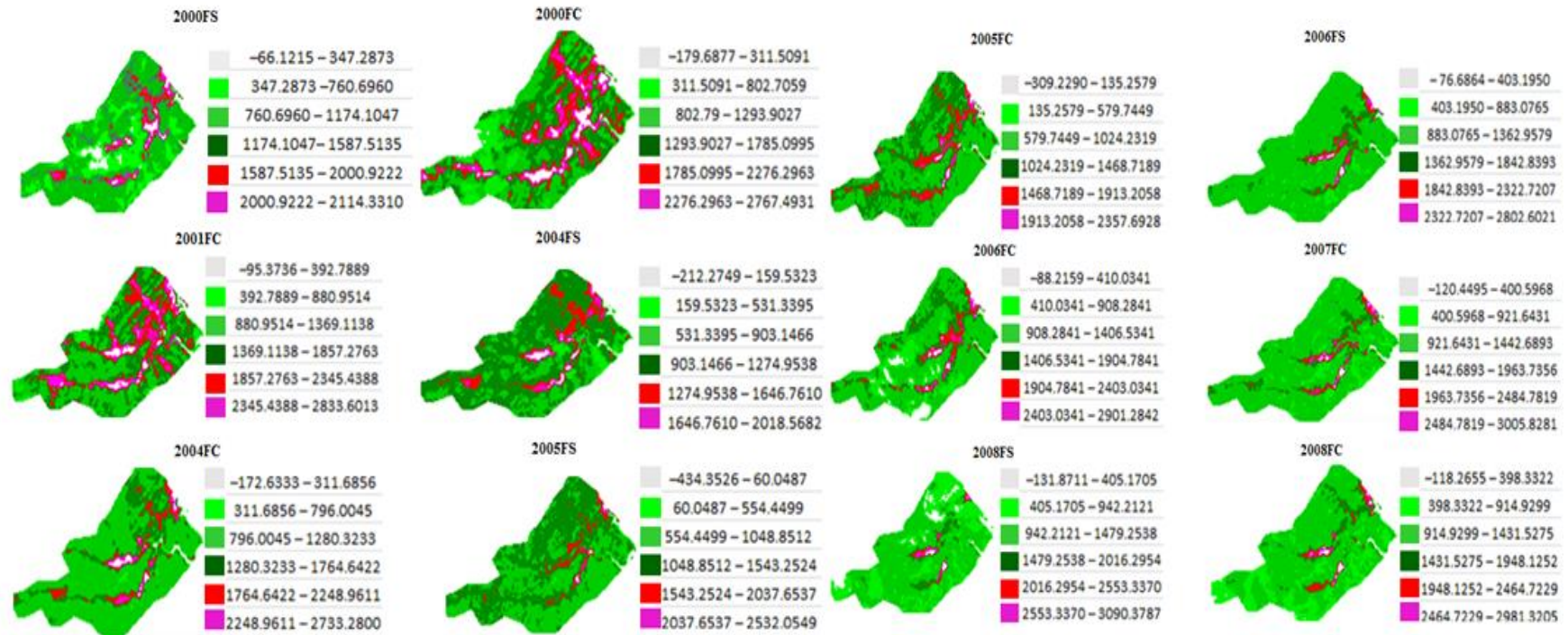
É importante destacar a presença das classes associadas a altos valores de Brightness para a FLONA, observadas para a maioria dos períodos estudados e que corroboram com os valores de NDVI reduzidos encontrados na mesma época, o que reforça a influência que a vegetação desempenha sobre o brilho do solo.

A capacidade da vegetação de se recuperar no final do período chuvoso está relacionada à ocorrência regular da precipitação, que na análise temporal constatou-se que apenas os períodos de 2000FC e 2001FC é que se registraram valores de precipitação elevados, enquanto que nos demais períodos foram verificados precipitações inferiores a 200 mm (Figura 6). Isso mostra a sazonalidade da precipitação típica da região semiárida, que contribui para o pouco desenvolvimento da vegetação e aumento da erosão, acarretando aumento da reflectância do solo, sendo observado nos valores das componentes Brightness, o FLONA indicou redução da componente Brightness quando as precipitações se deram de maneira bem distribuída, isso provocou boa resposta da vegetação na área a ponto de se observarem elevados valores de Greenness recobrando o solo e reduzindo a sua reflectância, conforme se observa na Figura 35.

A Figura 36 mostrou que os períodos 2004FC, 2005FS, 2005FC, 2006FS e 2007FC, apresentaram menores valores de Brightness (Cor Vermelha) nas áreas correspondentes aos canais de drenagem (sinuosidade), isso foi seguido por maiores valores de Greenness nesta área, a presença de veios de água provocou melhoria da vegetação que atuou recobrando o solo, reduzindo assim a reflectância do solo e consequentemente os valores de Brightness. Na Figura 37, observam-se as classes da componente Greenness para a FLONA nos períodos de 2000 a 2008, esta componente

está relacionada com a presença da vegetação sobre estas áreas.

Figura 37 - Mapas de Greenness para FLONA durante os períodos secos e chuvosos entre os anos de 2000 a 2008



FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO
 Fonte: Elaboração Própria

A Figura 37 revelam que as classes de Greenness ocorridas no FLONA no período de 2000 a 2008, apresentaram valores baixos em relação a Brightness.

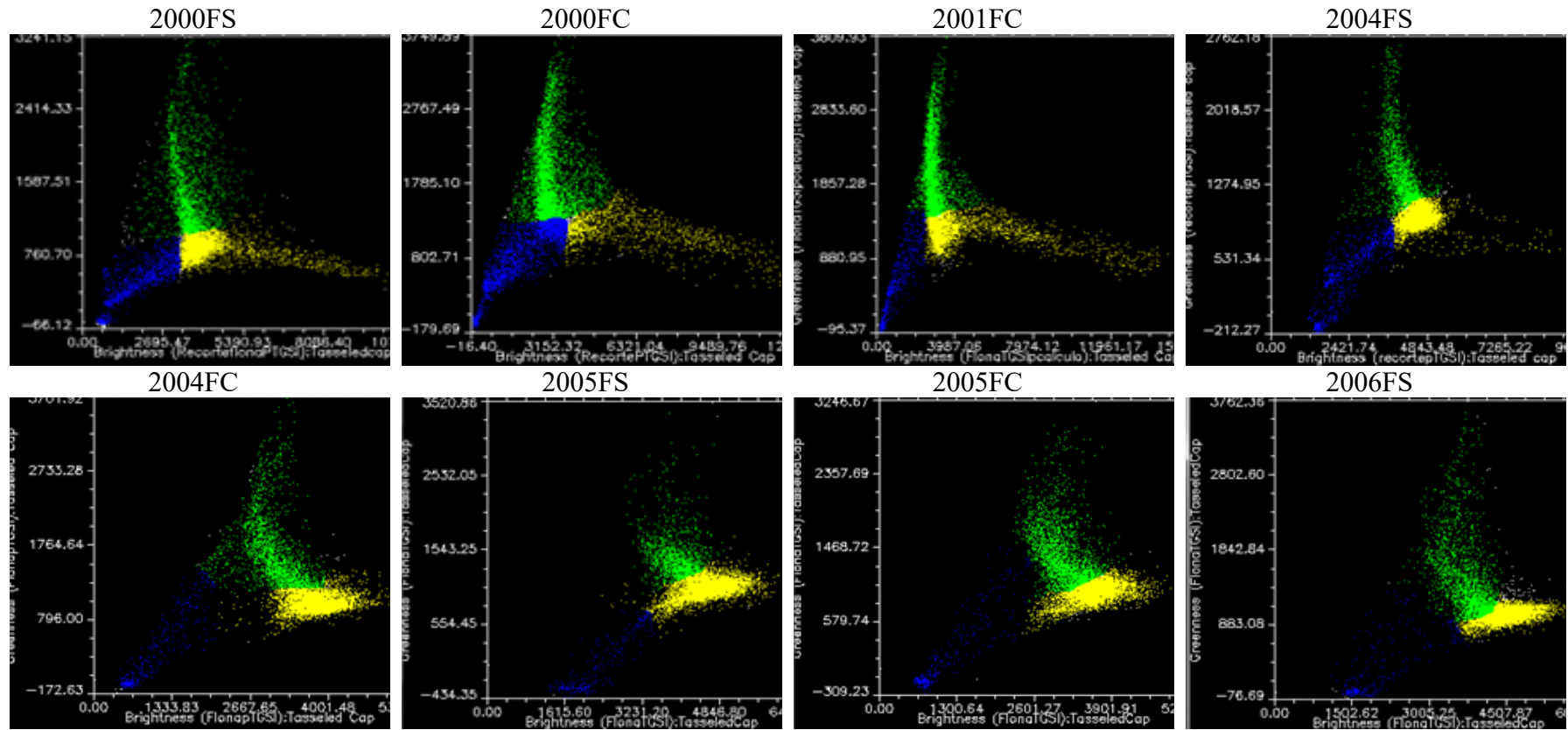
As classes associadas aos maiores valores de Greenness se deram no início do período 2000FC e 2001FC, a justificativa para isso foram os volumes de precipitação ocorridos nesta época (Figura 4) que melhorou o NDVI para estas áreas (Figura 8), contudo nos períodos 2004FS e 2005FS foram observadas classes elevadas de Greenness, no entanto não houve precipitação nestes períodos que pudessem justificar tal comportamento.

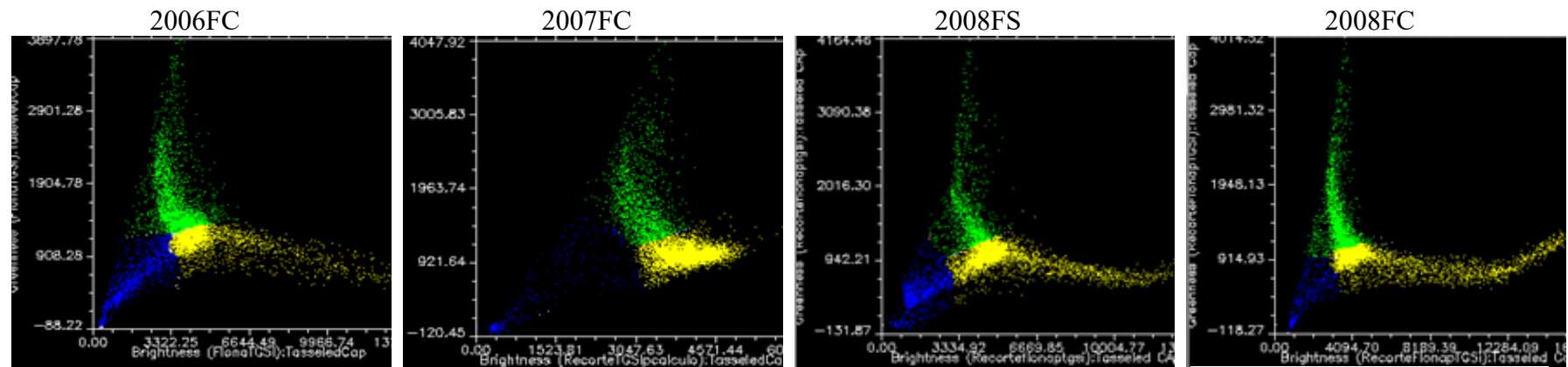
Os valores de Greenness foram reduzidos em relação ao Brightness, a explicação para isso pode estar associados a ausência de preservação da área juntamente com a pouca precipitação, em que segundo dados fornecimento da WWF, o FLONA de Sobral não conta com plano de manejo, o que dificulta o controle e fiscalização das atividades dentro e no entorno do FLONA contribuindo para sua degradação e remoção da vegetação seguido do aumento das áreas de solos exposto, favorecendo os processos de erosão, criando cenário de áreas acometidas por algum tipo de degradação (HEALEY *et al.*, 2005).

Na Figura 37, os valores de Greenness (Cor Rosa) foram maiores nos canais de drenagem (áreas em sinuosidade), esse aumento de verdor associado a vegetação pode ser justificado pela presença de corpos hídricos nestas áreas, isso garantiu o fornecimento de água a vegetação permitindo seu bom desenvolvido, refletido em altos valores de Greenness.

A Figura 38 mostra o plano de vegetação para a FLONA no período de 2000 a 2008.

Figura 38 - Brightness e Greenness FLONA durante os períodos secos e chuvosos entre os anos de 2000 a 2008





Legenda



FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO
 Fonte: Elaboração Própria

Os resultados mostraram que as maiores áreas de solos expostos foram observadas para 2005FS (517,05 ha), 2007FC (498,42 ha), 2008FS (438,93 ha), 2004FC (433,80 ha), 2004FS (432,18 ha), 2006FS (419,58 ha) e 2008FC (416,07 ha) e os menores foram encontradas para os anos de 2000FC (86,94 ha), 2006FC (268,47 ha), 2001FC (280,53 ha), 2000FS (363,06 ha) e 2005FC (388,89 ha) (Figura 36). A análise do plano de vegetação para o FLONA revela a dispersão dos pixels associados a componente Greenness (Cor Verde) seguido pelo agrupamento dos pixels associados a componente Brightness (Cor Amarela), isso é verificado em todos os anos estudados tanto em período seco como úmido, o que enaltece a baixa cobertura vegetal do FLONA e o predomínio das áreas de solo exposto.

As maiores áreas de cobertura vegetal foram observadas em 2000FC (493,92 ha) e para 2001FC (338,94 ha), os demais períodos apresentaram poucas áreas cobertas com vegetação como se observa em 2000FS (206,01 ha), 2004FS (177,57 ha), pelo gráfico percebe-se o predomínio das áreas de solos expostos na grande maioria dos períodos analisados (Figura 38), com exceção de 2000FC, 2001FC e 2006FC, todos os demais períodos tiveram áreas de solos expostos que ocuparam mais de 50 % da área da FLONA chegando ao valor máximo de 78 % para o período de 2005FS, a ampliação das áreas de solos expostos em relação às ocupadas com a vegetação deve-se aos períodos de estiagem na região e a má distribuição da precipitação pluviométrica típica da região semiárida, que associada a presença antrópica contribui para este cenário.

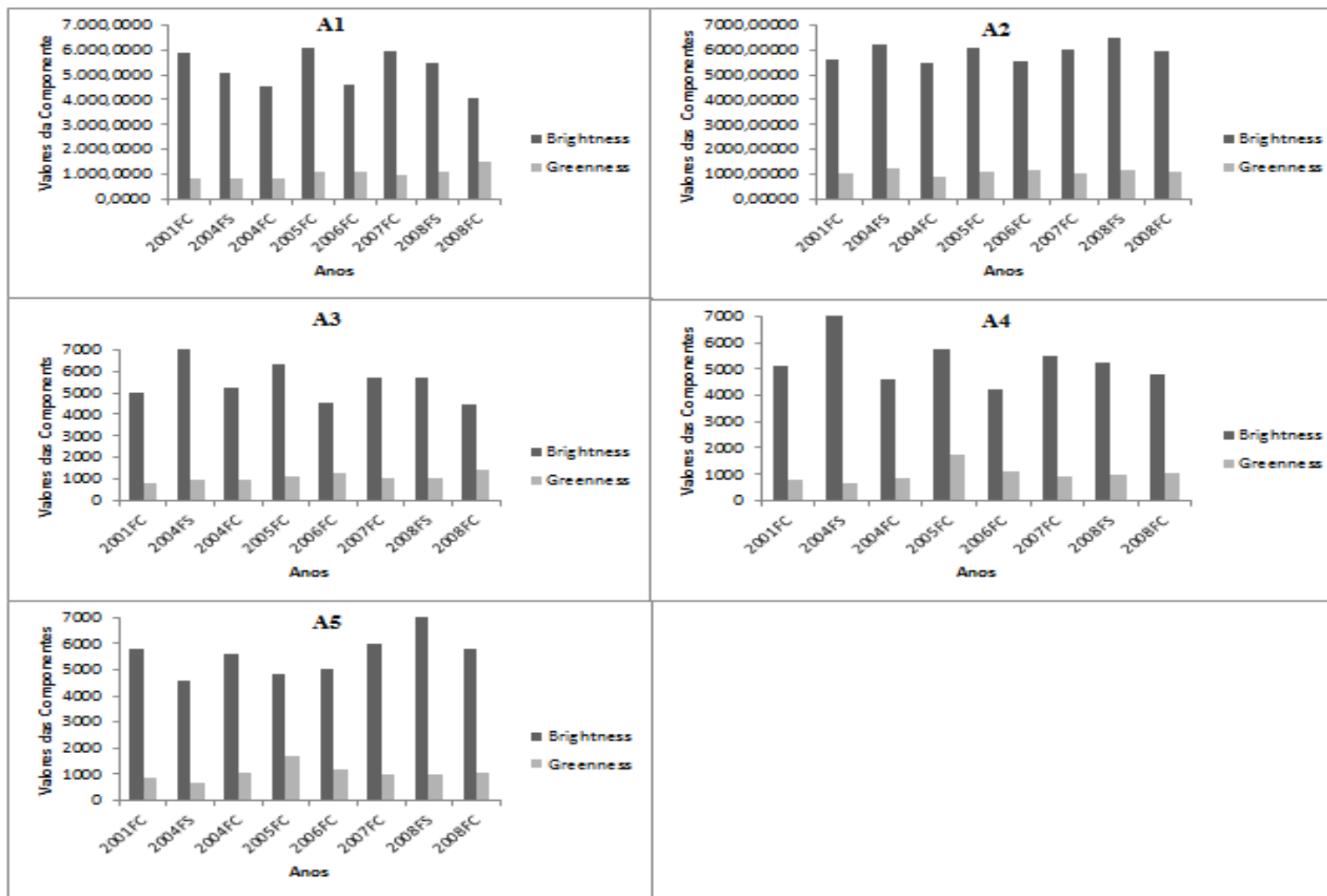
Através da análise da densidade de pixels em cada extremo do gráfico (Figura 38) percebe-se que para os períodos de 2000FC, 2001FC e 2006FC houveram maiores concentrações de pixels associados ao eixo Greenness (Cor Verde), ou seja, a concentração de pontos neste eixo seguido pela menor concentração no eixo Brightness indicam presença de áreas verdes e poucas áreas de solos expostos, no entanto esse cenário começa a se modificar ao longo da série temporal analisada onde nota-se que a concentração de pontos no eixo Greenness está reduzindo, seguido pelo aumento da concentração de pixels no eixo Brightness, essa mudança na distribuição dos pixels a ambos os eixos é justificada pela diminuição da cobertura vegetal provocado pela escassez hídrica e a presença antrópica sobre a FLONA, com a diminuição da vegetação verificada pela baixa concentração dos pixels de Greenness, o solo torna-se desprotegido e susceptível a maior atuação dos processos erosivos causando alterações na distribuição granulométrica da área, acarretando aumento de brilho sobre estas áreas, portanto o

modelo de distribuição de pixels associados as componentes acima denuncia a degradação a qual está submetido a FLONA, isso está de acordo com o comportamento das componentes Brightness e Greenness encontrados por BEURS *et al.*(2016) em áreas perturbadas.

Os resultados das áreas de exclusão foram discutidos nos parágrafos seguintes, o estudo dos gráficos permitiu fazer a comparação dos valores de Brightness e Greenness em todas as áreas de exclusão entre os períodos de 2000 a 2008.

Os resultados da aplicação do Tasseled Cap para as áreas de exclusão podem ser vistos na Figura 39, onde são verificados a predominância dos valores de Brightness em relação aos valores de Greenness, a qual esteve presente em todas as áreas de exclusão ao longo da série temporal analisada de 2000 a 2008.

Figura 39 - Brightness e Greenness nas áreas de exclusão A1, A2, A3, A4 e A5 entre os anos de 2000 a 2008



FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO

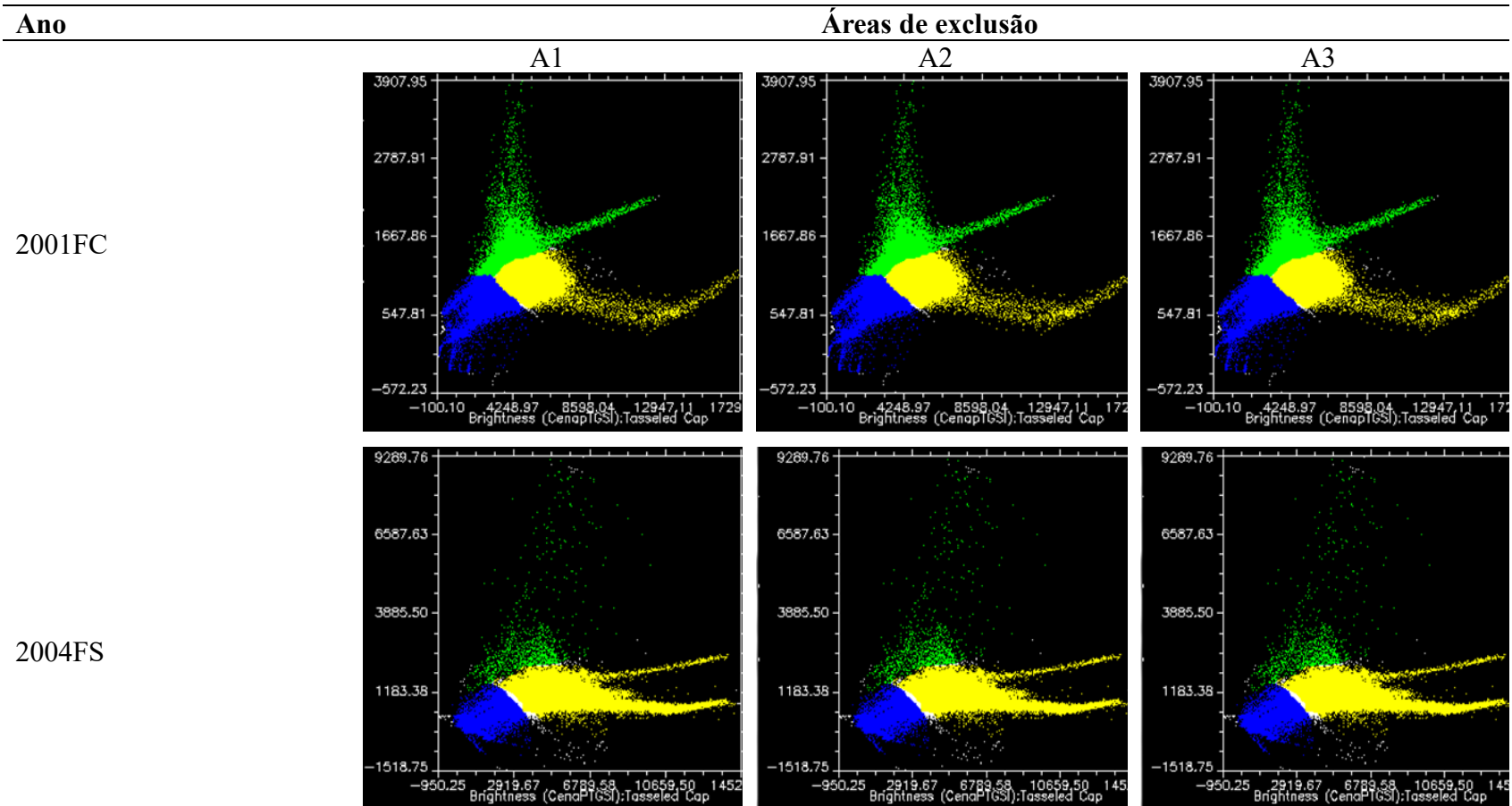
Fonte: Elaboração própria

Os resultados mostraram que a unidade A1 apresentou máximo de Brightness de 6.048,3310 (2005FC) enquanto a componente Greenness teve máximo de 1.485,3074 (2008FC); a unidade A2 teve máximo de Brightness de 6.515,6665 (2008FS) e 1.216,2150 para componente Greenness em 2004FS; na unidade Formigueiro o máximo foi de 7.910,3867 para o Brightness (2004FS) e 1.412,7739 para a Greenness 2004FC; a unidade de exclusão Cacimba Salgada 1 teve valores máximos de Brightness semelhantes a unidade Formigueiro e valores de Greenness chegaram ao máximo de 1.716,053 (2005FC), por último a unidade Cacimba Salgada 2 teve máximo de 7.126,8574 (2008FS) para componente Brightness e de 1.699,5784 para componente Greenness em 2005FC.

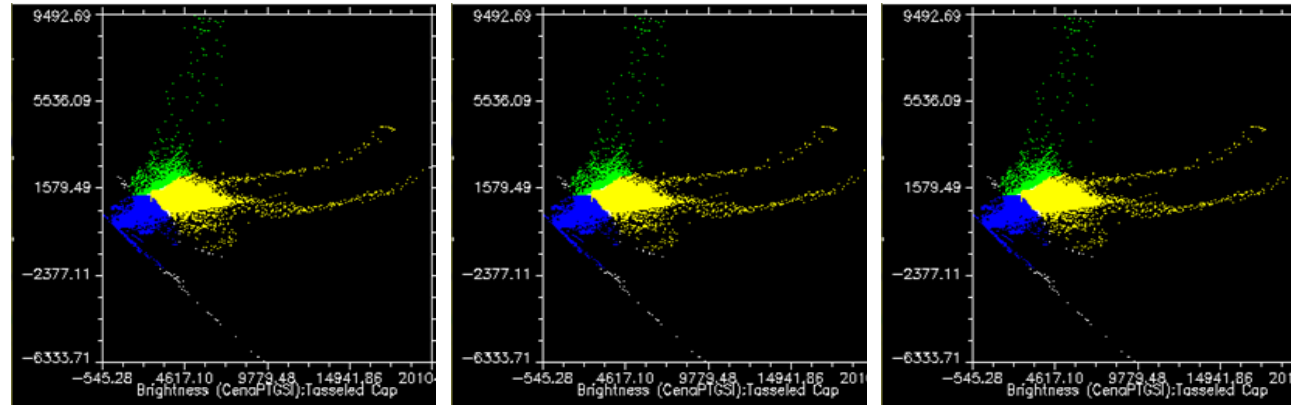
O Tasseled Cap de todas as áreas de exclusão apresentaram menores valores da componente Greenness (Cor Verde), e maiores valores da componente Brightness (Figura 39), reforçando a pouca vegetação sobre estas áreas e alta resposta do solo nos valores de brilho.

Pelos mapas das componentes percebe-se a superioridade e o predomínio dos pixels concentrados ao redor do eixo Brightness em relação ao eixo Greenness, este comportamento está de acordo com os estudos de Healey *et al.* (2005) quando verificou que áreas de florestas desmatadas apresentavam elevados valores de Brightness e baixos valores da componente Greenness (Figura 40).

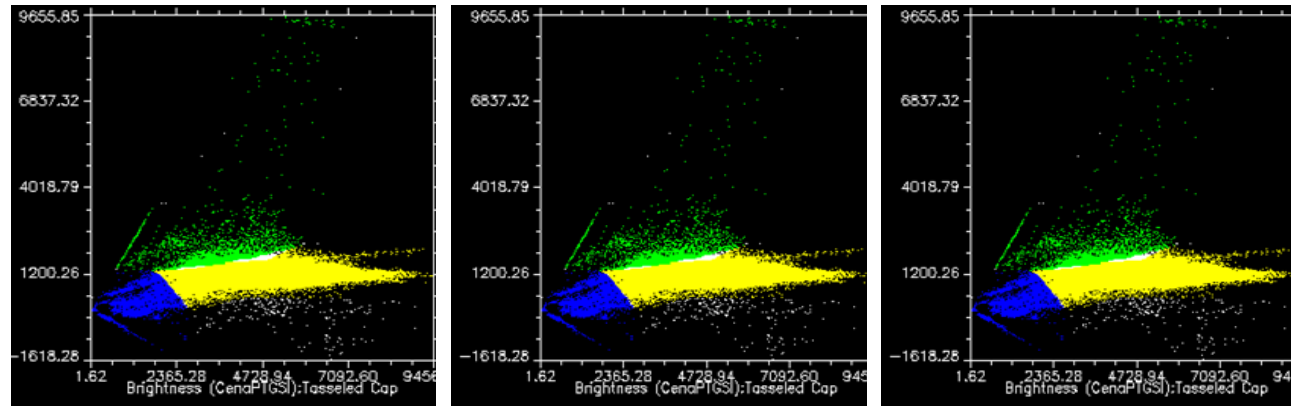
Figura 40 - Plano de vegetação de áreas de exclusão A1, A2 e A3 entre os anos de 2000 a 2008



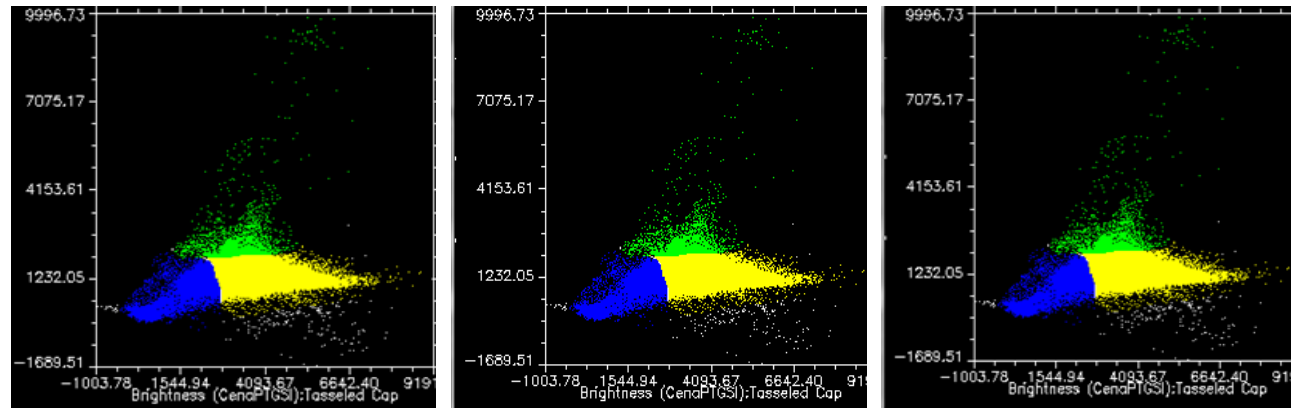
2004FC



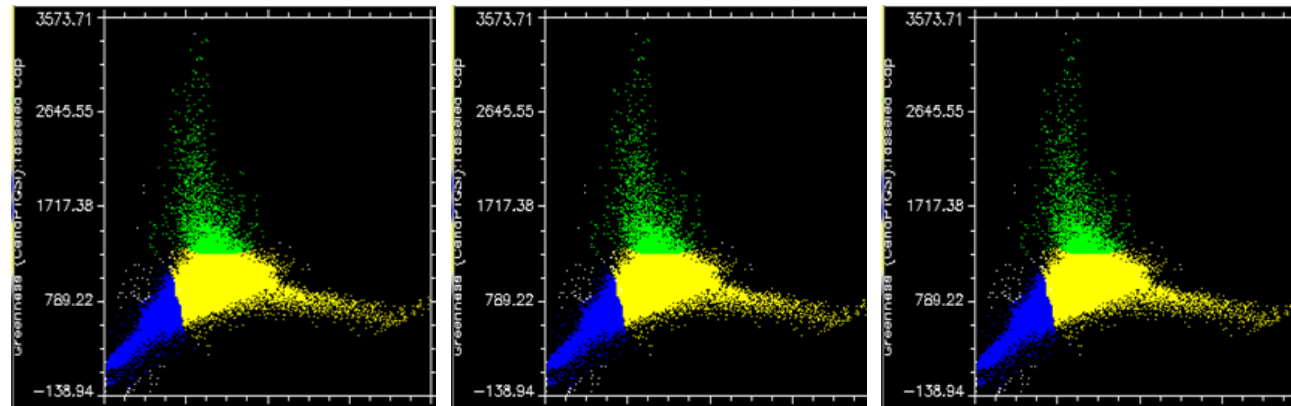
2005FC



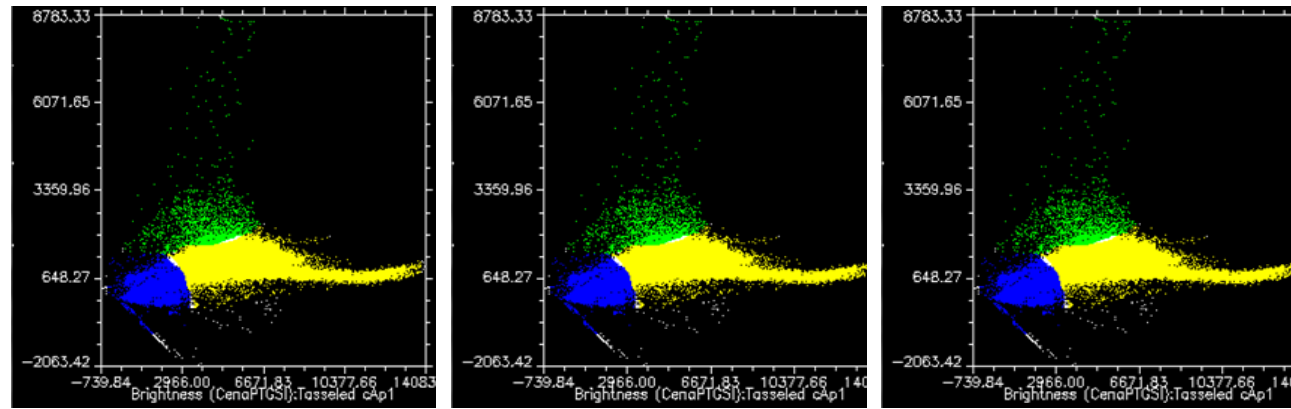
2006FC



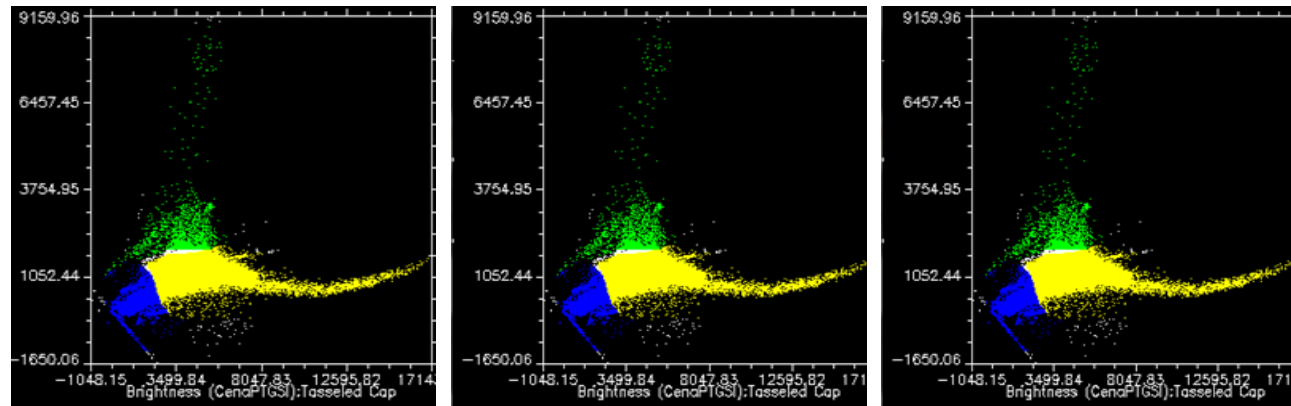
2007FC



2008FS



2008FC



Legenda

- Água/ Sombra**
- Brightness**
- Greenness**

FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO
 Fonte: Elaboração Própria

De acordo com a Figura 40, o plano de vegetação para as áreas de exclusão A1, A2 e A3 indicaram concentração de pixels associados ao eixo Greenness em 2001FC, este período foi caracterizado por boas precipitações em Irauçuba, que permitiu melhorar a vegetação destas áreas, no entanto ao longo da série temporal analisada, verifica-se maior dispersão dos pixels de vegetação (Cor Verde), isso se deve ao fato da precipitação ter sido de forma irregular, além disso mesmo com a precipitação nota-se a baixa capacidade da vegetação de se recuperar, reforçando a sua baixa resiliência, típico de áreas desertificadas.

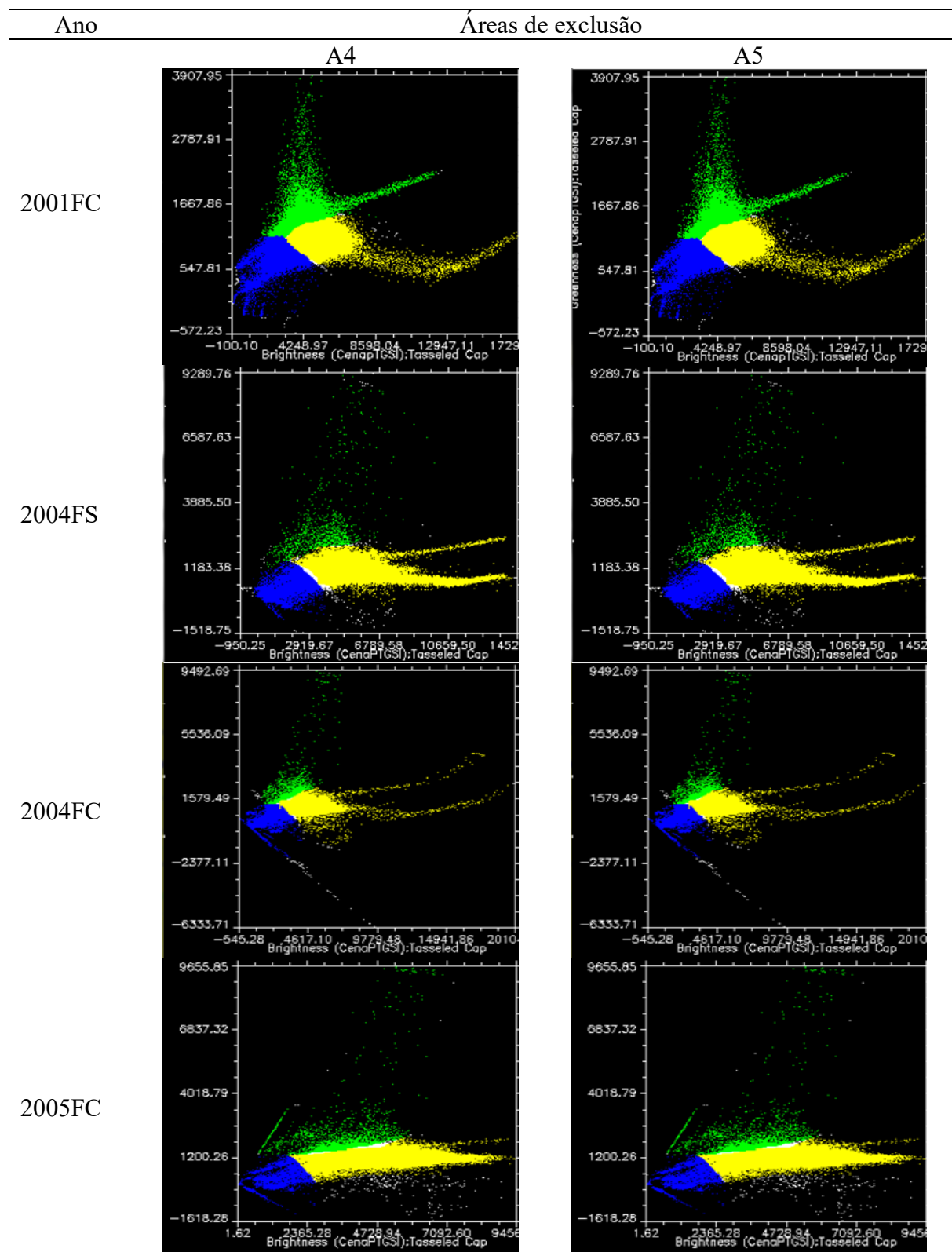
Além das áreas de exclusão a Transformação Tasseled Cap mostrou resultados para as áreas de entorno, indicando comportamento típico de áreas degradadas, isso têm influência sobre as áreas de exclusão, pois são caracterizadas por serem de superpastejo com predomínio do pisoteio excessivo de animais devido as altas taxas de lotação, em cerca de 69 % acima da capacidade ideal para a região, esses fatores atuam compactando o solo, refletindo na redução da taxa de infiltração e aumento da ação de processos erosivos sobre estes locais, acarretando aumento das áreas de solo expostos, provocando elevados valores de Brightness (BEURS *et al.*, 2016; SOUSA *et al.*, 2012).

O Tasseled Cap mostrou que as áreas de exclusão apresentaram resultados semelhantes às áreas desertificadas, o tamanho destas áreas é de pouca representatividade em relação ao núcleo de desertificação como um todo, pois são áreas pequenas, ou seja, pequenas unidades de conservação em grandes áreas desertificadas, apesar de se constituir em ótimas iniciativas de preservação e recuperação da vegetação natural, as áreas de exclusão não foram suficientes para provocar mudanças de grande relevância em áreas desertificadas.

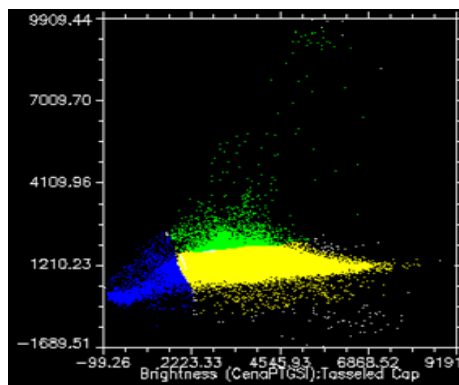
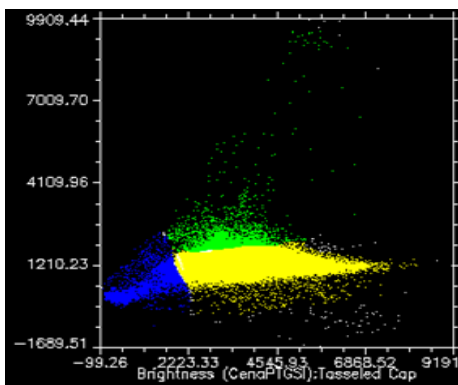
Pode-se observar a semelhança entre os resultados do plano de vegetação para todas as áreas de exclusão, isso se deu em razão do tamanho reduzido destas áreas associado com a proximidade entre elas, impedindo a sua distinção por meio de sensoriamento remoto orbital.

A Figura 41 contém a transformação Tasseled Cap para as áreas de exclusão A4 e A5.

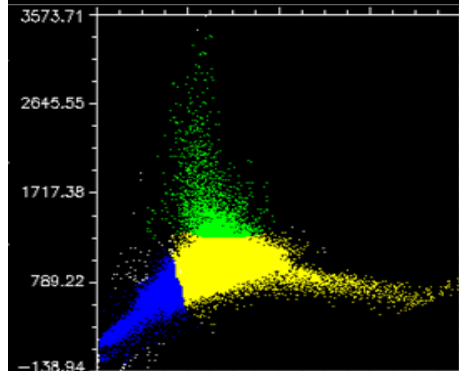
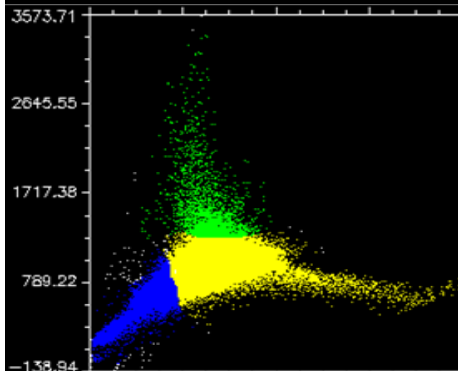
Figura 41 - Plano de vegetação de áreas de exclusão A4 e A5 entre os anos de 2000 a 2008



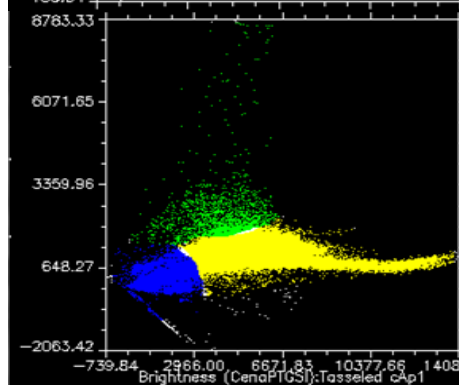
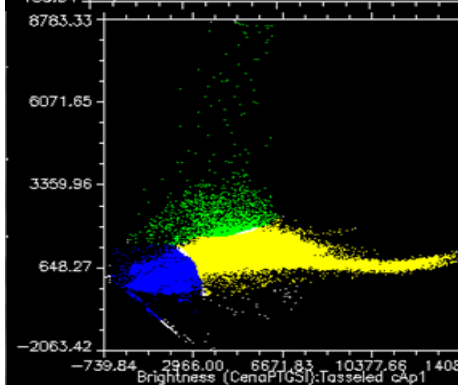
2006FC



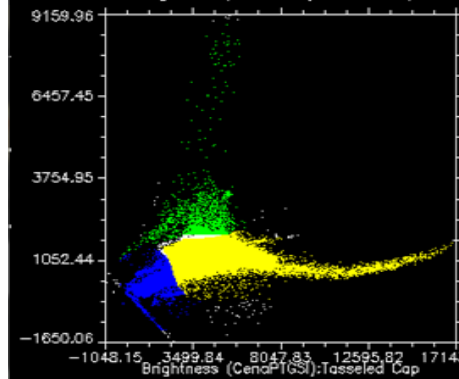
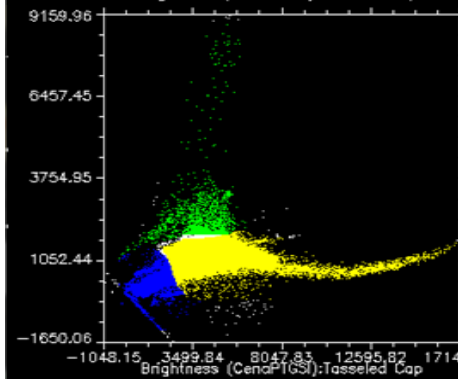
2007FC



2008FS



2008FC



Legenda

- Água/ Sombra
- Brightness
- Greenness

FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO
 Fonte: Elaboração Própria

6.6 Termal

Os resultados do termal são apresentados na Tabela 17 e na Figura 41. O núcleo de desertificação Irauçuba / Centro Norte apresentou temperatura de superfície baixa para 2000 FC (25,18 °C) e 2004 FC (29,26 °C) que correspondem a áreas associadas a alta cobertura vegetal, verificado por maiores valores de NDVI (Figura 7).

Tabela 17 - Temperatura de superfície para núcleo de desertificação Irauçuba / Centro Norte

ANO	MÉDIA °C
2000FS	39,51
2000FC	25,18
2001FC	33,01
2003FS	38,62
2004FS	40,93
2004FC	29,26
2005FS	39,25
2005FC	36,12
2006FS	40,87
2006FC	36,77
2007FC	36,44
2008FC	37,01

FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO

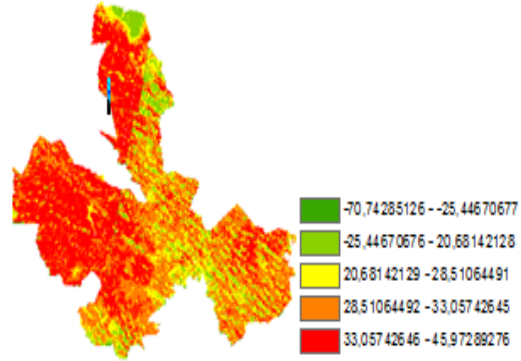
Fonte: Elaboração Própria

A vegetação propiciou a perda do calor do solo pela evapotranspiração arrefecendo e atuando no resfriamento da planta, fornecendo nutrientes para seus tecidos, favorecendo uma vegetação bem nutrida e sadia. As menores temperaturas médias encontradas para a área de estudo se aproximam dos valores de temperaturas de 28,85 °C e 30,85 °C encontrados em áreas com cobertura vegetal por Bokaie et al. (2016).

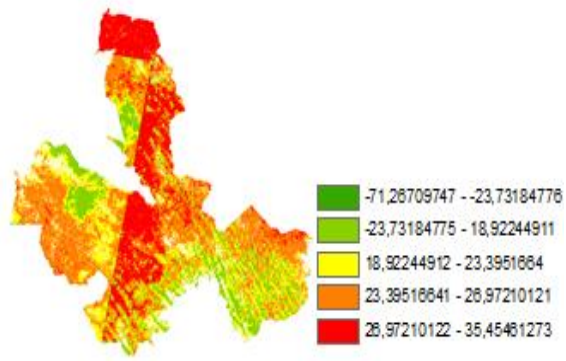
Na Figura 40 observam-se as classes de temperaturas que foram predominantes no núcleo estudado, apenas o ano de 2000FC e 2004FC apresentaram classes de temperaturas baixas em relação às demais.

Figura 42 - Mapas de Temperatura de Superfície (°C) para o Núcleo de Desertificação Irauçuba Centro Norte

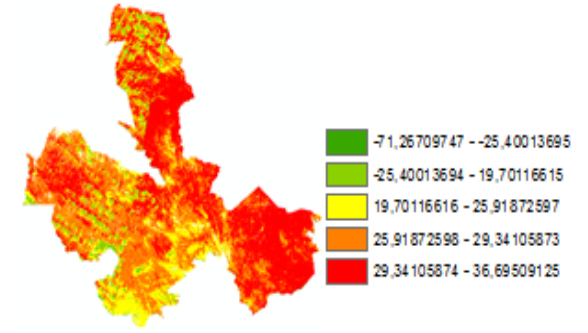
2000FS



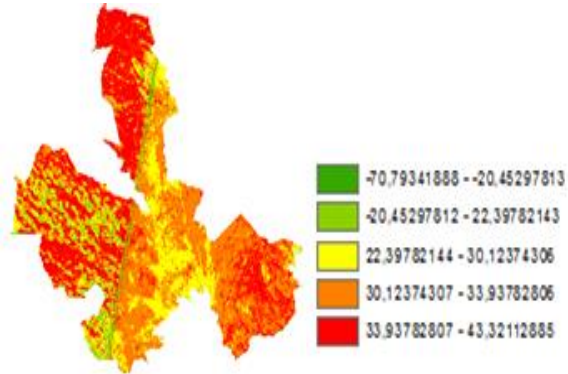
2000FC



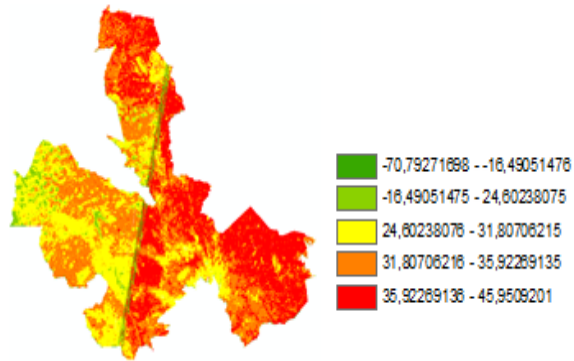
2001FC



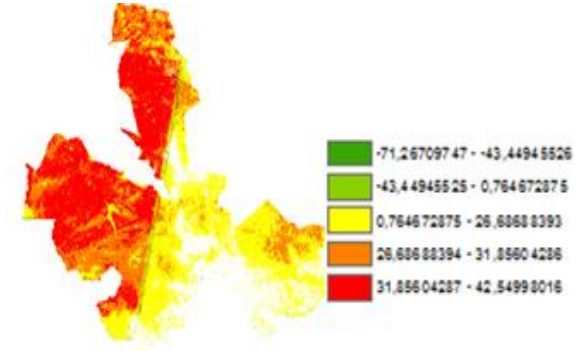
2003FS



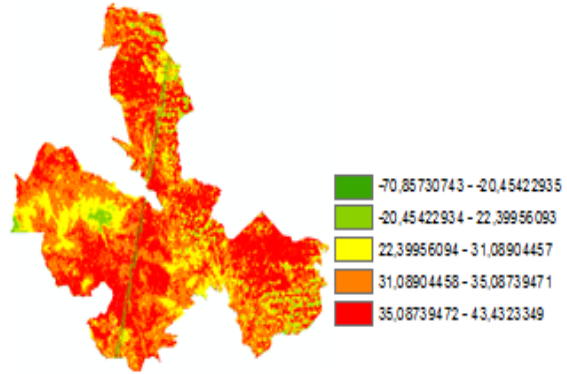
2004FS



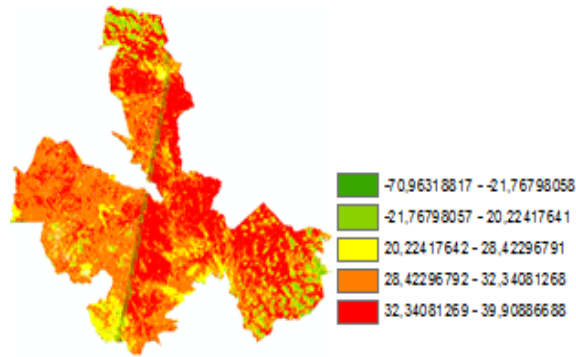
2004FC



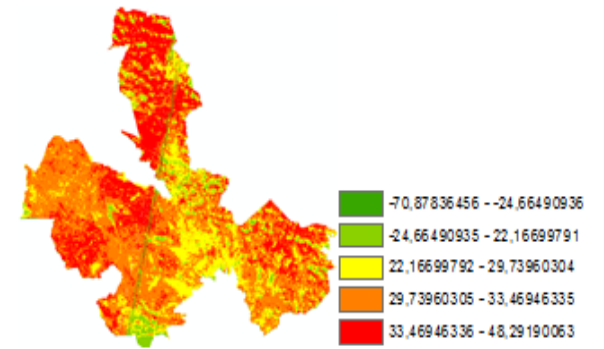
2005FS



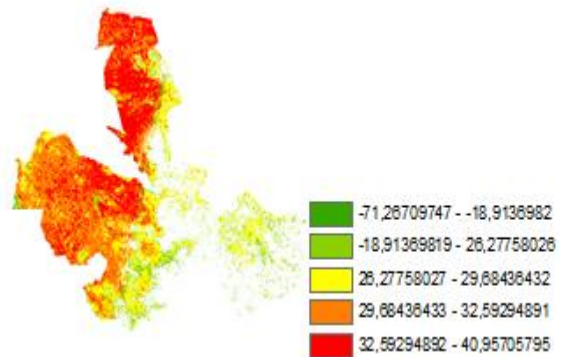
2005FC



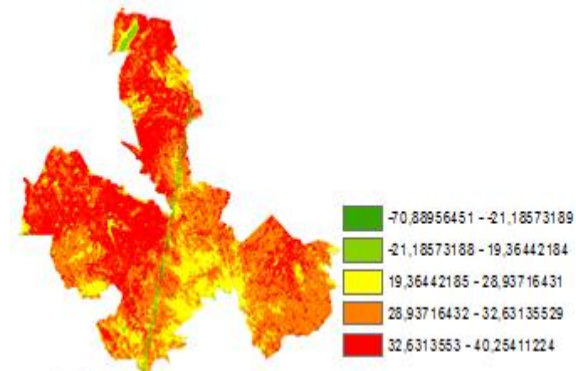
2006FS



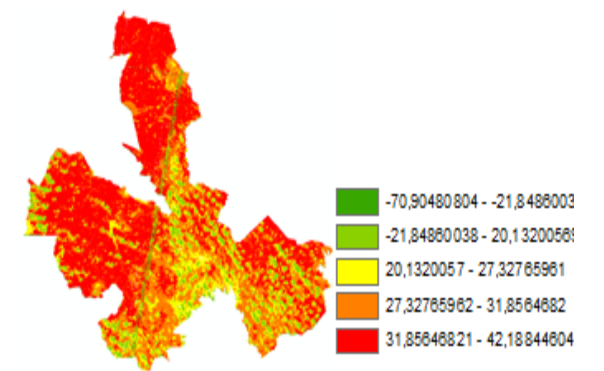
2006FC



2007FC



2008FC



FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO

Fonte: Elaboração Própria

Nos demais anos analisados foram observados valores elevados de temperatura especialmente para o período 2004 FS que registrou temperaturas médias de mais de 40 °C, seguido de 2006FS (40,87°C); 2000FS (39,51°C); 2005FS (39,25°C); 2003FS (38,62 °C); 2008FC (37,01°C); 2006FC (36,77 °C); 2007FC (36,44 °C); 2001FC (33,01 °C). Estas temperaturas elevadas são preocupantes, pois provocam mudanças no microclima da área, limitando o número e a variedade de locais propícios a germinação. As temperaturas elevadas combinadas com a ação do vento reduz o teor de umidade presente no solo, causando estresse hídrico em plântulas e favorecendo a baixa consolidação da vegetação nestas áreas (MARZANO et al., 2013; VACCHIANO et al., 2014).

No núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte foi observado que, com exceção de 2000FC e 2004 FC (Figura 42) todos os outros períodos estudados apresentaram temperaturas de superfície superiores a 33 °C chegando ao máximo de 40,87 °C, após a ocorrência da estação chuvosa verificou-se uma singela redução dos valores de temperatura em relação ao período seco, isso é um indicativo da baixa recuperação da vegetação, não sendo suficiente para amenizar o calor contido no solo através do processo de evapotranspiração.

A presença de temperaturas elevadas pode estar associada tanto a afloramentos de rochas como a áreas de solos expostos, trabalhos na literatura realizados por Feizizadeh et al. (2013), que encontrou valores de temperatura de superfície de 34,64 °C para áreas de solos expostos; 41,55 °C para afloramentos de rochas e 33,70 °C para áreas urbanas, enquanto que valores de 38,85°C foram encontrados por Bokaie et al. (2016) para áreas de solos expostos. Essas temperaturas correspondem a áreas desertificadas, pois afloramentos de rochas e solo exposto são características recorrentes de paisagens áridas, entretanto utilizar apenas a temperatura de superfície para identificar áreas desertificadas não é adequado devido outros fatores afetarem a temperatura de superfície, os dados de termal são úteis para verificar a influência do nível de vegetação na redução da temperatura, o que não foi verificado no núcleo estudado, pois verificou-se a predominância de temperaturas elevadas em boa parte dos anos estudados.

Devido a grande heterogeneidade dos alvos contidos no núcleo de desertificação Irauçuba – Centro Norte, como solos expostos, áreas urbanas e afloramentos de rochas as temperaturas de superfície foram muito variadas, no entanto para o núcleo estudado pode-se notar a predominância de temperaturas superiores a 33°C

e inferiores a 40 °C, este intervalo engloba valores de temperatura associados a áreas de solos expostos, condição bem típica de áreas desertificadas.

Os resultados do termal para o FLONA foram apresentados na Tabela 18, em que os menores valores de média de temperatura de superfície foram observados nos períodos: 2000FC (25,31°C), 2001FC (26,73°C) e 2004FS (26,94 °C), sendo que os períodos de 2000FC e 2001FC apresentaram precipitação bem distribuída (Figura 6), neste caso a presença da umidade contribuiu para a redução da temperatura do solo e favoreceu ao desenvolvimento da vegetação, verificado através de valores de NDVI encontrados para estes períodos.

Tabela 18 - Valores médios de Temperatura de Superfície FLONA

ANO	MÉDIA°C
2000FS	35,1
2000FC	25,31
2001FC	26,73
2004FS	26,94
2004FC	34,08
2005FS	37,91
2005FC	34,68
2006FS	36,71
2006FC	31,39
2007FC	33,67
2008FC	34,47

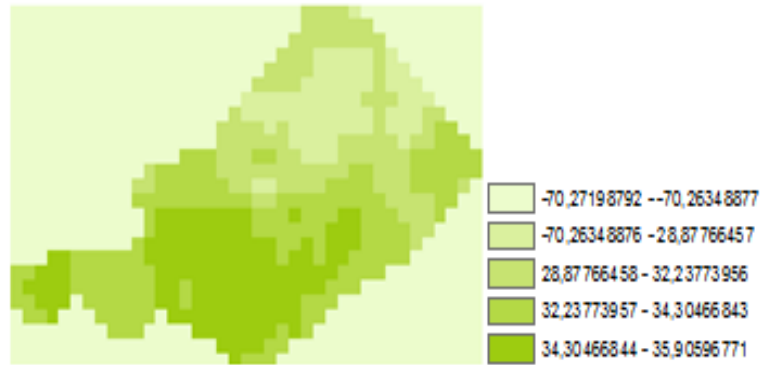
FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO

Fonte: Elaboração Própria

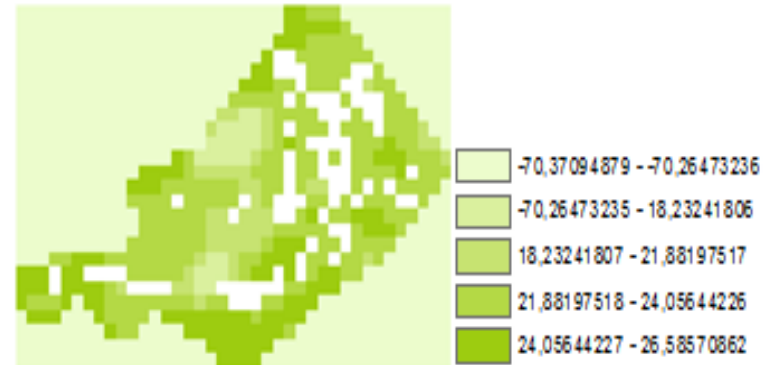
As baixas temperaturas associadas com elevados valores de NDVI estão relacionadas a áreas cobertas com vegetação, isso é justificado pelo fato da vegetação ajudar na proteção do solo, afetando diretamente as relações do meio com a radiação solar, diminuindo a incidência da mesma sobre o solo, permitindo que a perda do calor do solo pela evapotranspiração fosse mais acentuada, arrefecendo e atuando no resfriamento da planta e fornecendo nutrientes para seus tecidos, além de reduzir a temperatura da superfície terrestre (BOKAIE et al., 2016). A Figura 43 apresentam as classes de temperaturas que foram encontradas na FLONA durante os períodos de 2000 a 2008.

Figura 43 - Mapas de temperatura de Superfície FLONA entre os anos de 2000 a 2008

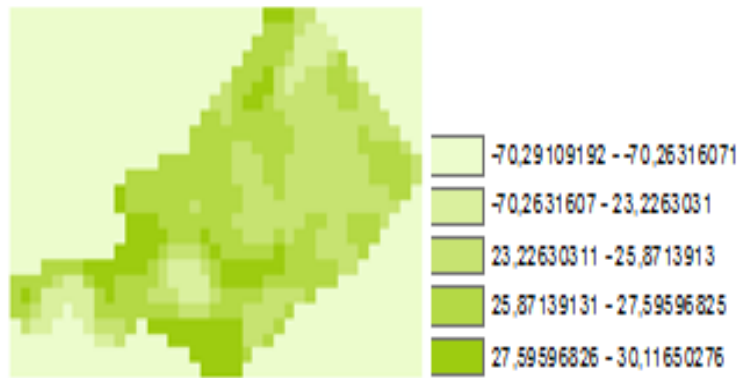
2000FS



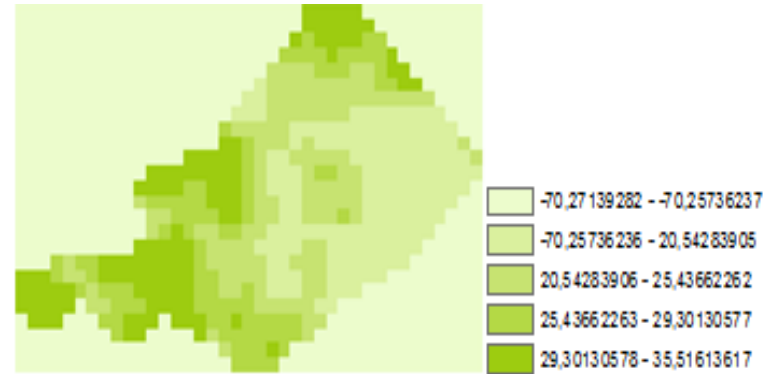
2000FC



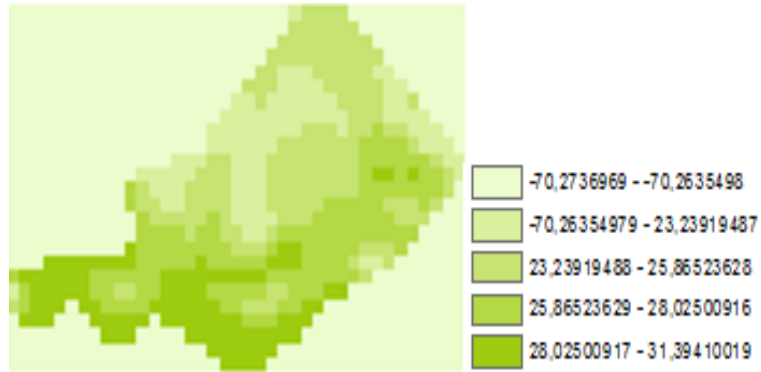
2001FC



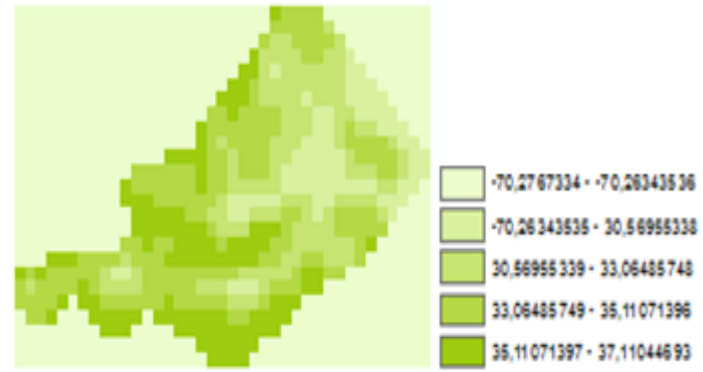
2003FS



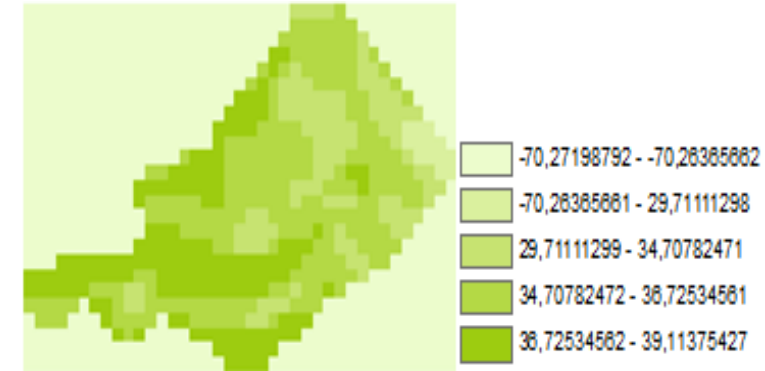
2004FS



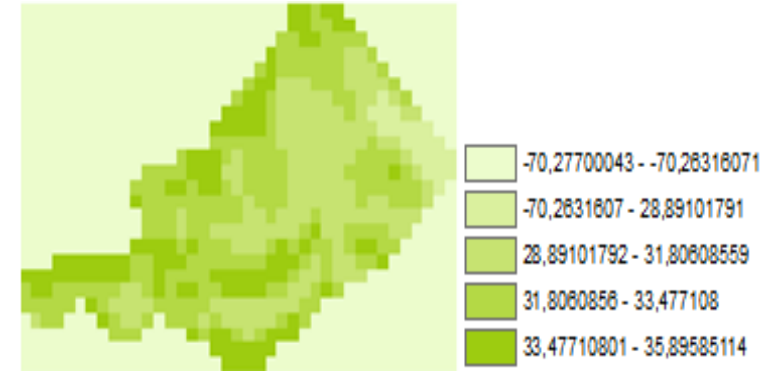
2004FC



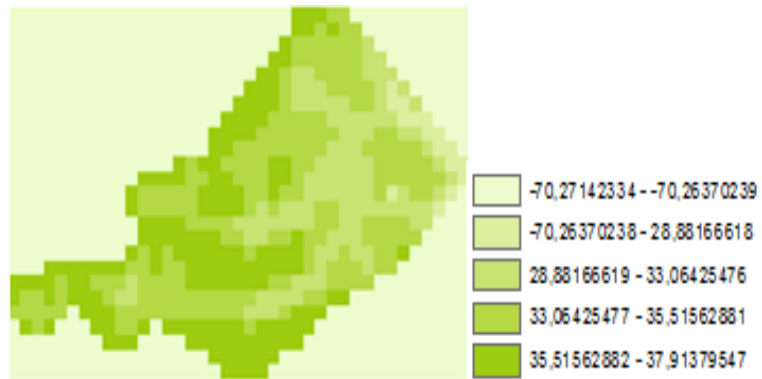
2005FS



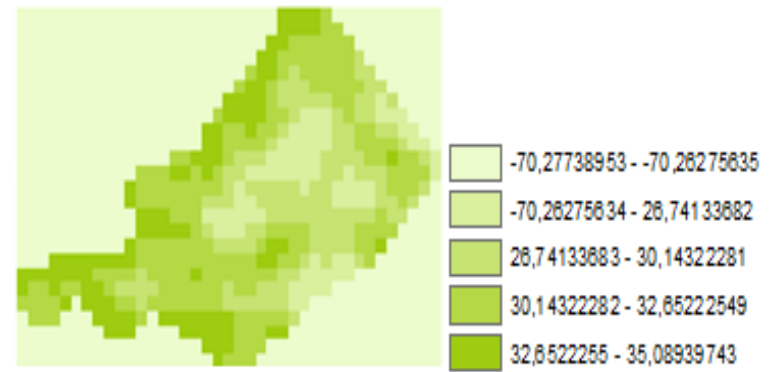
2005FC



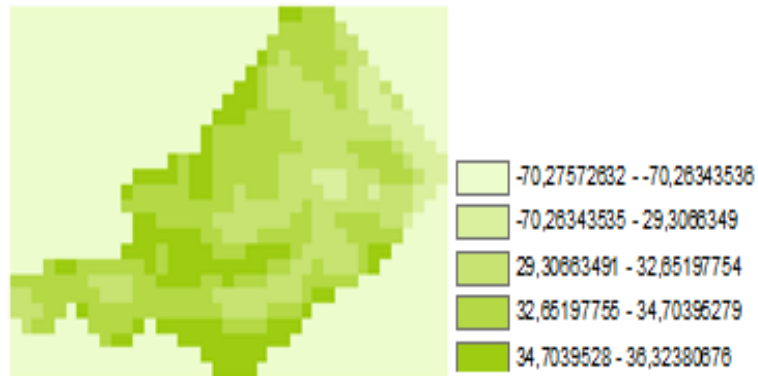
2006FS



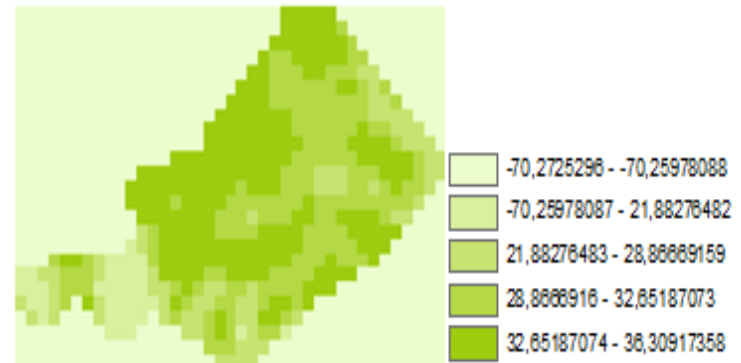
2006FC



2007FC



2008FC



FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO
 Fonte: Elaboração Própria

Os anos de 2000, 2001 e 2004 foram os períodos de maiores precipitações registrados no posto pluviométrico de Jaibaras (Figura 6), onde se verificaram 629,2 mm, 721,6 mm e 921,10 mm respectivamente, isso é relevante, pois a presença de umidade no solo permitiu o desenvolvimento da vegetação, acarretando mudanças nas propriedades térmicas da superfície terrestre (SANDHOLT et al., 2002), que reduziu os valores de temperatura de superfície (Figura 43).

Os baixos valores de temperaturas dos períodos 2000FC, 2001FC, estão relacionados a boa cobertura vegetal, justificado pela presença de precipitação pluviométrica nestes períodos (Figura 6), que provocou aumento dos valores de NDVI (Figura 8), os valores de temperatura de superfície encontrados neste período se aproxima do intervalo proposto por Bokaie et al. (2016) quando encontrou temperaturas de 28,85 °C e 30,85 °C para áreas com boa cobertura vegetal.

Os períodos de 2004FS e 2004FC apresentaram comportamentos atípicos, em relação aos valores de temperatura de superfície, pois no ano de 2004 foram registrados valores de precipitações no posto pluviométrico de Jaibaras, entretanto houve sensível aumento dos valores de NDVI de 2004FS (0,2998) para 2004FC (0,3220), dando a entender que a precipitação foi mal distribuída nesta época, contudo o que chama atenção é que em 2004FS foram registrados baixos valores de temperatura e altos valores para 2004FC, a diferença de temperatura do período seco para o chuvoso foi de 7,4 ° C, não foi encontrado nada na literatura que pudesse justificar este comportamento da temperatura de superfície neste período.

Os maiores valores de temperatura foram observados para os períodos 2005FS (37,91° C), 2006FS (36,71° C), 2000FS (35,10° C), 2005FC (34,68 ° C), 2008FC (34,47 ° C), 2007FC (33,67 ° C), dos anos apresentados os períodos 2005FS, 2006FS e 2000FS foram caracterizados pela escassez de chuvas, o que acarretou redução dos valores de NDVI para estes anos e os mais altos valores de temperaturas (Figura 43), já para as épocas de finais de períodos chuvosos houve sensível redução dos valores de temperatura em relação ao período seco, contudo os valores de NDVI permaneceram relativamente baixos, o que reforça que do total de chuva ocorrido nestes períodos não foram suficientes para melhorarem a cobertura vegetal a ponto de reverter a temperatura de superfície do FLONA.

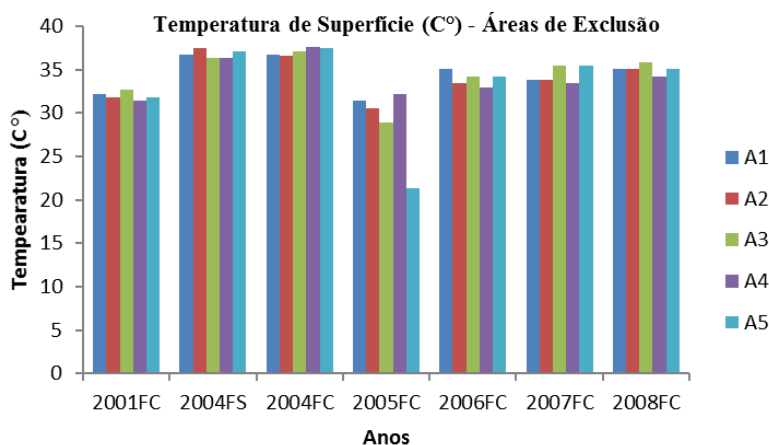
Com exceção de 2006 FC, todos os períodos estudados a partir de 2004FC foram caracterizados por apresentarem temperaturas de superfície superiores a 33 °C

chegando ao máximo de 37,91 °C, isso independentemente da época seca ou chuvosa os valores de temperatura permaneceram dentro deste intervalo, contudo os valores de temperatura encontrados no FLONA se aproximam dos resultados encontrados por Feizizadeh et al. (2013) quando encontrou valores de temperatura de superfície de 34,64 °C para solos expostos, isso evidencia que a partir do período de 2004FC houve um predomínio de áreas de solos exposto ou com deficiente cobertura vegetal, percebido pelos baixos valores de NDVI e pela presença de valores de temperatura correspondentes a áreas de solos expostos.

As classes de temperatura de superfície do FLONA foram menores em relação ao núcleo de desertificação Irauçuba / Centro Norte, pois o núcleo desertificado apresentou valores de temperatura predominante entre 33 °C e 40,87 °C, enquanto o FLONA apresentou valores entre 33 °C a 37,91 °C, esse menor intervalo está associado a heterogeneidade dos alvos que é maior no núcleo de desertificação, pois o mesmo engloba paisagens mais diversificadas, como áreas urbanas e afloramento de rochas, refletindo em temperaturas mais elevadas, ao contrário do FLONA que possui maior homogeneidade dos alvos por isso que os intervalos de temperaturas de superfície são menores (FEIZIZADEH et al., 2013; BOKAIE et al., 2016).

Os resultados do termal para as áreas de exclusão podem ser vistos na Figura 44, com exceção das unidades de exclusão A3 (2005FC) e A5 (2005FC) todas as outras unidades apresentaram temperaturas superiores a 30 C°, sendo que no período de 2005FC foram observadas menores temperaturas de superfícies registradas para todas as áreas de exclusão, quando comparados com os demais anos.

Figura 44 - Temperatura de superfície °C das áreas de exclusão entre os anos de 2000 a 2008



FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO

Fonte: Elaboração Própria

Ao analisar os dados de precipitação da série temporal no município de Irauçuba (Figura 5), percebe-se que em todos os anos com exceção de 2004 e 2005 houve a presença de picos de precipitação denotando a distribuição pluviométrica irregular típica da região semiárida. Isso constitui um grande problema nestas regiões, pois são mais frágeis as precipitações devido a vegetação predominante ser escassa e espaçosa facilitando a atuação dos processos erosivos que ocorrem de maneira mais intensa e agressiva além de reduzirem a cobertura vegetal aumentando a temperatura de superfície (SILVA et al., 2017).

As elevadas temperaturas de superfície encontradas nas áreas de exclusão (Figura 44), pode ser justificada pela vegetação do tipo Caatinga Arbustiva caracterizada por ser uma vegetação de porte herbáceo, com presença de arbustos e pequenas árvores, de baixa capacidade de evapotranspiração, o que segundo Bokaie et al. (2016) dificulta a perda de calor do solo pelos processos de evapotranspiração e contribui para o aumento da temperatura da superfície terrestre.

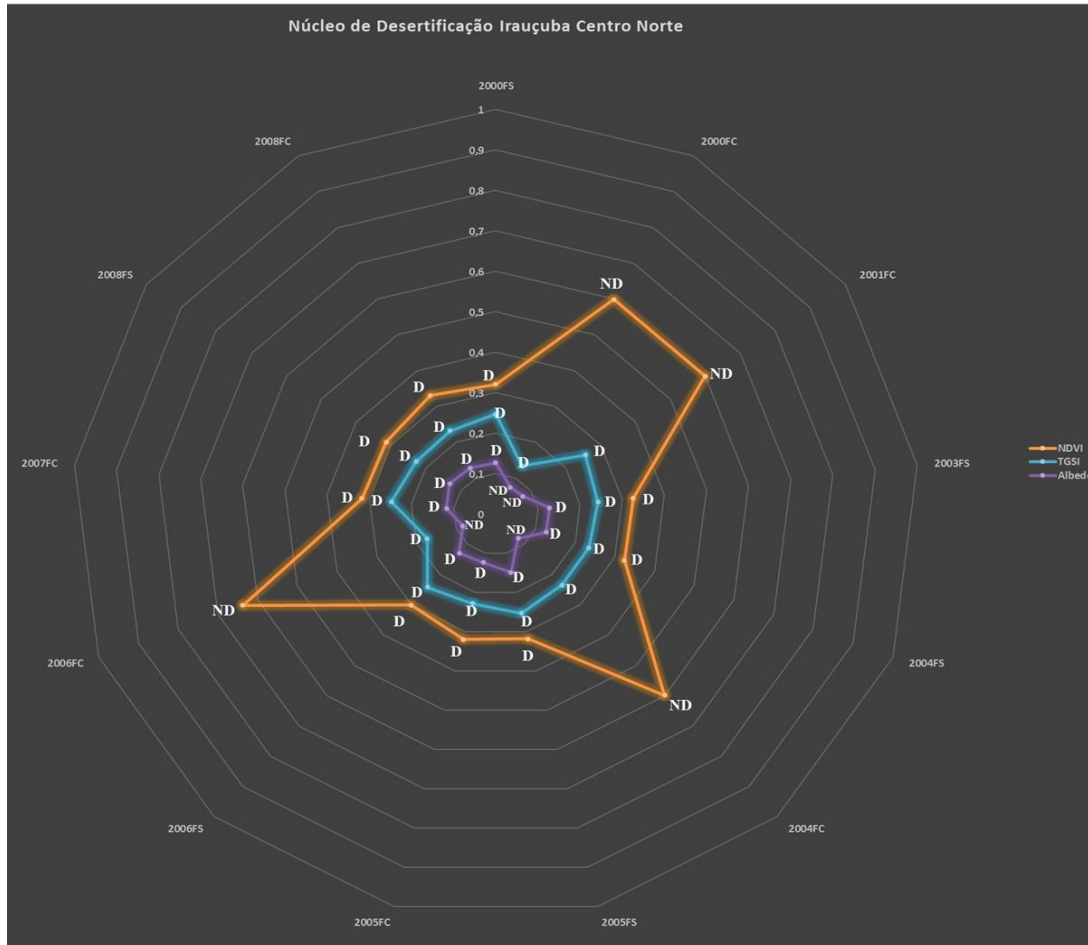
Outro fator que justifica as temperaturas elevadas para as áreas de exclusão refere-se a distribuição desigual da precipitação pluviométrica nos anos de 2001, 2003, 2006, 2007 e 2008, essa condição segundo Cunha et al. (2015) levou a redução da cobertura vegetal e conseqüentemente o aumento da temperatura da superfície, comportamento contrário foi observado para 2005, onde as baixas precipitações, porém bem distribuídas, causou leve redução das temperaturas de superfície (Figura 44).

6.7 Interações dos índices estudados

Inicialmente foram observadas as interações dos índices NDVI, TGSÍ e Albedo no núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte e no FLONA durante os períodos secos e chuvosos, os resultados foram apresentados em um gráfico do tipo radar (Figura 45).

Observa-se que os valores de NDVI apresentaram variações durante o período chuvoso, isso se deu pelo fato da precipitação ter ocorrido de forma a permitir o desenvolvimento da vegetação em ambientes semiáridos, ou seja, bem distribuída, as precipitações registradas no início do período chuvoso em todos os municípios localizados no núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte, provocaram a boa resposta da vegetação, verificado pelo alongamento do NDVI para valores não desertificados (ND) (LAMCHIM *et al.*, 2016).

Figura 45 - NDVI, TGSi e Albedo para o núcleo entre os anos de 2000 a 2008



FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO; ND: NÃO DESERTIFICADO; D: DESERTIFICADO
 Fonte: Elaboração Própria

A Figura 45 destaca a sensibilidade do NDVI a precipitação, pois foram observadas mudanças mais acentuadas, especificamente nos anos 2000FC, 2001FC, 2004FC e 2006FC, isso demonstra a sensibilidade deste índice a precipitação, não sendo, portanto adequado utilizá-lo individualmente para estudos de áreas desertificadas devido a sua imprecisão para identificação da desertificação (LAMCHIM *et al.*, 2016).

Apesar deste comportamento verificado em alguns períodos chuvosos, observou-se que os períodos 2000FS, 2003FS, 2004FS, 2005FS, 2005FC, 2006FS, 2007FC, 2008FS e 2008FC apresentaram valores de NDVI superiores a 0,3 e inferiores a 0,4, a inserção destes pontos neste escore classifica estes valores de NDVI como de áreas desertificadas (ND) (Tabela 6). Por outro lado, valores situados acima da linha de 0,5 é característico de áreas não desertificadas, estes valores foram corroborados por Lamchim *et al.* (2016) quando encontraram valores de NDVI inferiores a 0,5 para áreas desertificadas (D) e valores de NDVI superiores 0,5 para áreas não desertificadas.

Portanto os valores de NDVI para o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte variou mediante precipitação, contudo observando a evolução da vegetação ao longo do tempo, verifica-se que 9 dos 13 períodos analisados foram classificados como desertificados tanto em período seco ou chuvoso, isso é indicativo do baixo potencial de resposta da vegetação em consequência da escassez de chuvas e da pouca cobertura vegetal. Essas características podem ser resultantes da influência das áreas desertificadas sobre as condições do clima local.

Os valores de TGSÍ para o núcleo de Desertificação Irauçuba Centro Norte mostraram que todos os períodos foram caracterizados de áreas desertificadas (D) apresentando valores superiores 0,00 (Tabela 6). Com exceção dos períodos 2000FC e 2006FC todos os outros períodos foram superiores ao limite máximo de 0,20 proposto por Xião *et al.* (2006), sendo um indicativo da ocorrência da fração grosseira sobre estas áreas, os menores valores de TGSÍ foram verificados para os períodos 2000FC e 2006FC que estão associados para os períodos correspondentes a alto NDVI (Figura 45). A elevação do NDVI seguido pela redução do TGSÍ deve-se ao fato do aumento da cobertura vegetal, proporcionando ao solo, proteção a ação dos processos erosivos (HADEEL *et al.*, 2010).

Portanto o TGSÍ classificou todos os períodos como sendo de áreas desertificadas (D), apenas dois períodos da série temporal analisada revelou redução do TGSÍ, no entanto, isso não representa melhoria da textura do solo, pois os valores

enaltecem a presente textura grosseira predominante no núcleo estudado, isso se deve ao fato da ocorrência de sobrepastejo, desmatamento, compactação, redução da infiltração de água do solo, estes fatores associado com práticas insustentáveis de agricultura como queimadas, contribuem para redução da vegetação e permite a intensificação da erosão tanto da água como do vento.

Os valores de albedo para os períodos 2000FC, 2001FC, 2004FC e 2006FC, foram classificados como não desertificados (ND), pois ficaram abaixo de 0,10 limite superior estabelecido por Lamchim *et al.* (2016) (Tabela 6) para áreas não desertificadas (ND). Estes valores foram encontrados no final do período chuvoso e correspondem as épocas em que foram observados altos valores de NDVI. O aumento da cobertura vegetal acarretou maior capacidade de absorção da radiação solar e diminuição da reflectância do solo devido ao efeito do sombreamento causado pelas plantas (LIU *et al.*, 2017).

Os demais períodos analisados 2000FS, 2003FS, 2004FS, 2005FS, 2005FC, 2006FS, 2007FC, 2008FS e 2008FC, estiveram acima da linha de valor 0,10, que segundo Lamchim *et al.* (2016) correspondem a áreas desertificadas (D).

Nas Tabelas (10 e 13) observam-se correlações existentes entre o NDVI, TGSi e Albedo no núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte, no final do período chuvoso os valores de albedo foram reduzidos em relação ao NDVI que foram elevados. Correlações negativas entre NDVI e Albedo nos anos 2000FC e 2004FC deve-se ao fato da cobertura vegetal atuar recobrando o solo, diminuindo a reflectância e causando mudanças nos padrões de energia da superfície terrestre.

Portanto a recuperação da vegetação afeta diretamente as mudanças das condições do meio, constituindo o passo inicial para reverter à desertificação, visto que uma boa cobertura vegetal foi seguida da redução do albedo de superfície, que é importante para melhorar o microclima da área tendo atuação benéfica sobre os efeitos da desertificação (LAMCHIM *et al.*, 2016).

Em relação ao TGSi foram verificados valores de correlação negativa com o NDVI, verificado para os períodos 2000FC, 2004FC e 2006FC, ou seja, o aumento da cobertura vegetal deixou o solo mais protegido a ação dos processos erosivos, embora isso tenha ocorrido, não foi suficiente para causar mudanças na textura do solo, contudo mostrou que a textura da superfície do solo pode ser afetada pela cobertura vegetal.

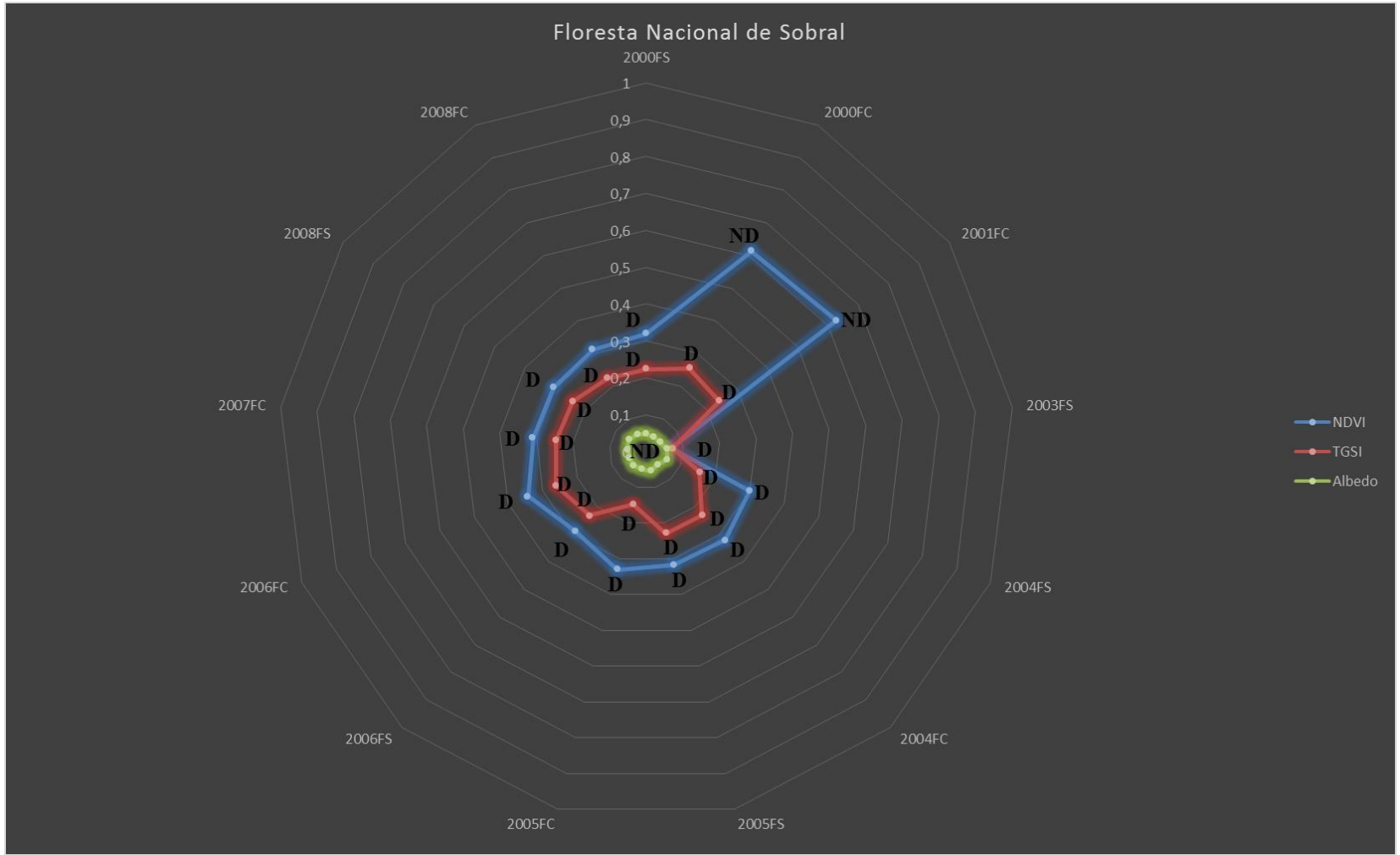
Em síntese, o NDVI, TGSi e Albedo, foram capazes de produzir valores compatíveis com as áreas desertificadas, pois o comportamento destes é compatível com

os intervalos encontrados na literatura, os dados também revelaram a correlação entre os índices mostrando que em áreas afetadas pela desertificação a cobertura vegetal pode causar alterações nos balanços de energia do solo, isso é relevante, pois mudanças neste aspecto podem acarretar mudanças nas condições climáticas do meio, tendo efeito positivo na reversão da desertificação.

No entanto com relação ao TGSI, este foi o único índice que em toda a série temporal teve comportamento de áreas desertificadas, isso pode ser justificado pelo fato do núcleo sofrer continuamente os efeitos do superpastejo, principalmente no município de Irauçuba onde as taxas de lotação excedem em cerca de 69 % da capacidade do município, por isso os intensos processos erosivos estabelecidos nesta região associado a práticas antrópicas de degradação da vegetação são refletidos na manutenção da textura grosseira sobre estas áreas.

A Figura 46 mostra o comportamento do NDVI, TGSI e Albedo para a FLONA durante os anos de 2000 a 2008.

Figura 46 - NDVI, TGSi e Albedo para FLONA entre os anos de 2000 a 2008



FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO; ND: NÃO DESERTIFICADO; D: DESERTIFICADO
Fonte: Elaboração Própria

Em relação ao FLONA, os resultados foram similares ao núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte (Figura 46), pode-se observar altos valores de NDVI para os anos 2000FC e 2001FC, por isso estes períodos foram classificados como não desertificados (ND), pois estão acima do limite proposto por Lamchim *et al.* (2016), enquanto nos demais anos os valores de NDVI estiveram entre a linha 0,3 e a linha 0,4 apontando para áreas desertificadas (D).

Com relação ao TGSI todos os períodos foram classificados como áreas desertificadas (D), apenas o ano de 2003 produziu valor baixo, seguido de 2005FC, enquanto todos os outros apresentaram valores superiores a 0,20, indicando a ocorrência de material grosseiro sobre a superfície do solo (XIAO *et al.*, 2006).

Os valores de Albedo do FLONA foram reduzidos, classificando-o como não desertificado (ND), esse comportamento pode estar relacionado à restos de material vegetal em decomposição, permitindo o recobrimento do solo e reduzindo a reflectância do mesmo.

A análise conjunta do NDVI, TGSI e Albedo Superficial permite concluir que o FLONA não está desertificado, no entanto os índices asseguram a existência de degradação do meio, devido à baixa resposta da vegetação e presença de material grosseiro, associado com o desrespeito das normas de proteção, como a presença de atividade de piscicultura, pois no entorno das áreas preservadas é proibido atividade antrópica, associado a isso ainda tem a ausência de plano de manejo e falta de proteção a entrada de animais. Esse cenário denuncia degradação da área, rotulando a unidade preservada como suscetível a desertificação.

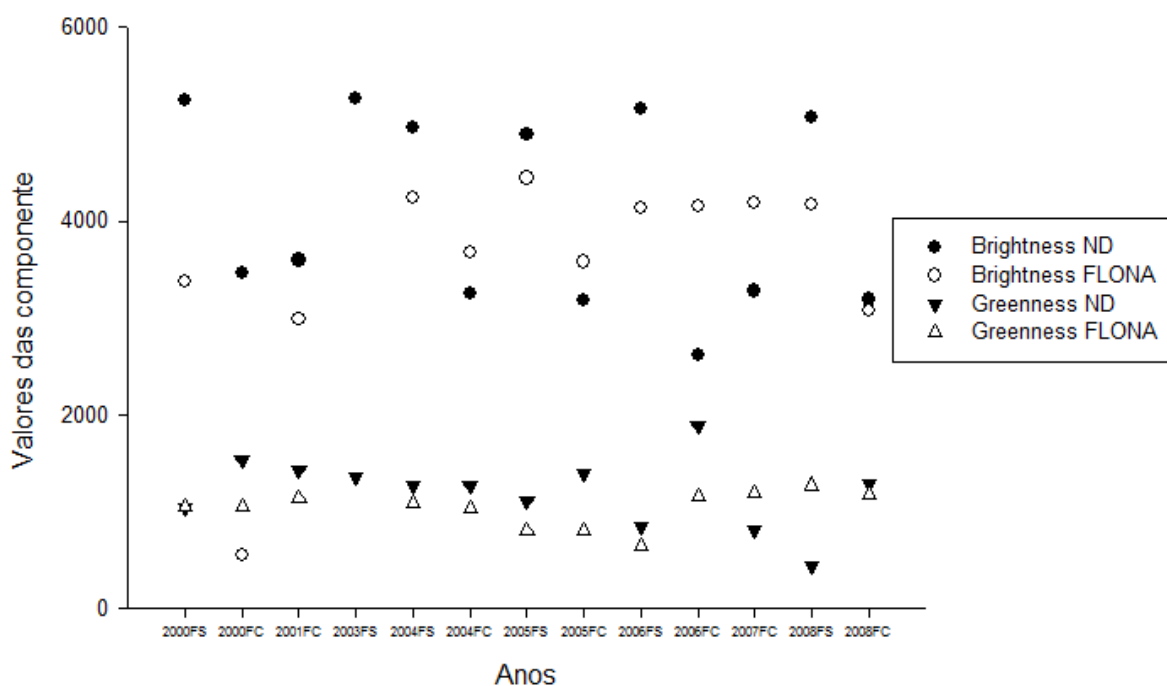
Nas Unidades de exclusão, os valores de NDVI foram inferiores ao limite de 0,5, enquanto que os valores de albedo foram superiores 0,10 e os de TGSI acima de 0,00. Isso classifica todas as áreas de exclusão como áreas desertificadas (Tabela 6). Por serem pequenas e terem sofrido intensos processos de erosão associados as práticas de pastejo acentuado durante muito tempo, são áreas muito fragilizadas, com deficiente cobertura vegetal e erosão acentuada.

A implantação do projeto é muito recente, em relação as coletas dos dados para realização deste experimento, já que foram analisados séries de dados referente aos 8 anos de implantação do projeto, não sendo suficiente para produzir boas respostas de cobertura vegetal e causar reversão do processo de desertificação, apenas os valores de albedo (Figura 17) apresentaram sensível redução ao longo do tempo, provavelmente

devido a presença de resíduos proporcionados pela vegetação, no entanto isso não foi suficiente para classifica-las como não desertificadas.

Na Figura 47, estão plotados os valores das componentes Brightness e Greenness nas condições desertificadas e preservadas, o gráfico nos mostra que em ambos os meios, os valores de Brightness se destacaram em relação aos valores de Greenness, isso é comportamento típico de áreas que estão sofrendo algum tipo de perturbação, pois esta condição contribui para a remoção da vegetação, que provoca redução da componente Greenness e exposição de áreas de solos expostos, verificada com aumento do Brightness.

Figura 47 - Brightness e Greenness no núcleo e no FLONA



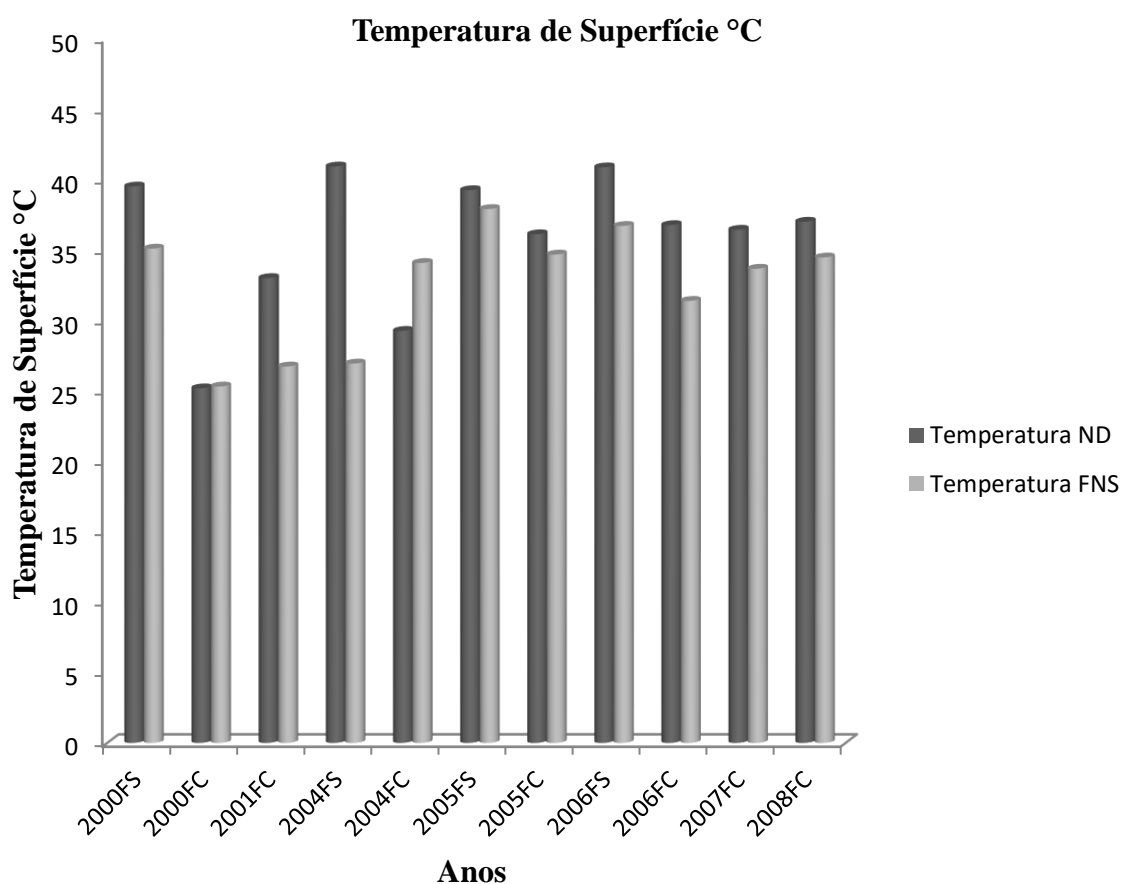
FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO;
 ND: Núcleo Desertificado; FN: Floresta Nacional
 Fonte: Elaboração Própria

O mesmo comportamento foi observado para as áreas de exclusão, nestas unidades foram verificados dominância dos valores de Brightness em relação Greenness, o que evidencia a existência da degradação das áreas (Figura 47).

Com relação aos valores de temperatura de superfície, observa-se o predomínio de temperaturas elevadas no núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte em relação o FLONA (Figura 48), isso pode estar relacionado a extensão da área analisada, pois o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte possui área territorial

maior, portanto apresenta maior heterogeneidade de alvos, produzindo maiores variações de temperatura, além disso a pouca cobertura vegetal, contribuiu para maior absorção da radiação solar e consequentemente maiores valores de temperatura. O efeito contrário pode ser visto sobre o FLONA, onde se verificou a presença de corpos hídricos, associado a presença de resíduos de plantas na superfície do solo, contribuindo para a redução da temperatura destas áreas.

Figura 48 - Temperatura de Superfície do Núcleo e do FLONA



FS: FINAL SECO; FC: FINAL CHUVOSO;
 ND: Núcleo Desertificado; FNS: Floresta Nacional
 Fonte: Elaboração Própria

As áreas de exclusão (Figura 48) apresentaram os menores valores de temperatura de superfície para o período 2005FC. Neste período apesar de reduzida, as precipitações foram regulares, isso pode ter contribuído para melhoria da vegetação, que provocou redução da temperatura na superfície. Em relação aos demais períodos foram verificados temperaturas superiores a 30 °C, a razão pode ser atribuída a pouca cobertura

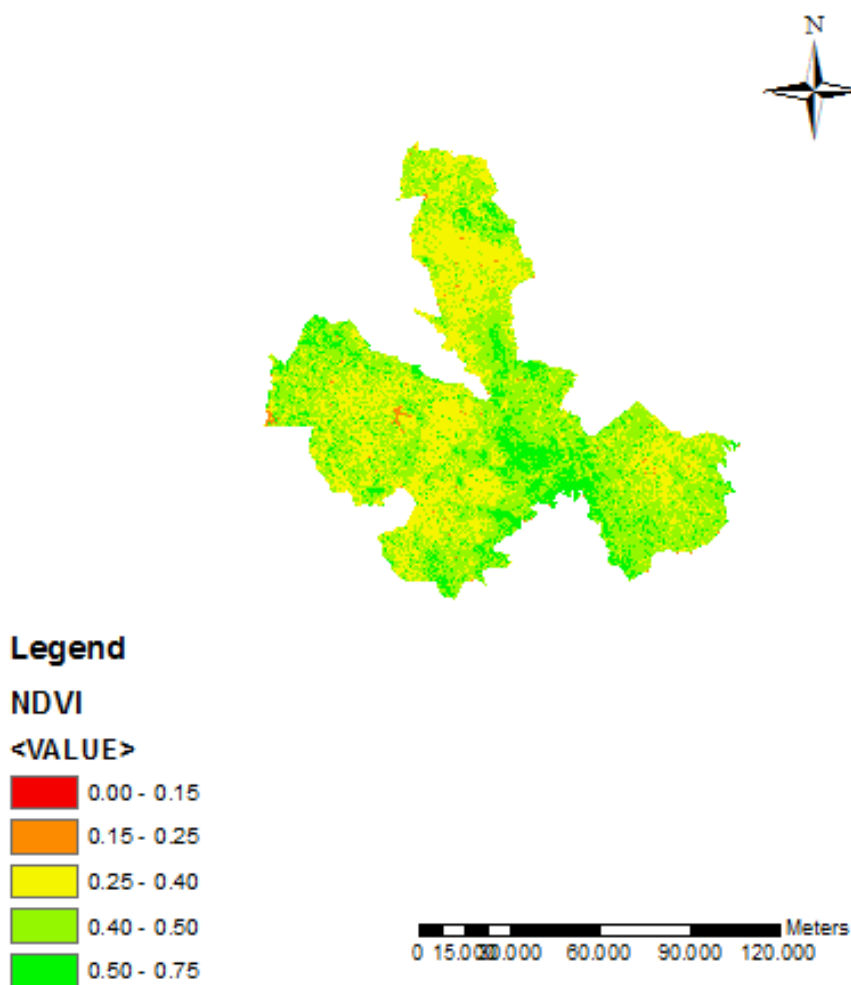
vegetal associado a presença de material grosseiro na superfície do solo, acarretando maior absorção da radiação solar em áreas com solo desprotegido.

O próximo tópico aborda o modelo de validação baseado em dados de Landsat 08, a fim de verificar a robustez dos valores produzidos pelos índices.

6.8 Empilhamento do NDVI, TGSi e Albedo

A técnica de empilhamento dos índices apresentou grande utilidade na verificação da inalteração destes, nos anos de 2000 a 2008. A Figura 49 apresenta o resultado para o comportamento do NDVI no núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte.

Figura 49 - Pixels de NDVI entre os anos de 2000 a 2008 no núcleo



Fonte: Elaboração Própria

A Figura 49 apresenta os pixels contendo os valores de NDVI que não

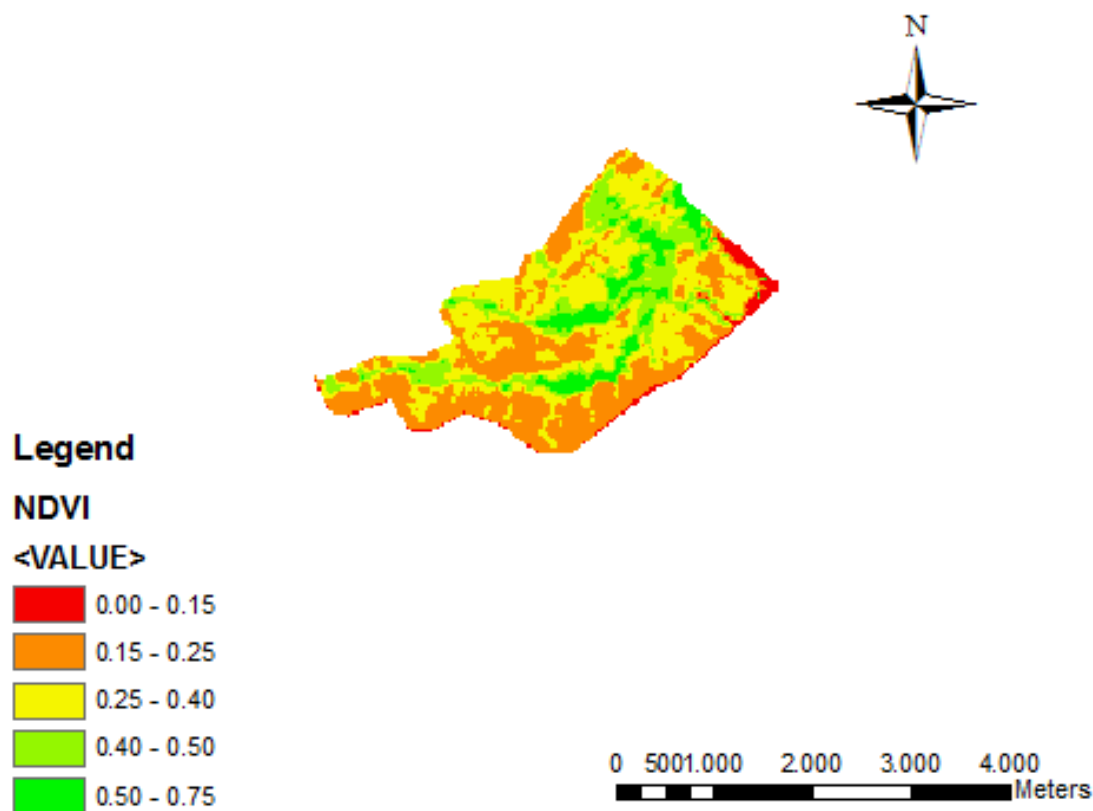
sofreram modificações durante os anos de 2000 a 2008. Observa-se a predominância dos valores de NDVI que estão entre 0,40 e 0,50. Este intervalo indica a ocorrência de vegetação pouco desenvolvida (LAMCHIM *et al.*, 2016).

O empilhamento dos dados de NDVI de todos os anos da série temporal produziram resultados que indicam que os valores de NDVI permaneceram dentro da escala de valores associados a áreas desertificadas, pois, os baixos valores de NDVI dos pixels não apresentaram mudanças para uma condição não desertificada. Observa-se a reduzida cobertura vegetal ao norte do núcleo, principalmente onde está localizado o município de Irauçuba, isso é um indicativo de que nestas regiões podem haver efeitos mais agressivos da desertificação.

O baixo potencial de resposta do NDVI indica reduzida capacidade de recuperação da vegetação destas áreas, isso pode ser resultado dos efeitos climáticos provocados pelas mudanças no microclima da área, em consequência do avanço da desertificação, associado com as práticas antrópicas, esse conjunto contribui para remoção e pouco estabelecimento da vegetação, e dificulta a reversão do sistema desertificado para não desertificado.

Os dados de NDVI do FLONA também foram empilhados, os resultados são apresentados na Figura 50.

Figura 50 - Pixels de NDVI constantes durante os anos de 2000 a 2008 no FLONA



Fonte: Elaboração Própria

O empilhamento dos valores de NDVI para o FLONA de Sobral indicou que apenas os pixels localizados ao longo do veio de água, permanecerem com valores elevados de NDVI (0,50 – 0,75), indicando boa cobertura vegetal. Em relação às demais áreas observa-se predomínio de pouca cobertura vegetal, ou seja, o empilhamento indicou que estes pixels não apresentaram mudanças para valores atribuídos a áreas não desertificadas, reforçando o baixo potencial de resposta da vegetação do FLONA, em decorrência da presença de animais na área preservada e outras atividades de degradação apresentados as organizações não governamentais, responsáveis pela compilação de dados da unidade de preservação.

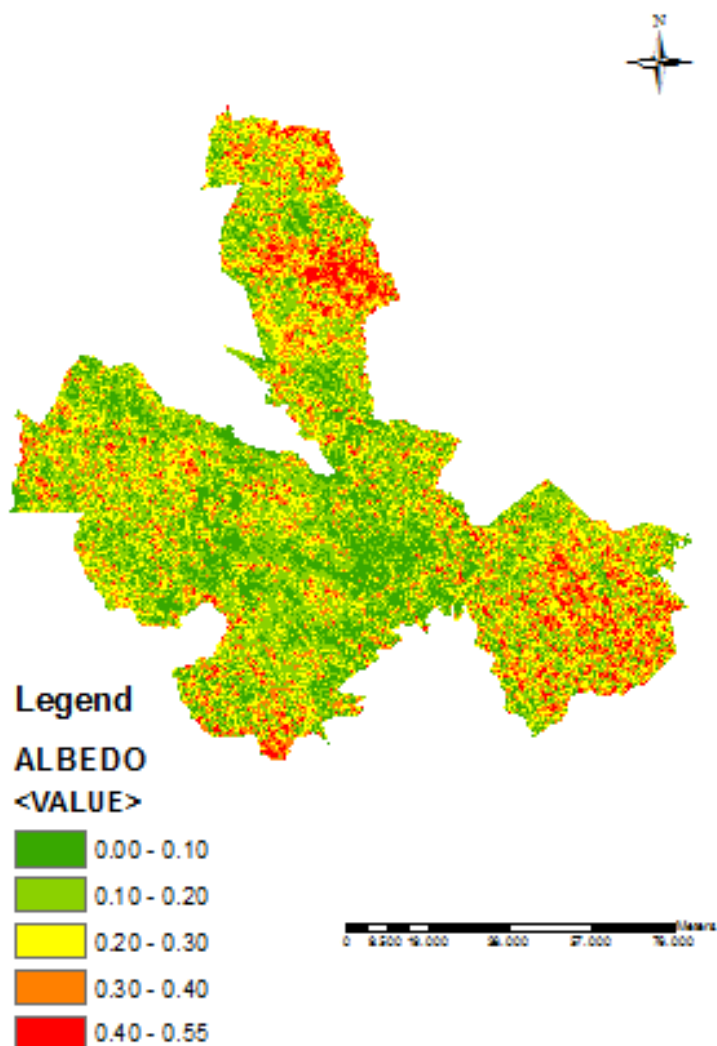
O empilhamento dos dados de TGSI tanto no núcleo como no FLONA indicaram que não houve mudanças nos valores de pixels para uma condição não desertificada, ou seja, como o TGSI apresentou valores desertificados em ambas às áreas, o tempo envolvido na análise dos dados não foi suficiente para verificar mudanças nestes resultados, isso pode ser atribuído ao fato de que a textura do solo é uma característica

que pouco varia ao longo de um curto período de tempo.

As atividades de sobrepastejo e a erosão são fatores promotores da degradação estabelecida nestas áreas a muitos anos, que por sua vez, acarretou mudanças na granulometria do solo, contudo se tratando da propriedade do solo textura não esperase que ocorra mudança desta de um período para outro em uma escala de tempo reduzida, isso foi verificado com o empilhamento dos dados que indicou a inalteração do TGSI dos anos 2000 a 2008, reforçando o predomínio da fração areia sobre o FLONA e o núcleo em consequência das atividades promotoras da degradação verificadas em ambas as áreas.

O empilhamento dos valores de albedo entre os anos de 2000 a 2008 para o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte podem ser vistos na Figura 51.

Figura 51 – Pixels de Albedo de 2000 a 2008 no núcleo de desertificação



Fonte: Elaboração Própria

Os dados empilhados de albedo indicaram que os valores associados a áreas desertificadas prevaleceram no núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte, ou seja, os pixels deste grupo de dados permaneceram inalteráveis ao longo dos anos, indicando que durante os períodos de 2000 a 2008 não houve mudança do albedo da condição desertificada para não desertificada.

O albedo do solo é uma característica influenciada pela cobertura vegetal, na análise de empilhamento dos dados de NDVI (Figura 50) onde se verificou que os pixels com valores reduzidos de vegetação não se modificaram com o passar dos anos, indicando baixa resposta da vegetação, isso pode ter influenciado no albedo, já que, os valores apresentados na análise de empilhamento reforçam a permanência dos valores de albedo no rol de desertificação ao longo de todos os anos estudados, a não mudança destes valores para não desertificado, indica condição típica de áreas desertificadas, constituindo em um ciclo de degradação, pois, albedo elevado aumenta a reflectância do solo e diminui a quantidade de vapor de água na atmosfera, reduzindo as precipitações e conseqüentemente a presença de umidade no solo, acarretando baixo potencial de resposta da vegetação.

Para o FLONA os valores de albedo foram reduzidos em todos os anos estudados sendo representado por uma única classe 0,00 – 0,10 (Figura 18). Esta classe teve representatividade em todos os anos, portanto a análise de empilhamento dos dados de albedo não indicou mudança do rol de valores da condição não desertificada para desertificada, permanecendo inalteráveis ao longo dos anos, a explicação para isso pode estar relacionado a vegetação localizada próximo aos veios de água, essa vegetação consegue manter as funções ecológicas importantes, como ciclagem de nutrientes e fornecimento de resíduos vegetais ao solo, contribuindo para redução da reflectância do solo e conseqüentemente diminuição do albedo.

O uso do empilhamento dos dados foi importante para averiguar se houve mudança do rol de valores de áreas desertificadas para não desertificadas ao longo dos anos do experimento, os dados indicaram que o NDVI, TGSI, e Albedo para o núcleo de desertificação não se modificou, o que reforça a degradação da área, pois mesmo com a ocorrência da precipitação não foi verificada resposta da vegetação, indicando a existências de áreas empobrecidas e degradadas, típico de regiões afetadas pela desertificação.

6.9 Modelo de Validação

Na Tabela 19 estão apresentados os resultados da análise granulométrica e dos índices NDVI, TGSI, Albedo, Tasseled Cap Brightness e Greenness obtidos para a Fazenda Aroeira – A1 e A2 respectivamente, dos pontos amostrados 1PA1, 2PA1, 3PA1, 5_PA1, 6_PA1, 7_PA1, 8_PA1 e 1PA2,1RPA2, 2RPA2, 1_PA2, 2_PA2 e 3_PA2.

Tabela 19 - Resultados de análises granulométricas e dos índices espectrais obtidos para as áreas de exclusão A1, A2, A3, A4 e A5

Ponto	NDVI	TGSI	Albedo	Brightness	Greenness	Cascalho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação Textural
Aroeira 1										
1PA1	0,075	0,1098	0,1126	3.019,84	367,9606	18,87	74,28	13,99	11,74	Franco – Arenoso
2PA1	0,0524	0,0993	0,0807	3.332,89	456,5049	14,07	47,59	24,56	27,84	Franco Argilo - Arenoso
3PA1	0,2195	0,1878	0,1926	1.780,74	508,7478	31,76	79,45	14,07	6,48	Areia – Franca
5_PA1	0,2407	0,1468	0,1891	1.876,52	533,0936	4,96	65,27	11,46	23,28	Franco Argilo - Arenosa
6_PA1	0,1956	0,1285	0,1649	2.298,81	550,3345	3,35	72,64	7,94	19,41	Franco – Arenoso
7_PA1	0,4387	0,3121	0,2111	1.554,40	934,0772	9,84	82,47	10,05	7,48	Areia – Franca
8_PA1	0,1178	0,1413	0,1362	2.734,35	473,6919	11,64	87,33	8,01	4,66	Areia – Franca
Aroeira 2										
1PA2	0,1638	0,16	0,1597	2.366,98	537,0092	7,72	85,78	7,01	7,21	Areia - Franca
1RPA2	0,134	0,1448	0,1449	3.496,37	434,1636	11,48	82,01	6,66	11,33	Areia - Franca
2RPA2	0,1379	0,1253	0,1284	1.960,48	574,9459	14,1	87,83	4,8	7,36	Areia - Franca
1_PA2	0,2043	0,1968	0,1767	2.138,87	586,507	41,38	86,59	7,98	5,43	Areia - Franca
2_PA2	0,0961	0,1555	0,1066	3.295,04	532,9464	5,3	80,86	7,7	11,44	Franco - Arenosa
3_PA2	0,0826	0,0984	0,0606	3.947,05	519,5635	5,22	86,19	7,89	5,92	Areia - Franca
Formigueiro										
1PA3	0,1256	0,1576	0,1276	2.932,41	559,9764	4,77	77,71	10,07	12,23	Franco - Arenosa
2PA3	0,1775	0,1629	0,1634	2.357,79	546,6959	11,62	73,24	6,11	20,65	Franco Argilosa - Arenosa
2_PA3	0,1756	0,2479	0,1603	2.497,07	674,0673	13,22	61,76	9,95	28,29	Franco Argilosa - Arenosa
Cacimba Salgada 1										
1PA4	0,0591	0,2161	0,1037	3.413,95	516,6761	31,16	74,26	18,35	7,39	Franco - Arenosa
2PA4	0,1505	0,1984	0,1639	2.343,93	525,2014	9,28	52,41	12,17	35,42	Argila - Arenosa
3PA4	0,1811	0,2338	0,1601	2.495,07	679,1306	7,59	81,42	8,53	10,05	Areia - Franca
1_PA4	0,1453	0,2353	0,1371	2.904,41	713,6256	21,64	80,19	9,81	10	Areia - Franca
Cacimba Salgado 2										
2PA5N	0,1163	0,1921	0,1268	2.990,06	590,9960	16,84	46,91	20,26	32,83	Franco Argilo - Arenosa
3PA5	0,1906	0,1874	0,1524	2.573,22	687,6038	2,62	57,92	11,01	31,07	Franco Argilo - Arenosa
4PA5	0,1233	0,1653	0,1121	3.210,85	619,6840	4,47	66,84	9,7	23,47	Franco Argilo - Arenosa

1PA1; 2PA1; 3PA1: PONTOS INTERNOS – A1; 5_PA1; 6_PA1; 7_PA1; 8_PA1: PONTOS EXTERNOS – A1; 1PA2; 1RPA2; 2RPA2: PONTOS INTERNOS – A2; 1_PA2; 2_PA2; 3_PA2: PONTOS EXTERNOS – A2; 1PA3; 2PA3: PONTOS INTERNOS – A3; 2_PA3: PONTOS EXTERNOS – A3; 1PA4; 2PA4; 3PA4: PONTOS INTERNOS – A4; 1_PA4: PONTOS EXTERNOS – A4; 2PA5N; 3PA5; 4PA5: PONTOS INTERNOS – A5.

Fonte: Elaboração Própria

Na Tabela 19 estão apresentados os resultados das análises granulométricas e dos índices espectrais para a Fazenda Aroeira – A1. Pode-se perceber que os valores de NDVI foram baixos em todos os pontos localizados dentro da unidade experimental (1PA1, 2PA1 e 3PA1), com relação aos pontos fora da área (5_PA1, 6_PA1, 7_PA1 e 8_PA1) foram verificados baixo NDVI, com exceção do ponto (7_PA1) que indicou alto vigor de vegetação. Este cenário indica a existência de baixa recuperação de vegetação dentro e fora da unidade de exclusão, corroborando com as inferências baseadas na avaliação dos valores de NDVI para a série temporal de 2000 a 2008 (Figura 52).

Foram verificados a presença de Vegetação Jurema – Preta, o qual a indícios na literatura de potencial alelopático, possivelmente o tipo de vegetação presente associado com a falta de chuva justificam os baixos NDVI encontrados para a Fazenda Aroeira – A1.

Figura 52 - Pontos Amostrados na Fazenda Aroeira 1 – A1



1PA1, 2PA1 e 3PA1: PONTOS INTERNOS FAZENDA AROEIRA – A1

5_PA1: PONTOS EXTERNOS FAZENDA AROEIRA - A1

Fonte: Elaboração Própria

Os valores de TGSÍ para Fazenda Aroeira A1 indicaram areia sobre a superfície dos pontos internos (1PA1, 2PA1 e 3PA1) e externos (5_PA1, 6_PA1, 7_PA1 e 8_PA1). As análises granulométricas confirmaram estes resultados (Tabela 19), apenas os pontos 2PA1 (interno) e 5_PA1 (externo) apresentaram textura Franco Argilo - Arenosa, os demais pontos apresentaram textura Franco – Arenoso (1PA1); Areia Franca (3PA1); Franco Arenoso (6_PA1) e Areia Franca (7_PA1 e 8_PA1). A presença da fração areia nestas áreas podem ser justificadas pelas condições de erosão, intensificadas, pela reduzida cobertura de vegetação que em situações de precipitações irregulares acarretam a remoção da fração mais fina do solo, deixando apenas a grosseira, outra justificativa é a presença de erosão provocada pelo vento, pois, a Jurema Preta é esparsa não protegendo o solo da ação do vento que tem efeito sobre a remoção das partículas do solo.

Os pixels correspondentes a unidade de exclusão Aroeira A1 apresentaram informação espectral advinda de outros alvos como resíduos e matéria orgânica, alterando a reflectância destas áreas, acarretando mudanças nos índices estudados, por exemplo, os valores reduzidos de TGSÍ deveriam indicar pouca presença de fração areia, contudo indicaram presença acentuada desta fração, sendo confirmado pela análise granulométrica, isso se deve ao fato de que além da fração areia, outros componentes como matéria orgânica e restos de plantas possam ter mascarado a resposta do índice.

Em todos os pontos foram observados maiores valores de Brightness em relação ao Greenness, no entanto no ponto 7_PA1 de boa cobertura vegetal, foi observado menor diferença entre o brilho e o verdor, isso reforça o baixo potencial de resposta da vegetação que não foi suficiente para produzir altos (Greenness), comportamento compatível com os valores obtidos para a série temporal de 2000 a 2008.

Na Fazenda Aroeira – A1 foram observados que os pontos 1PA1 e 3PA1 (internos) apresentaram valores de albedo elevado, indicando áreas de solo exposto (Figura 50), da mesma forma que os pontos externos (5_PA1, 6_PA1, 7_PA1 e 8_PA1). Apenas o ponto 2PA1 (interno) indicou baixo albedo. Em visita de campo foram constatados a exposição destes pontos, pois foram verificados solo exposto, a sensível redução do albedo para o ponto 2PA1 pode ser justificado pela presença de cobertura de vegetação na área que reduziu muito pouco a reflectância do solo (Figura 52 2PA1).

Os valores de NDVI foram reduzidos nos pontos: 1PA2, 1RPA2 e 2RPA2 (internos) e 1_PA2, 2_PA2 e 3_PA2 (externos), estes valores corroboram com a situação descrita pelo NDVI da série temporal analisada de 2000 a 2008, em que de acordo com

os resultados, a Fazenda Aroeira – A2 apresentava pouca cobertura vegetal (Figura 53), devido a pouca precipitação ocorrida nesta área, bem como o tipo de solo predominante (PLANOSSOLOS) que apresentam baixa condutividade hidráulica, que acelera a atuação dos processos erosivos, também se verificou vegetação Jurema Preta com potencial alelopático que pode provocar redução da germinação de novas plantas e comprometer o estabelecimento de novas espécies vegetais.

Figura 53 - Pontos Amostrados na Fazenda Aroeira 2 – A2



1PA2, 1RPA2 e 2RPA2: PONTOS INTERNOS AROEIRA – A2
1_PA2, 2_PA2 e 3_PA2: PONTOS EXTERNOS AROEIRA – A2
Fonte: Elaboração Própria

Os valores de TGSI para Fazenda Aroeira A2 indicaram presença da fração areia em relação às demais, verificado nos pontos: 1PA2, 1RPA2 e 2RPA2 (interno) e 1_PA2, 2_PA2 e 3_PA2 (externo). Os resultados da análise granulométrica (Tabela 19)

atestaram que os pontos: 1PA2, 1RPA2, 2RPA2, 1_PA2 e 3_PA2 apresentaram Textura Areia – Franca, apenas o ponto 2_PA2 obteve classe textural (Franco – Arenosa). Isso ocorreu devido a pouca cobertura vegetal do solo, o que favoreceu a intensificação da erosão eólica e hídrica sobre esta área, acarretando predomínio da fração areia sobre a superfície do solo.

Com exceção do ponto 3_PA2, todos os outros apresentaram albedo típico de solo exposto, indicando a exposição desta área e maior reflectância da superfície do solo, proporcionando menor absorção de umidade pelo solo, e conseqüentemente menor disponibilidade de água para as plantas, diminuindo a recuperação da vegetação.

As componentes Brightness e Greenness apresentaram comportamento igual ao obtido na análise temporal, o que enaltece a degradação da área, pois o reduzido porte da vegetação (Greenness) deixa o solo descoberto provocando aumento do (Brightness), acelerando a erosão, empobrecimento do solo e posteriormente a desertificação.

Pode-se notar que os valores de NDVI para os pontos 1PA3, 2PA3 (interno) e 2_PA3 (externo) foram reduzidos, indicando pouca cobertura vegetal (Figura 54). A reduzida vegetação sobre a Fazenda Formigueiro segue as justificativas para as demais, pouca chuva, reduzida capacidade de infiltração de água do solo devido à baixa condutividade hidráulica do horizonte, além de vegetação com potencial alelopático. A junção destes fatores associado com o empobrecimento do solo, dificulta o estabelecimento da cobertura vegetal, contribuindo para o aumento dos processos erosivos.

Figura 54 - Pontos Amostrados na Fazenda Formigueiro – A3



1PA3 e 2PA3: PONTOS INTERNOS DA ÁREA DE EXCLUSÃO – A3

2_PA3: PONTOS EXTERNOS DA ÁREA DE EXCLUSÃO – A3

Fonte: Elaboração Própria

Os valores de TGSI indicaram predomínio da fração areia em relação às demais, isso foi confirmado pelos resultados das análises granulométricas apresentados na Tabela 19. O ponto 1PA3 (interno) apresentou textura do tipo Franco – Arenosa e os pontos 2PA3 e 2_PA3 (Franco Argilo – Arenosa). Os resultados revelaram que todos os pontos internos e externos da Fazenda Formigueiro – A3 apresentaram a fração areia como dominante, indicando áreas em que os processos erosivos atuam mais intensamente, já que a pouca cobertura vegetal favorece a perda de material pelo vento, além disso, a reduzida capacidade de infiltração do solo devido a baixa condutividade hidráulica do mesmo favorece ao maior escoamento superficial, contribuindo para a perda de partículas importantes para o solo.

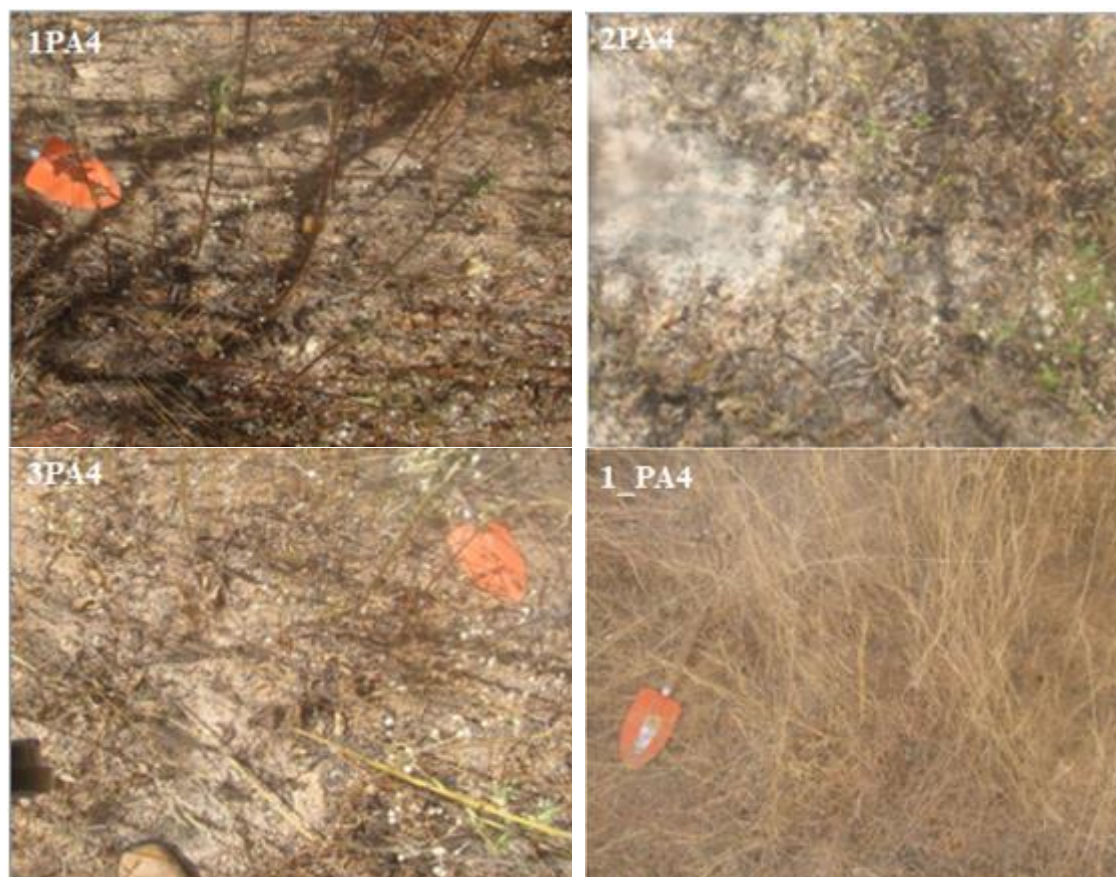
Os valores de albedo foram elevados para a Fazenda Formigueiro – A3 em todos os pontos coletados: 1PA3 e 2PA3 (internos) e 2_PA3 (externo), indicando presença de solos sem cobertura vegetal. De acordo com a Figura 52, observa-se vegetação pouco desenvolvida constituída de folhas secas que pouco protegem o solo, aumentando a

reflectância e exposição do mesmo a radiação solar, isso provoca rápida evaporação da água do solo diminuindo os estoques de água para as plantas.

Os resultados da Transformação Tasseled Cap apresentaram superioridade da componente Brightness em relação a Greenness. Estes resultados estão em conformidade com os obtidos pela série temporal estudada e reforçam a degradação existente na Fazenda Formigueiro – A3. Baixos verdes (Greenness) associados com altos brilhos (Brightness) são refletidos em pouca vegetação e maiores áreas de solo exposto, favorecendo a ocorrência de processos erosivos e desenvolvimento da desertificação.

Os valores de NDVI para a Fazenda Cacimba Salgada 1 – A4 foram baixos nos pontos 1PA4, 2PA4, 3PA4 (internos) e 1_PA4 (externos), conforme se verifica na Tabela 19. A baixa resposta da vegetação nesta área deve-se a pouca precipitação ocorrida, associado com o empobrecimento do solo, causado pelos processos erosivos que removem as partículas mais importantes do solo, dificultando o estabelecimento de vegetação de grande porte, além disso, o tipo de vegetação predominante dentro da área de exclusão é Jurema – Preta que por ser adaptada a caatinga apresenta baixo porte, sendo esparsa, fornecendo pouca proteção do solo a erosão, também vale destacar a presença dos efeitos tóxicos provocados pela Jurema – Preta que afeta a germinação e desenvolvimento das plantas (Figura 53).

Figura 55 - Pontos Amostrados na Fazenda Cacimba Salgada 1 – A4



1PA4, 2PA4 e 3PA4: PONTOS INTERNOS DA ÁREA DE EXCLUSÃO – A4
 1_PA4: PONTOS EXTERNOS DA ÁREA DE EXCLUSÃO – A4
 Fonte: Elaboração Própria

Os valores de albedo indicaram solo exposto em todos os pontos analisados, pouca vegetação e elevadas quantidades de areia na superfície provocaram aumento da refletância dos solos, estes resultados podem ser verificados na Figura 55. Valores de albedo elevados provocam maiores incidências da radiação solar sobre a superfície do solo, aumentando a evaporação da água e diminuindo sua disponibilidade para o desenvolvimento das plantas, contribuindo para o aparecimento de áreas de solos expostos e posteriormente surgimento de áreas desertificadas.

A transformação Tasseled Cap apresentou redução de Greenness e aumento do Brightness, a pouca vegetação não foi suficiente para recobrir o solo e diminuir os valores de Brightness, gerando uma diferença entre os valores de Brightness (altos) em relação aos valores de Greenness (baixo), sendo típico de áreas perturbadas

Os valores de TSGI foram elevados em todos os pontos analisados, indicando fração areia sobre as demais (Tabela 21). A classificação textural foi: 1PA4 (Franco – Arenoso); 2PA4 (Argilo – Arenosa); 3PA4 e 1_PA4 (Areia – Franca). A presença da fração

areia na Fazenda Cacimba Salgado – A4 reforça a situação de degradação encontrada nesta área. Com os baixos valores de NDVI encontrados, o solo ficou mais propenso a atuação de processos erosivos, além disso, presença de horizontes favoráveis a erosão como o Horizonte B plânico (PLANOSSOLOS) ajuda a intensificar os processos erosivos nestas áreas.

Os valores de NDVI foram reduzidos nos períodos, 2PA5N, 3PA5 e 4PA5 (internos), indicando pouca cobertura vegetal provocada pela falta de chuva, além disso, todas as áreas de exclusão apresentavam práticas de sobrepastejo antes do início do projeto (2000). Portanto são áreas degradadas, no qual, mesmo com a precipitação a vegetação tem dificuldade de se recuperar por causa dos períodos em que foram submetidas a essas práticas.

O tipo de vegetação predominante em todas as áreas de exclusão tem efeito alelopático sobre o meio ambiente, podendo diminuir a germinação de sementes e prejudicar o estabelecimento da vegetação. A vegetação da caatinga é esparsa com pouca presença de folhas, isso também pode acarretar baixa respostas aos valores de NDVI (Figura 56).

Figura 56 - Pontos Amostrados na Fazenda Cacimba Salgada 2– A5



2PA5N, 3PA5 e 4PA5: PONTOS INTERNOS DA ÁREA DE EXCLUSÃO – A5
Fonte: Elaboração Própria

Os valores de TGSÍ foram elevados em todos os pontos, indicando o predomínio da fração areia em relação às demais (Tabela 19). A Fazenda Cacimba Salgada 2 – A5 apresentaram menores porcentagens de areia em relação às outras unidades, por isso que a classificação textural em todos os pontos coletados foram Franco Argilo – Arenosa. Não foi encontrado nada na literatura que pudesse justificar este comportamento. O predomínio da areia nestas áreas está relacionado com a atuação dos processos erosivos, intensificados pela pouca cobertura vegetal que permitiu a ação do vento e da água removendo a fração mais fina do solo deixando apenas a grosseira.

Os valores de albedo apresentaram sensível redução apenas nos pontos 1PA5 e 2PA5, os demais pontos foram caracterizados por apresentarem albedo típico de solo exposto, nestes pontos foram verificadas cobertura vegetal, porém não sendo suficiente para reduzir a reflectância do solo, isso contribui para maior perda de umidade do solo, devido a maior exposição do mesmo a radiação, aumentando a taxa de evaporação de água para a atmosfera, reduzindo desta forma a quantidade de água para as plantas.

O Tasseled Cap apresentou resultados semelhantes ao que vem sendo discutido ao longo deste trabalho. O baixo Greenness e alto Brightness foram observados em todas as áreas de exclusão, isso se deu devido a pouca vegetação existente nestas áreas, havendo maiores áreas de solo exposto devido a perturbações, no caso a desertificação, a grande diferença entre as componentes evidencia a presença de degradação nestas áreas.

Os índices NDVI, TGSÍ, Albedo, Tasseled Cap Brightness e Greenness e os resultados de areia, silte e argila seguido da classe textural para o núcleo de desertificação Irauçuba Centro Norte estão contidos na Tabela 20.

Tabela 20 - Resultados de análises granulométricas e dos índices espectrais obtidos para Núcleo de Desertificação Irauçuba – Centro Norte

Ponto	NDVI	TGSI	Albedo	Brightness	Greenness	Cascalho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação Textural
Núcleo de desertificação										
3PND	0,0751	0,2461	0,118	3.228,27	561,0131	7,14	80,38	11,98	7,64	Areia – Franca
5PND	0,062	0,2596	0,1079	3.425,91	571,9054	68,10	79,49	10,67	9,85	Franco – Arenosa
6PND	0,0481	0,2032	0,0806	3.737,78	532,776	71,75	82,72	11,92	5,36	Franco – Arenosa

3PND;4PND;5PND;6PND: PONTOS NO NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO

FONTE: Elaboração Própria

A Tabela 20 mostrou que todos os pontos apresentaram valores de NDVI baixos, reforçando a pouca cobertura vegetal destas áreas (Figura 57). A reduzida vegetação do núcleo está de acordo com os valores obtidos da série temporal 2000 a 2008. O empobrecimento do solo, erosão e a falta de chuva, acarretam o surgimento de vegetação de baixo porte não sendo suficiente para provocar boas respostas no NDVI.

Figura 57 - Pontos Amostrados Núcleo de Desertificação Irauçuba Centro Norte



3PND, 5PND e 6PND: PONTOS NO NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO
Fonte: Elaboração Própria

Os valores de TGSÍ foram superiores ao limite de 0,20 proposto por Lamchim *et al.* (2016), indicando predomínio da areia sobre as demais frações, as análises granulométricas mostraram a classe textural Areia Franca (3PND) e Franco – Arenosa (5PND, 6PND), confirmando a presença significativa desta fração sobre os solos desertificados. A presença de voçorocas, pastejo de animais e selamento superficial em áreas com pouca precipitação pluviométrica acarreta o surgimento da desertificação (Figura 58). Pois a baixa cobertura vegetal deixa o solo exposto a erosão, que atua removendo o material fino do solo como argila, deixando apenas a fração areia sobre a

superfície, essa fração tem baixa afinidade por água e nutrientes, diminuindo os estoques de água para as plantas, afetando o estabelecimento da vegetação.

Figura 58 - entorno das áreas de exclusão



A: VOÇOROCAS; B: PASTEJO DE ANIMAIS; C: SELAMENTO SUPERFICIAL
Fonte: Elaboração Própria

Os valores de albedo ($>0,10$) demonstraram a existência de solos expostos na maioria dos pontos observados, com exceção do 6PND com albedo inferior a $0,10$, possivelmente devido à cobertura causada pelos restos de folhas que recobriram o solo diminuindo a sua refletância.

A transformação Tasseled Cap confirmou o comportamento mostrado na série temporal 2000 a 2008, ou seja, a superioridade dos valores de Brightness em relação a componente Greenness, isso foi observado em todos os pontos analisados. Evidentemente a pouca cobertura vegetal e aumento do Brightness produz esse comportamento, típico de áreas perturbadas.

7 CONCLUSÕES

Os recursos de sensoriamento remoto através de satélites Landsat 05 e 08 permite desenvolvimento de metodologia quantitativa baseada em parâmetros de solo e vegetação, capazes de reconhecer áreas desertificadas.

A linha de solo possibilita a identificação da baixa resposta da vegetação em todos os períodos estudados no núcleo de desertificação, FLONA e nas áreas de exclusão.

Os valores de Greenness e Brightness indicam degradações das áreas estudadas.

Os valores de temperatura de superfície por si só não são capazes de identificar áreas desertificadas, sendo influenciada pela heterogeneidade do meio.

O uso conjunto dos índices NDVI, TGSI, Albedo, Linha de solo e Transformação Tasseled Cap reconhece áreas desertificadas e suscetíveis a desertificação.

As áreas de exclusão apresentam valores de índices semelhantes as áreas desertificadas, é necessária uma análise *in loco* para verificar as reais condições destas unidades, contudo em termos de sensoriamento remoto, estas, não foram capazes causar mudanças significativas e perceptíveis em relação as áreas desertificadas.

As visitas de campo e análises granulométricas confirmam as informações produzidas pelo NDVI, TGSI, Albedo, Tasseled Cap Brightness e Greenness desenvolvidos por este trabalho, atestando a capacidade destes em reconhecer áreas desertificadas e degradadas.

REFERÊNCIAS

ADLER – GOLDEN , SM. et al. **A revanche dos ventos**. *Ciência & Ambiente.*, v. 1, n. 1, p. 7-31, 1990.

ABRAMS, M.; HOOK, S .R.B. **ASTER User Handbook** (version 2). NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL), 2002, 135 p.

ACCIOLY, L. JO.et al. **Phytomass mapping of the Seridó Caatinga vegetation by the plant área and the normalized difference vegetation indeces**. *Scientia Agricola.*, Piracicaba, v. 59, p. 707-715, 2002.

ACCIOLY, LJO. et al. **Avaliação de Mudanças no Albedo do Núcleo de Desertificação do Seridó através de Imagens do Landsat TM**. In: Anais Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto., Foz do Iguaçu. São José dos Campos: INPE, 2001.

ADAMCZYK, B.et al. **Tannins can slow-down but also speed-up soil enzymatic activity in boreal forest**. *Soil Biology And Biochemistry.*, v. 107, p.60-67, 2017.

AGNEW, C.; ANDERSON, W. **Water in the arid realm**. Routledge., London, 1992.

ALENCAR, V.B. et al. **Impactos Sócio – Espaciais oriundos do processo de desertificação: a dinâmica das unidades geoambientais e suas consequências no município de Irauçuba / Centro Norte**. *Revista Geonorte.*, v. 1, p.721 – 729, 2012.

ALLEN, R. et al. **Surface energy balance algorithms for land (SEBAL).Idaho implementation – Advanced training and users manual**, 2002. 97p.

ALLEN, RG.et al. **Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model**. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering.*, v.133, p.380-394, 2007b.

AMARAL, S. **Imagens do Sistema AVHRR/NOAA na detecção e avaliação de desmatamentos na floresta amazônica - Relações com dados TM Landsat**. 1992, 175p (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos, INPE. INPE-5501-TDI/516.and near infared vegetation index imagery. *International Journal of Remote Sensing.*, v.12, p. 1223-1242, 1991.

ANDRADE, F.et al. **Organic acids and diffusive flux of organicand inorganic phosphorus in sandy-loam and clayey latosols**. *Soil Sci.Plant Anal.*, v.44, p.1211–1223, 2013.

ARAÚJO FILHO, JA. et al. **Composição botânica e química da dieta de ovinos e caprinos em pastoreio combinado na região dos Inhamuns, Ceará.** Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia.,Viçosa (MG) p. 383-395, 1996.

ARAÚJO FILHO, J.A.; SILVA, N.L. **Impactos e Mitigação do Antropismo no núcleo de Desertificação de Irauçuba – CE.** Imprensa Universitária., 2015, 22p.

AUBRÉVILLE, A. **Climats forêts et désertification de l’Afrique tropicale.** Société d’Editions Géographiques, Maritimes et Coloniales., Paris, 1949.

BAIG, MH. et al. **Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance.** Remote Sensing Letters., v. 5, p.423-431, 2014.

BARBOSA, HA.et al. **20 - year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil.** Journal of Arid Environments., v. 67, p. 288-307, 2006.

BARET, F.et al. **The soil line concept in remote sensing.** Remote Sensing of Environment., v. 7, p. 11-18, 1993.

BASTIAANSEN, WG. et al. **Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Applications.** Journal of Irrigation and Drainage Engineering., v.133, p.395-406, 2007a.

BASTIAANSEN, WGM.et al. **Remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) - Formulation.** Journal of Hydrology., v.212-213, p.198- 212, 1998.

BAUMANN, M. et al. **Landsat remote sensing of forest windfall disturbance.** Remote Sensing Of Environment., v. 143, p.171-179, 2014.

BECERRIL-PIÑA, R. et al. **Assessing desertification risk in the semi-arid highlands of central Mexico.** Journal of Arid Environments., v. 120, p. 4-13, 2015.

BERNARDES, M. S. **Fotossíntese no dossel das plantas cultivadas.** In: CASTRO, P. R. Ecologia da produção agrícola., Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p. 249, 1987.

BEURS, KM.et al. **Disturbance analyses of forests and grasslands with MODIS and Landsat in New Zealand.** International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation., v. 45, p.42-54, 2016.

BOKAIE, M. et al. **Assessment of Urban Heat Island based on the relationship**

between land surface temperature and Land Use/ Land Cover in Tehran. Sustainable Cities And Society., v. 23, p.94-104, 2016.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos.** Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 878 p.

BRASIL. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca/ PAN-Brasil.** Brasília (DF): Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos, 2004. 214p.

BRASIL/SUDENE / EMBRAPA. **Levantamento exploratório e reconhecimento de solos do estado do Ceará.** (Bol. Técnico n. 28, Série Pedologia, 16), Recife, 1973. Brasília: Unesco Brasil. Série Meio Ambiente., v. 2, 2001.

BREST, C. L.; GOWARD S. N. **Deriving surface albedo measurements from narrow band satellite data.** International Journal of Remote Sensing., v. 8, p. 351-367, 1987.

BROWN, R.D. **Northern hemisphere snow cover variability and change.** J. Clim., v. 13, p.1915 - 97, 2000.

BUNNIK, N.J.J. **The multispectral reflectance of shortwave radiation by agricultural crops in relation with their morphological and optical properties.** Wageningen. p.175, 1978.

BURKE, H.H. **Atmospheric correction for shortwave spectral imagery based on MODTRAN 4.** Imaging Spectrometry., 1999.

BYRNE, GF. et al. **Monitoring land-cover change by principal component analysis of multitemporal landsat data.** Remote Sensing Of Environment., v. 10, n. 3, p.175-184, 1980.

CANAS, A. A. D.; BARNETT, M. E.; **The generation and interpretation of false-colour composite principal component images.** International Journal Of Remote Sensing., v. 6, n. 6, p.867-881, 1985.

CHANDER, G.; MARKHAN, B. **Revised Landsat 5 - TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges.** IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing. v. 41, p.2674-2677, 2003.

CHARNEY, J. et al. **A comparative study of the effects of albedo change on drought in semi-arid regions.** J. Atmos. Sci., v. 34, p. 1366 - 1385, 1977.

CHARNEY, JG. et al. **Drought in the Sahara: a biogeophysical feedback mechanism.** Science., v.187, p. 434 – 435, 1975.

CHEN, J. et al. **Formation mechanisms of megadunes and lakes in the Badain Jaran Desert, Inner Mongolia.** Chinese Science Bulletin., v. 51, n. 24, p.3026-3034, 2006.

CHEN, Z. et al. **Monitoring of seasonal dynamics of arid land vegetation using AVIRIS data.** Remote Sensing of Environment., v. 65, p. 255–266, 1998.

CHUVIECO, E.; CONGALTON, R. G.; **Mapping and inventory of forest fires from digital processing of tm data.** Geocarto International., v. 3, p.41-53, 1988.

CIBULA, WG. et al. **Response of thematic mapper bands to plant water stress.** International Journal of Remote Sensing., v.13, n.10, p.1869-1880, 1992.

COELHO, A.L. N.; CORREA, W. S.C. **TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE CELSIUS DO SENSOR TIRS/LANDSAT-8: METODOLOGIA E APLICAÇÕES.** Rev. Geogr. Acadêmica., Roraima, v. 7, p.31-45, 2013.

COLLADO, AD. et al. **Satellite remote sensing analysis to monitor desertification processes in the crop-rangeland boundary of Argentina.** J. Arid Environ., v. 52, p. 121–133, 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resoluções do Conama: resoluções vigentes publicadas entre julho de 1984 e novembro de 2008 – 2. ed. / Conselho Nacional do Meio Ambiente.** – Brasília: Conama, 2008. 928 p. Disponível em: <http://www.mp.ro.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=36ba5026-f7d8-4381-b9843f6915382973&groupId=561198> Acesso em: 14 abril 2010.

CRIST, E. P.; CICONE, R. C. **A physically-based transformation of Thematic Mapper data – the TM tasseled cap.** IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing., v. 22, p. 256-263, 1984b.

CRIST, E. P.; CICONE, R. C. **Application of the tasseled cap concept to simulated Thematic Mapper data.** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing., v. 50, n.3, p. 343-352, 1984a.

CRIST, E.P.; CICONE, R.C. **“A Physically-based Transformation of Thematic Mapper Data – the TM Tasseled Cap”.** IEEE Trans. On Geosciences and Remote Sensing., GE 22, p.256-253, 1984.

CRUZ, C.E. B. **Fatores de degradação ambiental nos agropólos do Ceará.** In: XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural – SOBER. Rio Branco: SOBER, 20 a 23 de julho de 2008.

CUNHA, APM. et al. **Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian**

semiarid region. *Agricultural And Forest Meteorology.*, v. 214-215, p.494-505, 2015.

CURRAN, P. J. **Remote sensing of foliar chemistry.** *Remote Sensing of Environment.*, v.30, p.271– 278, 1989.

DANSON, M. et al. **High-spectral resolution data for determining leaf water content.** *International Journal of Remote Sensing.*, New York , v.13, p.461-470, 1992.

DAUGHTRY, C.S.T. **Discriminating crop residues from soil by shortwave infrared reflectance.** *Agronomy Journal.*, v. 93, p.125-131, 2001.

DAUGHTRY, CST.et al. **Remote sensing the spatial distribution of crop residues.** *Agronomy Journal.*, v. 97, p.864-871, 2005.

DAUGHTRY, CST.et al. **Wheat Straw Composition and Spectral Reflectance Chances During Decomposition.** In:IEEE IGARSS ANNUAL PROCEEDINGS, 1, 2009, Grenoble. *Proceedings... Grenoble:Evolution In Remote Sensing.*, p.1-4, 2009.

DAUGHTRY, CST et al. **Spectral Reflectance of Wheat Residue during Decomposition and Remotely Sensed Estimates of Residue Cover.** *Remote Sensing.*, v. 2, p.416-431, 2010.

DEMARCHI, JC.et al. **Análise Temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio do Pardo – SP usando imagens Landsat 05.** *Rev. RA'E GA.*, v.21, p.234 – 271, 2011.

DEMATTÊ, JAM. et al. **Metodologia para reconhecimento de três solos por sensores: Laboratorial e Orbital.** *R. Bras. Ci. Solo.*, v. 28, p.877 – 889, 2004.

DEMATTÊ, JAM. et al. **Visible-NIR reflectance: a new approach on soil evaluation.** *Geoderma.*, v. 121, p.95-112, 2004.

DEMATTE, JAM.et al. **Estimation of Soil Properties by Orbital and Laboratory Reflectance Means and its Relation with Soil Classification.** *The Open Remote Sensing Journal.*, v. 2, p.12-23, 2009.

DEMATTÊ, JAM.et al. **Spectral behavior of some modal soil profiles from São Paulo State, Brazil.** *Bragantia.*, v. 71, p. 413 – 423, 2012.

DEMATTÊ, JAM.et al. **Assessment of sugarcane harvesting residue effects on soil spectral behavior.** *Scientia Agricola.*, v. 73, p.159-168, 2016.

DEVENTER, AP et al. **Using Thematic Mapper data to identify contrasting soil**

plains to tillage practices. Photogramm. Eng. Remote Sens., v. 63, p. 87-93, 1997.

DUANYANG, X. et al. **Quantitative assessment of desertification using landsat data on a regional scale – a case study in the Ordos plateau China.** Sensors., v. 9, p. 1738–1753, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2ª edição. Brasília, 2006.

Encyclopedia of Soil Science: **Albedo.** Encyclopedia of Soil Science, 2003.

EPIHANIO, JCN. et al. **Satélites de Sensoriamento Remoto.** SP. *In:* CURSO DE USO DE SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DO MEIO AMBIENTE, 2002, São José dos Campos, (INPE-8984-PUD/62).

FEIZIZADEH, B. et al. **Monitoring land surface temperature relationship to land use/land cover from satellite imagery in Maraqeh County, Iran.** Journal Of Environmental Planning And Management., v. 56, p.1290-1315, 2013.

FERET, JB. et al. **Advances in the leaf optical properties model separating photosynthetic pigments.** Remote Sensing of Environment., v. 112, p. 3030 – 3043, 2008.

FERNANDEZ, S. et al. **Radiometric characteristics of Triticum aestivum cv. Astral under water and nitrogen stress.** International Journal of Remote Sensing., v.15, p.1867-1884, 1994.

FRENCH, AN. et al. **Discrimination of Senescent Vegetation Using Thermal Emissivity Contrast.** Remote Sensing of Environment., v. 74, p. 249 – 254, 2000.

FUNCEME. **Zoneamento Ecológico-Econômico das Áreas Susceptíveis à Desertificação do Núcleo I Irauçuba/Centro-Norte.** Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME – Núcleo de Recursos Hídricos e Meio Ambiente – NUHRA. Fortaleza, 2014.

FUKUHARA, M. et al. **Extraction of Soil Information from Vegetated Área.** LARS Symposia., p – 277, 1979.

GAD, A.; ABDEL, S. **Study on desertification of irrigated arable lands in Egypt Egyptian.** J. Soil Sci., v. 40, p. 373–384, 2000.

GARCIA LATORRE, J.; SANCHEZ-PICON, A. **Dealing with aridity: socio-economic structures and environmental changes in an arid Mediterranean region.** Land Use Policy., v. 18, p. 53–64, 2001.

GATES, DM. et al. **Spectral properties of plants.** Applied Optics., v. 4, n.1, p. 11-20, 1965. (INPE-6628-TAE/30).

GHOSH, T.K. **Environmental impacts analysis of desertification through remote sensing and land based information system.** J. Arid Environ., v. 25, p. 141–150, 1993.

GILABERT, MA. et al. **A generalized soil-adjusted vegetation index.** Remote Sensing Of Environment., v. 82, p.303-310, 2002.

GIONGO, P. R.; VETTORAZZI, C. A. **Albedo da superfície por meio de imagens TM-Landsat 5 e modelo numérico do terreno.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental., v. 18, p.833-838, 2014.

GODINHO, S. et al. **Assessing the role of Mediterranean evergreen oaks canopy cover in land surface albedo and temperature using a remote sensing-based approach.** Applied Geography., v. 74, p.84-94, 2016.

GONCALVES, J.; CARLYLE, J. **Modelling the influence of moisture and temperature on net nitrogen mineralization in a forested sandy soil.** Soil Biol. Biochem., v. 26, 1557–1564, 1994.

GRACE, J. et al. **Plants and Their Atmospheric Environment.** 21st Symposium of the British Ecological Society. **Blackwell Scientific Publications.**, Oxford, London.

GUNDERSON, L. **Ecological resilience in theory and practice.** Annu. Rev. Ecol.

GUTIÉRREZ, J.R.; SQUEO, F.A. **Importância de los arbustos em los ecosistemas semiáridos de Chile.** Ecosistemas., 2004/1 Disponível em :<URL: <http://www.aet.org/ecosistemas/041/investigacion2.htm>>

GUYOT, G. et al. **Factors affecting the spectral response of forest canopies: a review.** Geocarto International., v. 4, p. 3 – 18, 1989.

HADEEL, AS. et al. **Remote sensing and GIS application in the detection of environmental degradation indicators.** Geo-Spatial Inf. Sci., v.14, p.39–47, 2010.

HARTIA, A. et al. **Spatiotemporal monitoring of soil salinization in irrigated Tadla Plain (Morocco) using satellite spectral indices.** Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf., v.50,

p.64–73, 2016.

HEALEY, S.et al. **Comparison of Tasseled Cap-based Landsat data structures for use in forest disturbance detection.** Remote Sensing Of Environment., v. 97, p.301-310, 2005.

HERRMANN, SM.et al. **Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate.** Global Environmental Change., v. 15, p. 394-404, 2005.

HIROSAWA, Y.et al. **Application of standardized principal component analysis to land-cover characterization using multitemporal AVHRR data.** Remote Sensing of Environment., v. 58, p. 267 - 281, 1996.

HOFFER, R. M. **Physical considerations in applying computer – aided analysis techniques to remote sensing data.** In: SWAIN, P. H.; DAVIS, S.M (Eds.). Remote Sensing the quantitative approach., p. 228 – 89, 1978.

HOFFER, R.M.; JOHANNSEN, C. J. **Ecological potentials in Spectral signature analysis.** In: JOHNSON, P. L. Remote Sensing in Ecology., p.1-16, Athens, G.A: Univ. of Georgia Press, 1969.

HOLBEN, B. N. **Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data.** International Journal of Remote Sensing., v. 7, p. 1417- 1434, 1986.

HUANG, C.et al. **Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance.** International Journal Of Remote Sensing., v. 23, p.1741-1748, 2002.

HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W. **Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: II Carbonates.** Modern Geology., v. 2, p. 23–30, 1971.

INCERTI, G.et al. **Analysis of bioclimatic time series and their neural network-based classification to characterize drought risk patterns in south Italy.** Int. J. Biometeorol., v. 51, p. 253–263, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia.** 2ª Edição, Rio de Janeiro, 2007.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ- IPECE. **Perfil Básico Municipal – Irauçuba.** Secretaria do Planejamento e Coordenação. Fortaleza- CE. 2011.

- IPCC. Climate Change 2007 — **The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC**. 4. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007.
- IRONS, JR. et al. **The next Landsat satellite: The Landsat data continuity mission**. *Remote Sensing of Environment.*, v. 122, p.11–21, 2012.
- JANIK, LJ. et al. **Can mid infrared diffuse reflectance analysis replace soil extractions?**. *Australian Journal Of Experimental Agriculture.*, v. 38, p.681-696, 1998.
- JENSEN, J.R. **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective**. Hall., Disponível em : < <http://rangeview.arizona.edu/science-behind-droughtview/> > . Acesso em 21 de Julho de 2016.
- JUSTICE, CO. et al. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. **International Journal of Remote Sensing.**, v. 6, p. 1271-1318, 1985.
- KAHLE, AB. et al. **Thermal emission spectroscopy: application to Earth and Mars**. In: **PIETERS CM & ENGLERT PAJ (Eds.)**. Remote geochemical analysis: Elemental and mineralogical composition. *Topics in Remote Sensing* 4, p. 99–120. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1993.
- KASSAS, M. **Rescuing drylands: a project of the world**. *Futures.*, v. 31, p. 949–958, 1999.
- KAUTH, R. J.; THOMAS, G. S. **The tasseled cap – a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen in Landsat**. In: *Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data*. West Lafayette. Proceedings. West Lafayette, Indiana, p. 41 – 51, 1976.
- KAZMIERCZAK, M. **Uso de Dados AVHRR/NOAA GAC para Análise da Sazonalidade da Caatinga**. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, Fortaleza, CE, 1996.
- KIAGE, L.M. **Perspectives on the assumed causes of land degradation in the rangelands of Sub-Saharan Africa**. *Prog. Phys. Geogr.*, v. 37, p. 664–684, 2013.
- KNIPLING, E.B. **Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near – infrared radiation from vegetation**. *Remote Sensing of Environment.*, v. 1, p. 155-9, 1970.

KOSMAS, C. et al. **Environmentally sensitive areas and indicators of desertification.** In: Kepner, W., Rubio, J., Mouat, D., Pedrazzini, F. (Eds.), *Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue* Springer., p. 525–547, Netherlands, 2006.

KOTODA, K. **Estimation of River Basin Evapotranspiration.** *Environmental Research Center Papers.*, v. 8, 1986.

KOUTSIAS, N. et al. **Burned land mapping at local scale.** In: Chuvieco, E. (Ed.), *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin.*, p. 157 - 187, 1999.

KOUTSIAS, N. et al. **A forward/backward principal component analysis of Landsat-7 ETM+ data to enhance the spectral signal of burnt surfaces.** *Isprs Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing.*, v. 64, p.37- 46, 2009.

KUMAR, R. **Radiation from plants- reflection and emission: a review.** Lafayette, Indiana: School of aeronautics, Astronautics and Engineering Sciences., Purdue Research Foundation, p. 45, Projection, 5543, 1972.

LAL, R.; STEWART, B.A. **Soil Degradation.** Springer Verlag., New York, 1990.

LAMCHIN, M. et al. **Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia.** *Advances In Space Research.*, v. 57, p.64-77, 2016.

LANDIM, RB. et al. **Desertificação em Irauçuba (CE): Investigação de Possíveis Causas Climáticas e Antrópicas.** *Revista Brasileira de Geografia Física.*, v.01, p . 01-21, 2011.

LAVAUDEN, L. **Les forêts du Sahara.** *Revue des Eaux et Forêts.*, v. 7, p. 329 – 41, 1927.

LI, S.G. **Grassland desertification by grazing and the resulting micrometeorological changes in Inner Mongolia.** *Agricultural And Forest Meteorology.*, v. 102, p.125-137, 2000.

LIU, F. **Albedo indicating land degradation around the Badain Jaran Desert for better land resources. utilization.** *Science Of The Total Environment.*, v. 578, p.67-73, 2017.

LIU, Q. et al. **A tasseled cap transformation for Landsat 8 OLI TOA reflectance images.** *Ieee Geoscience And Remote Sensing Symposium.*, p.541-544, 2014.

- LO, P.; YEUNG, K.W. **Concepts and Techniques of Geographic Information Systems**. Series in Geographic Information Science., 2nd Edition ph, Prentice-Hall, 2008.
- LOARIE, SR. et al. **Direct impacts on local climate of sugar-cane expansion in Brazil**. *Natura Climate Change*., v. 1, p.105-109, 2011.
- LOBSER, S. E.; COHEN, W. B. “**MODIS Tasseled Cap: Land Cover Characteristics Expressed through Transformed MODIS Data.**” *International Journal of Remote Sensing*., v. 28, p. 5079–5101, 2007.
- LV, C., YU, B. **The Control Technique and Mode of Land Degradation in Qinghai-Tibet Plateau**. Science Press, 2011.
- MA, SJ.et al. **Eremology**. Inner Mongolia Peoples Press, Huhehaote (in Chinese), 1998.
- MA, Z.et al. **The Construction and Application of an Albedo-NDVI Based Desertification Monitoring Model**. *Procedia Environmental Sciences*., v.10, p.2029 – 2035, 2011.
- MACHADO, CC.et al. **Análise espacial e temporal do IVAS e do albedo da superfície no município de São José do Sabugi – PB**. *Geografia*., v. 36, p. 359-369, 2011.
- MADEIRA NETTO, J.S. **Spectral reflectance properties of soil**. *Photo Interpretation*., v. 34, p.59-70, 1996.
- MARENGO, J.A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XX**. Brasília: MMA, 2006.
- MARZANO, R. et al. **Deadwood anisotropic facilitation on seedling establishment after a stand-replacing wildfire in Aosta Valley (NW Italy)**. *Ecol. Eng.*, v. 51, p.117–122,2013.
- MATALLO JUNIOR, H. **Indicadores de desertificação: histórico e perspectivas**.
- MATTHEWS, E. **Vegetation, Land-Use and Seasonal Albedo Data Sets**. In: *Global Change Data Base Africa Documentation, Appendix D*, NOAA/NGDC, 1984.

MELO, ET. et al. **Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE.** Revista RA'EGA., v. 23, p. 520 – 533, 2011.

MIAO, L.et al. **Footprint of research in desertification management in China.** Land Degrad., v. 26, p. 450–457, 2015.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystem and Human Well-being, Desertification Synthesis.** World Resource Institute., Washington D.C, 1995. **Restoring value to the world's degraded lands.** Science New Series., v. 269, p. 350–354, 2005.

MILLER, D.T. **Soils in Our Environment: Upper Saddle River.** Prentice Hall PTR, 10th ed. New Jersey, 2004.

MONTEITH, J. L.; UNSWORTH, M. H. **Principles of Environmental Physics.** Chapman and Hall Inc, New York, 1990.

MOREIRA, Maurício Alves. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação.** 4. ed. Viçosa: Ufv, 2012. 422 p.

MURDOCK, L.W.; FRYE, W.W. **Erosion: its effect on soil properties, productivity and profit.** In: Publication AGR-102. College of Agriculture, University of Kentucky, 1983.

MURRAY, I.; WILLIAMS, P.C. **Chemical principles of near- infrared technology.** In P. Williams and K. Norris (ed.) **Near-infrared technology in the agricultural and food industries.**, Am. Assoc. Cereal Chemists, St. Paul, MN, p. 17–34, 1988.

NAGLER, PL.et al. **Plant Litter and Soil Reflectance.** Remote Sensing of Environment., v. 2, p.207-215, New York, 2000.

NANNI, M. R.; DEMATTÊ, J.M. **Comportamento da linha do solo obtida por espectrorradiometria laboratorial para diferentes classes de solo.** Rev. Bras. Ciênc. Solo., v. 30, p.1031-1038, 2006.

NINOMIYA, Y.; FU, B.C. **Detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared “radiance-at-sensor” data.** Remote Sensing of Environment., v. 99, p.127–139, 2005.

OLIVEIRA, José Gerardo Beserra; SALES, Marta Celina Linhares. **Monitoramento da Desertificação em Irauçuba.** Imprensa Universitária, 2015, 372p.

OLIVEIRA, V.P.V.; SOUZA, M.J.N. **Solos Predominantes em Áreas de Experimentação (exclusão) do Núcleo de Desertificação de Irauçuba – CE.** Imprensa Universitária, 2015, 47p.

OTTERMAN, J. **Reflection from soil with sparse vegetation.** COSPAR XXIII Symposia. Pergamon Press, 1980.

PACHECO, A. et al. **DESERTIFICAÇÃO: CONTEXTUALIZAÇÃO E SENSORIAMENTO REMOTO.** Estudos Geológicos., Recife, v. 24, p.109-126, 2014.

PAES, JB.et al. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL TANÍFERO DE SEIS ESPÉCIES FLORESTAIS DE OCORRÊNCIA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.** Cerne., v.12, p.232 – 238, 2006.

PICKUP, G.; CHEWINGS, V.H. **A grazing gradient approach to land degradation assessment in arid areas from remotely-sensed data.** International Journal of Remote Sensing., v. 15, p.597–617, 1994.

PONZONI, FJ.et al. **Sensoriamento remoto da vegetação.** 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 160 p.

PROY, C. D.; TANRO, P. Y. **Evaluation of topographic effects in remotely sensed data.** Remote Sensing of Environment., v. 30, p.21-32, 1989.

QI, J.et al. **Ranges improves satellite-based information and land cover assessments in southwest United States.** Eos., v. 83, p. 601-606, 2002.

QI, Y. et al. **Variabilidade temporal e espacial da desertificação em uma zona de transição agro-pastoral do norte da província de Shaanxi, China.** Catena., v. 88, p. 37- 45, 2012.

QIANG, Z.; RONGHUI, H. **Parameters of Land-Surface Processes for Gobi in North-West China.** Boundary-layer Meteorology., v. 110, p.471-478, 2004.

RAY, N.C. **The Nature and Properties of Soils:** Upper Saddle River. Prentice Hall, New Jersey, 2001.

RICHARDS, J.A. **Thematic mapping from multitemporal image data using the principal components transformation.** Remote Sensing Of Environment., v. 16, p.35-46, 1984.

ROBINOVE, C.J. et al. **Arid Land Monitoring Using Landsat Albedo Difference Images**. Remote Sensing of Environment., v. 11, p. 133-156, 1981.

RODRIGUES, V. **Avaliação do quadro da desertificação no nordeste do Brasil: diagnóstico e perspectivas**. Brasília: IPEA, 1995. p.42.

ROUSE, J.W. et al. **Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Greenwave Effect) of Natural Vegetation**. NASA/GSFC Type III Final Report, Greenbelt, MD, p. 371, 1974.

ROY, D.P. et al. **Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research**. Remote Sensing of Environment., v. 145, p.154–172, 2014.

SALISBURY, J.W. et al. **Infrared (2.1-25 micrometers) Spectra of Minerals**. USA: Johns Hopkins University Press, 1991, 294 p.

SALVATI, L.; BAJOCOCO, S. **Land sensitivity to desertification across Italy: past present, and future**. Appl. Geogr.,v. 31, p.223–231, 2011.

SANDHOLT, I. et al. **A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status**. Remote Sensing Of Environment., v. 79, p.213-224, 2002.

SANTOS, E.G. et al. **Análise de parâmetros ambientais no núcleo de desertificação de irauçuba - CE usando imagens de satélite**. Revista Brasileira de Geografia Física., v. 7, p. 915-926, 2014.

SELLERS, P.J. **Vegetation-canopy spectral reflectance and biophysical processes**. In: Asrar, G. (Ed.). Theory and Applications of Optical Remote Sensing., p. 297–33, 1989.

SERBIN, G. et al. **Effect of soil spectral properties on remote sensing of crop residue cover**. Soil Sci. Soc. Am. J., v. 73, p. 1545 – 1558, 2009.

SILVA, A.M. **Caracterização espectral das folhas úmidas e secas, da cana de açúcar, com ênfase nos componentes lignina, celulose e hemicelulose**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas, Campinas, 2012.

SILVA, B. **Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental., Campina Grande, v. 20, p.3-8, 2016.

SILVA, BB.et al. **Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental., v. 20, p.3-8, 2016.

SILVA, RM.et al. **Evaluation and modeling of runoff and sediment yield for different land covers under simulated rain in a semiarid region of Brazil.** International Journal Of Sediment Research., p.1-23, 2017.

SMILEY, T. L.; ZUMBERGE, J. H. **Polar deserts.** Science., v. 174, p. 79–80, 1971.

SOARES, AM. et al. **Áreas degradadas susceptíveis aos processos de desertificação no estado do Ceará – Brasil.** In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE IMPACTOS DE VARIAÇÕES CLIMÁTICAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL EM REGIÕES SEMI-ÁRIDAS – ICID, 1992, Fortaleza. Anais ... Fortaleza: ICID, 1992. p.1-24.

SOBRINHO, J.V. **Processos de desertificação ocorrentes no Nordeste do Brasil: sua gênese e sua contenção.** Recife, SUDENE, 1983. 101p.

SOUSA, FP. et al. **Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing desertification.** Agriculture, Ecosystems & Environment., v. 148, p.11-21, 2012.

SOUSA, S.B.; JÚNIOR, L.G.F. **Relação entre Temperatura de Superfície Terrestre, Índices Espectrais e Classes de Cobertura da Terra no Município de Goiânia (GO).** Raega – Espaço Geográfico em Análise., v.26, p.75 – 99, 2012.

SOUTO, J. P. **Deserto, uma ameaça? Estudos dos núcleos de desertificação na fronteira sudoeste do RS.** Porto Alegre: DRNR Diretoria Geral, Secretaria da Agricultura, 1984.

SOUZA, BI.et al. **Evolução da desertificação no Cariri paraibano a partir da análise das modificações na vegetação.** Rio Claro (SP): **Geografia.**, v. 36, p. 193-205, 2011.

SOUZA, SS. et al. **O Programa de Monitoramento Climático em Tempo Real na área de atuação da SUDENE – PROCLIMA.** Boletim da Revista Brasileira de Meteorologia., v.25, p.15-24, 2001.

SUERTEGARY, D.M. **Desertificação: Recuperação e Desenvolvimento Sustentável.** In: CUNHA, S.B. & GUERRA, AJ. T. Geomorfologia e Meio Ambient., RJ: Bertrand Brasil, 1996.

- SYMEONAKIS, E.; DRAKE, N. **Monitoring of Desertification and Land Degradation Along the sub-Saharan Int.** *J. REMOTE Sens.*, v. 25, p. 573 – 592, 2004.
- TASUMI, M. et al. **At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of land surface balance.** *Journal of Hydrologic Engineering*, v.13, p.51-63, 2008.
- TERRA, FS. et al. **Spectral libraries for quantitative analyses of tropical Brazilian soils: Comparing vis-NIR and mid-IR reflectance data.** *Geoderma*, v. 255-256, p.81-93, 2015.
- TERVONEN, T. et al. **A multi-criteria inference approach for anti-desertification management.** *Journal Of Environmental Management*, v. 162, p.9-19, 2015.
- THOMPSON, R.D. **The climatology of the arid world.** *Geography Papers*, v. 35, Univeristy of Reading, 1975.
- TUCKER, C. J.; GARRATT, M. W. **Leaf optical system modeled as a stochastic process.** *Applied Optics*, v. 16 , p.635 – 42, 1977.
- UNCCD. **Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação.** Tradução: Delegação de Portugal, Lisboa (PT): Instituto de Promoção Ambiental, 1995. 55p.
- UNCCD. **United Nations Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing SeRious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa**, p. 4, Paris, 1994. USGS. *United States Geological Survey. U.S. Department of the Interior*, 2013.
- VACCHIANO, G. et al. **Fire severity, residuals and soil legacies affect regeneration of Scots pine in the Southern Alps.** *Sci. Total Environ.*, v. 472, p. 778–788, 2014.
- VALLADARES, G. S.; FARIAS A. L. **SIG na análise do risco de salinização na bacia do Rio Coruripe, Alagoas.** *Engevista*, v. 06, p. 86-98, 2004.
- VASCONCELOS SOBRINHO, Joao. **Processos de desertificação no Nordeste do Brasil: sua gênese e sua contenção.** Recife: SUDENE, 1983.
- VICENTE, L.E.; SOUZA FILHO, C. R. **Deteção de Quartzo e Argilominerais para o monitoramento de degradação de terras a partir de dados do infravermelho termal do sensor Aster.** *Revista Brasileira de Geofísica*, p.229-247, 2010.
- VIEIRA, RMSP. et al. **Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast.** *Solid Earth*, v. 6, p. 347–360, 2015.

WILLIAMS, M. **Earth air, fire and water: distinguishing human impacts from natural desertification in SouthAustralia.** Trans. R. So. S. Aust., v.139, p. 9–18, 2015.

WULDER, MA.et al. **The global Landsat archive: Status, consolidation, and direction.** Remote Sensing of Environment., 2015.

XIAO, J. et al. **Development of topsoil grain size index for monitoring desertification in arid land using remote sensing.** Int J. Remote Sens., v. 27, p.2411–2422, 2006.

YOSHIOKA, HY. et al. **Derivation of Soil Line Influence on Two-Band Vegetation Indices and Vegetation Isolines.** Remote Sensing., v.1, p.842-857, 2009.

YOU, H. **Orienting rocky desertification towards sustainable land use: An advanced remote sensing tool to guide the conservation policy.** Land Use Policy., v. 61, p.171-184, 2017.

ZHAO, HL.et al. **Effects of desertification on soil organic C and N content in sandy farmland and grassland of Inner Mongolia.** Catena., v.77, p.187–191, 2009.

ZHENG, X.; ELTAHIR, E.A. **The response to deforestation and desertification in a model of West African monsoons.** Geophys., v. 24, p.155 - 158, 1997.

ZHU, Z. et al. **Desertification and its Rehabilitation in China.** China Science Press., Beijing, 1989.