

RELATÓRIO TÉCNICO

ENTREGA - PRODUTO 4

Termo de Referência PCT BRA/IICA/14/001

Contrato N.º 115023

SISTEMA DE ALERTA PRECOCE CONTRA A DESERTIFICAÇÃO - SAP

RELATÓRIO FINAL

INTEGRAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS (Temperatura da Superfície, Capacidade de Água Disponível no Solo, Pedologia, NDVI, EVI, Albedo, IAF) VISANDO A MELHOR COMPREENSÃO DO PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO

Novembro 2015

COORDENADORES: Francisco Campello Carneiro Barreto Campello (MMA)

Jean Pierre Henry Balbaud Ometto (INPE)

Marcos Oliveira Santana (MMA)

CONSULTOR: Alexandre Augusto Barbosa

SUMÁRIO

1. Introdução	1
2. Objetivo geral	2
3. Objetivos específicos – Produto 4	2
4. Área de Estudo	3
5. Integração das Variáveis	4
6. Análise das Variáveis	4
6.1. Áreas Susceptíveis à Desertificação	5
6.2. Variedade Climática	6
6.3. Caracterização e Seleção de Áreas para Análise Conforme a Susceptibilidade à Desertificação	8
6.4. Variáveis	9
6.4.1. Uso do Solo	9
6.4.2. Pedologia	10
6.4.3. Capacidade de Água Disponível no Solo	13
6.4.4. Temperatura da Superfície	16
6.4.5. Albedo	19
6.4.6. NDVI, EVI e IAF	21
7. Considerações Finais	28
8. Referências Bibliográficas	30

FIGURAS

Figura 1: Área de Estudo	3
Figura 2: Area de Estudo subdividida em espaço celular de 15 km	4
Figura 3: Areas ambientalmente susceptíveis a desertificação (A) 2000 e (B) 2010 e (C) mudança entre 2000 e 2010	5
Figura 4: a) Média anual de chuvas 1970–2012 - (b) Regiões das estações chuvosas (FMAM: Fevereiro a Maio; JFMA: Janeiro a Abril; DJFM: Dezembro a Março; NDJF: Novembro a Fevereiro; AMJJ: Abril a Julho).	7
Figura 5: Mapa da Seleção de Classes de Susceptibilidade à Desertificação	8
Figura 6: Classes de Susceptibilidade à Desertificação	8
Figura 7: Mapa de Uso do Solo 2000	9
Figura 8: Mapa de Uso do Solo 2010	9
Figura 9: Mapa da componente Pedologia	11
Figura 10: Média da capacidade de água disponível no solo, em porcentagem, para o período de 2000 a 2010	13
Figura 11: Mês com maior média de porcentagem da capacidade de água disponível no solo, referente ao período de 2000 a 2010	14
Figura 12: Média da Temperatura da Superfície para o período de 2000 a 2010, em graus celsius	17
Figura 13: Média do Albedo para o período de 2000 a 2010	19
Figura 14: Média do NDVI para o período de 2000 a 2010	22
Figura 15: Média do EVI para o período de 2000 a 2010	23
Figura 16: Média do IAF para o período de 2000 a 2010	24

TABELAS

Tabela 1: Calculo de área (km²) para as classes de susceptibilidade mapeadas para os anos de 2000 e de 2010	6
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------

GRÁFICOS

Gráfico 1: Análise da composição das classes de uso do solo 2010 presentes nas classes de susceptibilidade à desertificação	10
Gráfico 2: Análise da composição das classes de pedologia presentes nas classes de susceptibilidade à desertificação	12
Gráfico 3: Análise das médias anuais da porcentagem da capacidade de água disponível no solo para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação	15
Gráfico 4: Análise temporal mensal das médias da porcentagem da capacidade de água disponível no solo para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação	16
Gráfico 5: Análise temporal anual das médias da temperatura da superfície para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação	18
Gráfico 6: Análise temporal mensal das médias de temperatura da superfície para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação	18
Gráfico 7: Análise temporal anual das médias de albedo para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação	20
Gráfico 8: Análise temporal mensal das médias de albedo para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação	20
Gráfico 9: Análise temporal anual das médias de NDVI para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação	25
Gráfico 10: Análise temporal mensal das médias de NDVI para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação	25
Gráfico 11: Análise temporal anual das médias de EVI para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação	26
Gráfico 12: Análise temporal mensal das médias de EVI para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação	26
Gráfico 13: Análise temporal anual das médias de IAF para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação	27
Gráfico 14: Análise temporal mensal das médias de IAF para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação	27
Gráfico 15: Valor médio das médias mensais dos valores de IAF para os meses de maio a agosto para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação	29
Gráfico 16: Valor médio das médias anuais dos valores de capacidade de água disponível no solo, para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação	29

1. INTRODUÇÃO

O Projeto de Cooperação Técnica BRA/IICA/14/001, cuja execução nacional está a cargo da Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável do Ministério do Meio Ambiente – SEDR/MMA por meio do Departamento de Combate à Desertificação – DCD/SEDR/MMA, tem por objetivo definir estratégias para o planejamento e implementação de ações de prevenção, controle e combate à desertificação face aos cenários de mudanças climáticas e à Estratégia Decenal da Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD)”. Para isto espera fortalecer os processos de formulação e de implementação de estratégias de combate à desertificação de modo a consolidar a Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca e a garantir uma maior interação do MMA com o conjunto dos atores sociais e institucionais assegurando que os resultados a que se propõe alcançar cheguem efetivamente aos beneficiários.

Dentre as linhas definidas pelo Projeto destaca-se a que visa “Integrar, fortalecer e difundir as boas práticas de prevenção e combate à desertificação” (Objetivo Imediato 3) e cujas ações estão voltadas para implementação de estratégias de intervenção articuladas com estruturas e experiências postas de modo a criar situações de referência para o combate à desertificação tendo como base critérios de sustentabilidade ambiental. Um dos resultados propostos para este objetivo é apoiar boas práticas e processos de formação de produtores para que essas práticas possam gerar situações de referências e escala estruturante.

Considerando a transversalidade do tema desertificação e atendendo aos princípios da UNCCD e recomendação do PAN Brasil, o PCT BRA/IICA/14/001 ocorre de forma integrada e articulada com os mais diversos atores sociais afetos à questão. Pretende-se canalizar esforços para fortalecer e ampliar parcerias com instituições públicas federais, estaduais e municipais, de organismos de cooperação internacional e da sociedade civil para a construção conjunta de soluções eficazes e sustentáveis no âmbito da proposta de prevenção, controle e combate à desertificação.

Nesse sentido, o MMA tem estabelecido parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para coordenar a implantação de um sistema de

alerta precoce contra a desertificação de importante área do território brasileiro. Tal sistema contempla o cruzamento de dados ambientais e socioeconômicos, que servirão de subsídios para o monitoramento de precursores do processo de desertificação e para orientar ações de mitigação. A proposta de trabalho apresentada visa à concepção de uma plataforma que sirva como base para integração dos resultados do sistema de alertas mencionado, incluindo a validação e classificação de pontos amostrais integrando imagens em multi-escala e séries temporais que sirvam como fontes de informações para o desenvolvimento, implantação e operação do referido Sistema. A importância da execução do projeto proposto, objeto deste Termo de Referência, está relacionada à necessidade de gerar informações para a comunidade e subsídios aos tomadores de decisão que fazem parte do Programa Nacional de Combate à Desertificação. Esta ação é estratégica para o País, por contribuir com políticas adequadas à demanda por ações capazes de minimizar os efeitos desse fenômeno.

2. OBJETIVO GERAL

Coleta, integração e análise de dados ambientais das Áreas Suscetíveis à Desertificação-ASD provenientes de sensoriamento remoto a fim de qualificar o Sistema de Alerta Precoce Contra Desertificação (SAP).

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS – PRODUTO 4

Integração e cruzamento dos dados referentes à temperatura da superfície, capacidade de água disponível no solo, NDVI, EVI, albedo, IAF e pedologia, com informações de uso e cobertura da terra para melhor compreensão do processo de desertificação.

4. ÁREA DE ESTUDO

A região está localizada no semiárido brasileiro, e inclui os estados do Maranhão, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Bahia, Sergipe, Piauí e o norte do Espírito Santo e de Minas Gerais (Figura 1).

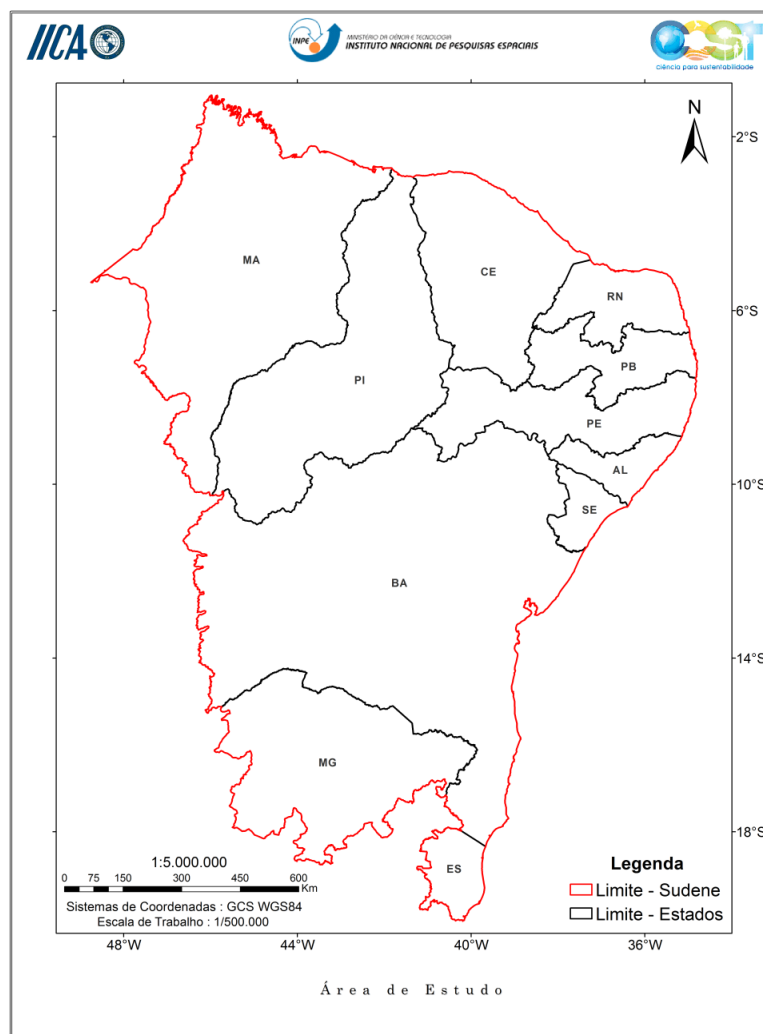


Figura 1 - Área de Estudo

5. INTEGRAÇÃO DAS VARIÁVEIS

A partir do banco de dados original contendo os shapefiles e arquivos raster no formato geotif de todas as variáveis ambientais mencionadas acima, os dados foram padronizados e compatibilizados através de reamostragem espacial para 15 km. Os valores de cada variável foram armazenados em um arquivo shapefile compatibilizado com uma grade celular de 15 km, e através das informações presentes na tabela de atributos foi possível realizar o cruzamento das informações. A Figura 2 ilustra a área de estudo subdividida em uma grade de espaço celular de 15 km.

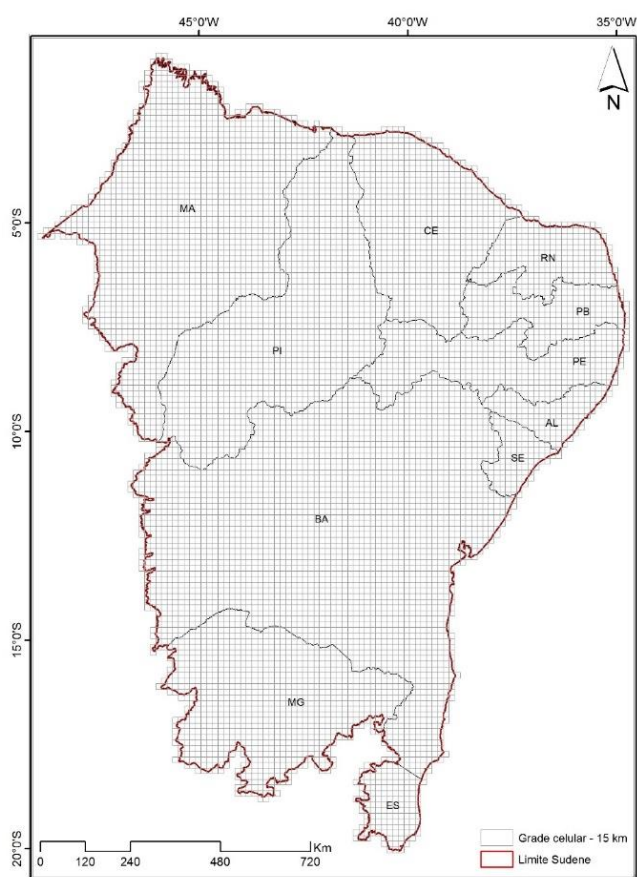


Figura 2 - Área de Estudo subdividida em espaço celular de 15 km

6. ANÁLISE DAS VARIÁVEIS

Conceber e compreender o contexto das áreas susceptíveis à desertificação ante à conjunção do cenário climático complexo que engloba a área de estudo, é um fator prévio fundamental para auferirmos as análises das variáveis ambientais coletadas.

6.1 ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À DESERTIFICAÇÃO

VIEIRA, R. M. S. P., (2015) realizou um estudo onde desenvolveu uma metodologia capaz de identificar áreas com maior potencial a desenvolver o processo de degradação/desertificação.

Segunda a autora *“A desertificação é um fenômeno que resulta da combinação de fatores naturais, principalmente das secas; e de fatores antrópicos, como sobre pastoreio, desmatamento e remoção da cobertura vegetal, juntamente com as atividades agrícolas que ocorrem acima da capacidade de suporte do ambiente”*.

[...] *“Os resultados indicaram que, 94% do semiárido brasileiro está sob moderada a alta susceptibilidade à desertificação. As áreas identificadas com alta susceptibilidade à degradação/desertificação do solo aumentaram aproximadamente 4,6% (83,4 km²) entre 2000 e 2010.”*

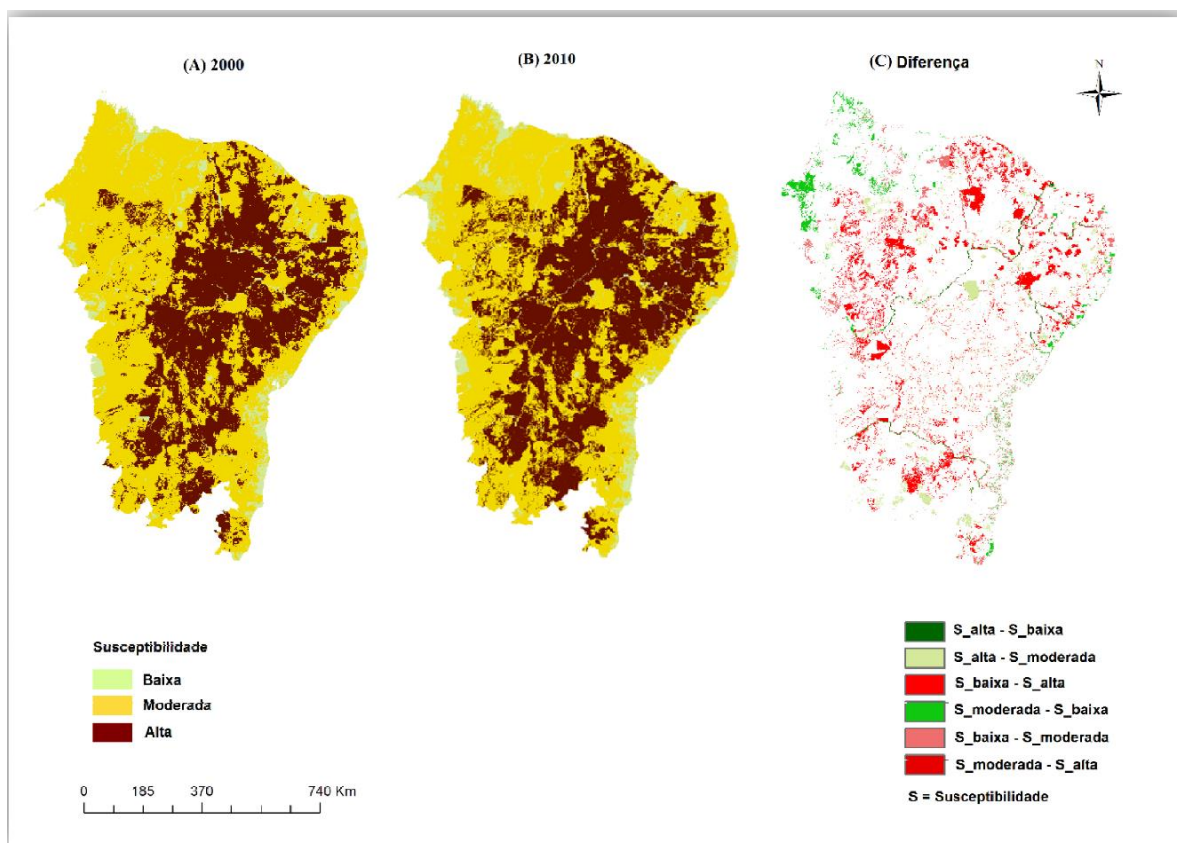


Figura 3 – Áreas ambientalmente susceptíveis a desertificação (A) 2000 e (B) 2010 e (C) mudança entre 2000 e 2010. Fonte: (VIEIRA, R. M. S. P., 2015)

“As Áreas da região com alta susceptibilidade em 2000 representavam um total de 35% (629.103 km²), enquanto em 2010 esse número aumentou para 40% (711.235 km²). Na Figura 3 referente às mudanças entre os períodos analisados, é possível observar que as áreas com alta susceptibilidade estão concentradas na região do sul do Piauí, no Ceará e norte de Minas Gerais. As áreas moderadamente susceptíveis diminuíram aproximadamente 5% enquanto a área de baixa susceptibilidade aumentou de 5,5% (2000) para 6% (2010) ” (VIEIRA, 2015)

Tabela 1 - Cálculo de área (km²) para as classes de susceptibilidade mapeadas para os anos de 2000 e de 2010. Fonte: (VIEIRA, 2015)

Classe de Susceptibilidade	Ano 2000 (Km²)	Ano 2010 (Km²)	Diferença (anual) (Km²)	2000 (%)	2010 (%)	Diferença (%)
Baixa	98.267	103.813	5.546	5.5	5.8	0.3
Moderada	1.064.958	977.430	-87.528	59.4	54.5	-4.9
Alta	629.103	711.235	82.132	35.1	39.7	4.6

6.2 VARIEDADE CLIMÁTICA

Segundo Marengo (2008), *“O Nordeste brasileiro apresenta alta variedade climática, podendo-se observar desde o clima semiárido no interior com precipitação acumulado inferior a 500 mm/ano, até os climas chuvosos, observados principalmente na costa leste, com precipitação acumulada anual superior a 1.500 mm. A estação chuvosa principal (acima de 60% do total anual) no norte da Região ocorre de março a maio. A estação seca no semiárido ocorre entre agosto e outubro, numa faixa orientada no sentido noroeste/sudeste, desde o extremo oeste do Nordeste. A área mais afetada pela falta de chuvas é o chamado Polígono das Secas, uma área de mais de 1 milhão de km² onde vivem 27 milhões de pessoas, espalhados em oito estados nordestinos, com exceção do Estado do Maranhão, mais a porção norte de Minas Gerais.”*

Ainda em Marengo (2008), existem mais detalhes interessantes que caracterizam as condições climáticas da Região Nordeste:

“Visto que a precipitação na Região Nordeste apresenta uma grande variabilidade no tempo e espaço, a ocorrência de chuvas, por si só, não garante que as culturas de subsistência

serão bem-sucedidas. Uma seca intensa durante a quadra chuvosa ou uma precipitação intensa ou excessiva na mesma época podem ter impactos bastante negativos na economia regional e nacional, pois o governo federal tem que tomar ações para mitigar os danos e reduzir o prejuízo”.

[...] “De um modo geral, pode-se observar uma incidência de condições climáticas pouco propícias para agricultura na região do semiárido. Esta situação deve ser considerada “normal”, pois a ocorrência de chuvas irregulares é um fato frequente no semiárido. O Estado de Pernambuco, nesses últimos três anos foi um dos mais “castigados” pelas chuvas irregulares no período de 1998 até 2002, mais em geral todos os estados do Nordeste têm sido afetados em diferente grau.”

Recentemente Cunha et al. (2015) também relatou os impactos da seca na região semiárida do Nordeste do Brasil devido à precipitação irregular no espaço e no tempo. A Figura 4 demonstra a média anual de chuvas e as regiões delimitadas de acordo com as estações chuvosas anuais.

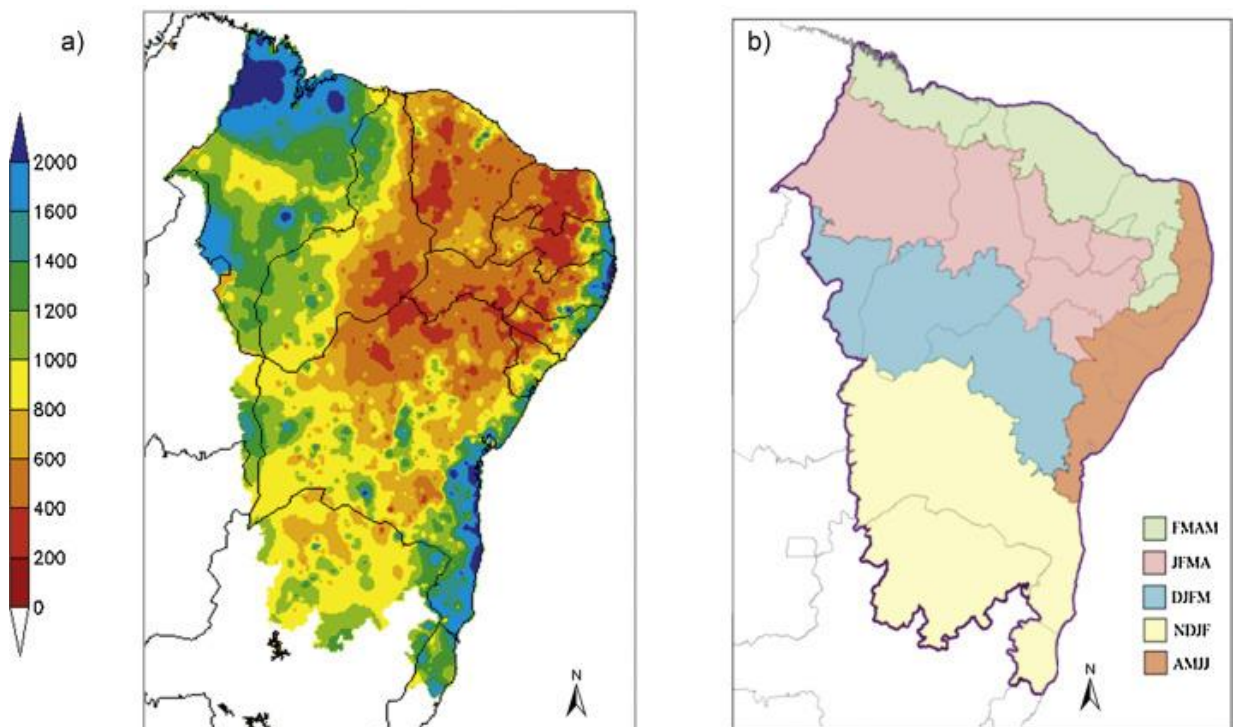


Figura 4 - a) Média anual de chuvas 1970–2012 - (b) Regiões das estações chuvosas (FMAM: Fevereiro a Maio; JFMA: Janeiro a Abril; DJFM: Dezembro a Março; NDJF: Novembro a Fevereiro; AMJJ: Abril a Julho). Fonte: Cunha et al. (2015)

6.3 CARCTERIZAÇÃO E SELEÇÃO DE ÁREAS PARA ANÁLISE, CONFORME A SUSCEPTIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO

Visando a compreensão do processo de desertificação na área de estudo foram selecionadas algumas áreas e classificadas de acordo com a susceptibilidade à desertificação, segundo VIEIRA, (2015), onde pretende-se analisar o comportamento das variáveis ambientais.

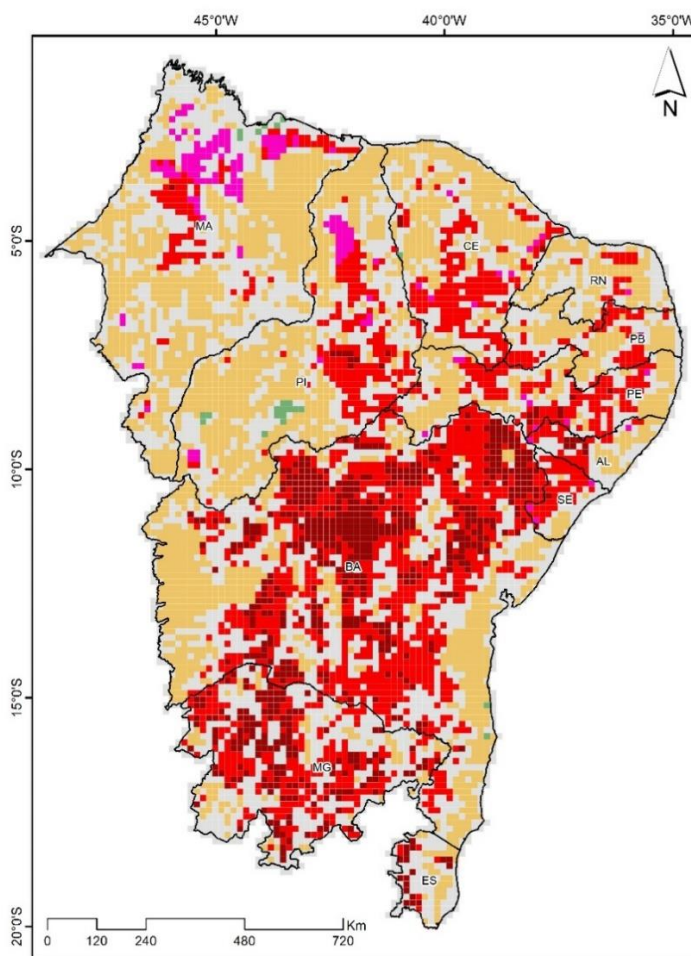


Figura 05 – Mapa da Seleção de Classes de Susceptibilidade à Desertificação

- A** Célula com 60% ou mais de área com Baixa Suscep. em 2010
- B** Célula com 60% ou mais de área com Média Suscep. em 2000, mantendo a mesma proporção em 2010
- C** Célula com 80% ou mais de área com Alta Suscep. em 2010
- D** Célula com 80% ou mais de área com Alta Suscep. em 2010 e com aumento de % em relação à 2000
- E** Célula com 80% ou mais de área com Baixa ou Média Suscep. em 2000, com alteração para 80% ou mais de área com Alta Suscep. em 2010

Figura 6 – Classes de Susceptibilidade à Desertificação

6.4 VARIÁVEIS

6.4.1 - Uso do Solo

Os mapas de Uso do Solo dos anos de 2000 e 2010, ilustrados nas Figuras 7 e 8 são provenientes do Projeto BRA/IICA/004/PAN DESERTIFICAÇÃO - MMA.

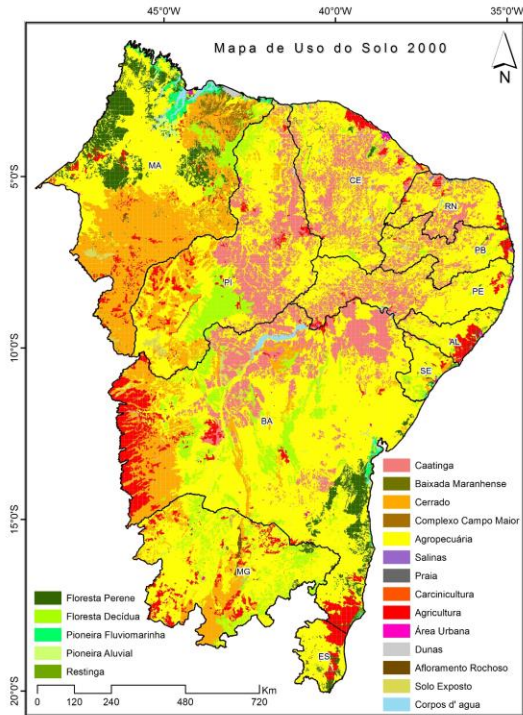


Figura 7 – Mapa de Uso do Solo 2000

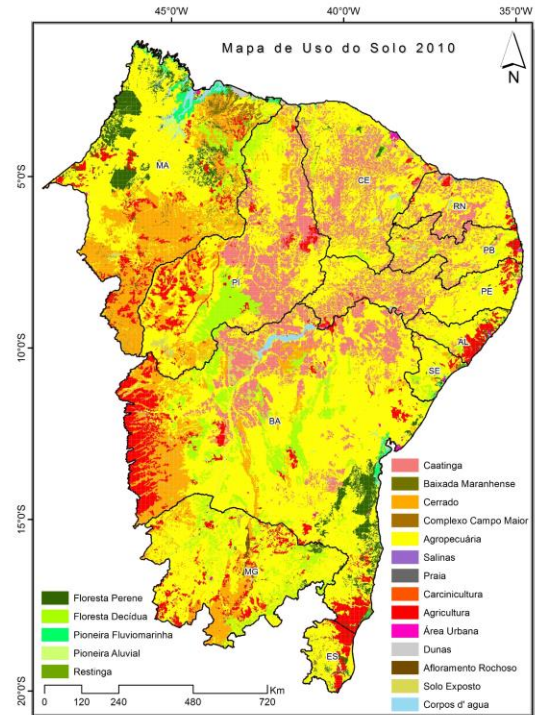


Figura 8 – Mapa de Uso do Solo 2010

Observa-se que não há grandes mudanças de 2000 para 2010, no entanto, analisando o Gráfico 1 é possível observar que:

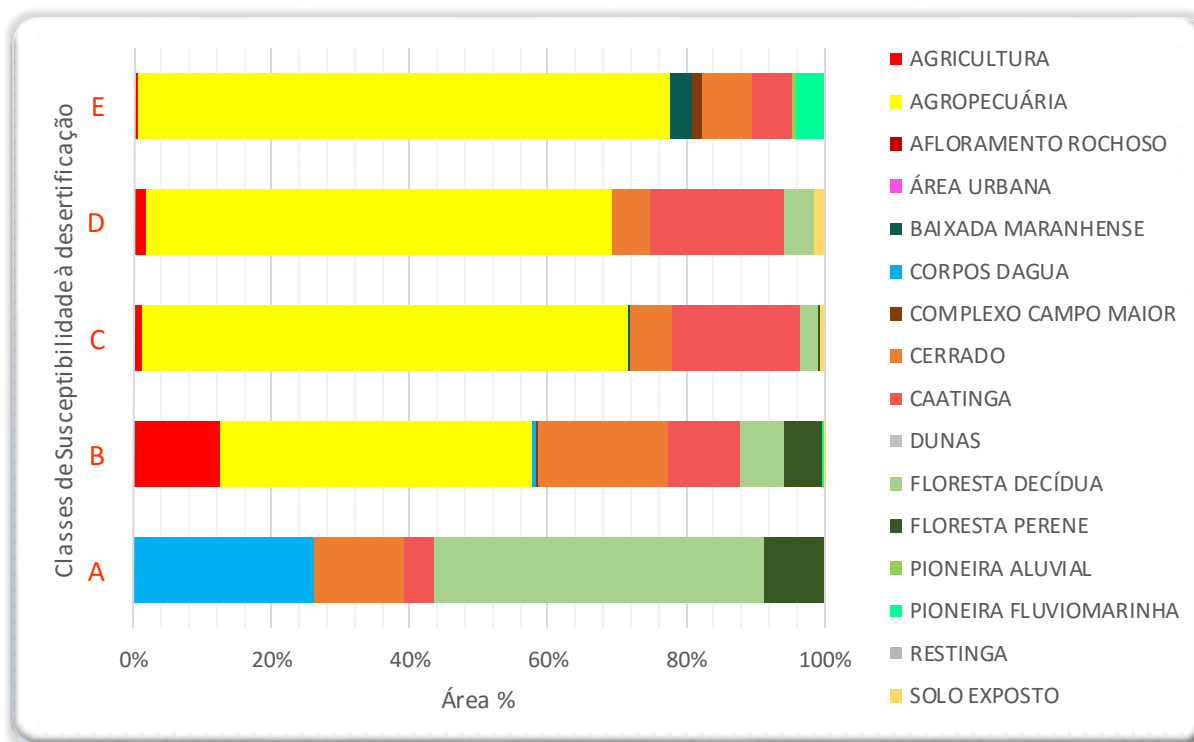
- A classe de susceptibilidade à desertificação (A) composta por células com 60% ou mais de área com Baixa Susceptibilidade em 2010 está presente sobre as classes de *floresta decídua*, *corpos d'água*, e em menor parte *floresta perene*, *cerrado* e *caatinga*.

- A classe de susceptibilidade à desertificação (B) composta por células com 60% ou mais de área com Média Susceptibilidade em 2000 e mantendo a mesma proporção em 2010 é composta em sua maioria pelas classes de *agropecuária*, *cerrado*, *agricultura* e *caatinga*, e em menor parte pelas classes de *florestas perenes* e *floresta decídua*.

- As classes (C, D e E), onde a susceptibilidade à desertificação contém células com 80% ou mais de área com Alta Susceptibilidade em 2010, destacam-se por conter uma alta porcentagem das classes de *agropecuária* e *caatinga* e menor presença das classes de *floresta perene*, *floresta decídua* e *cerrado*.

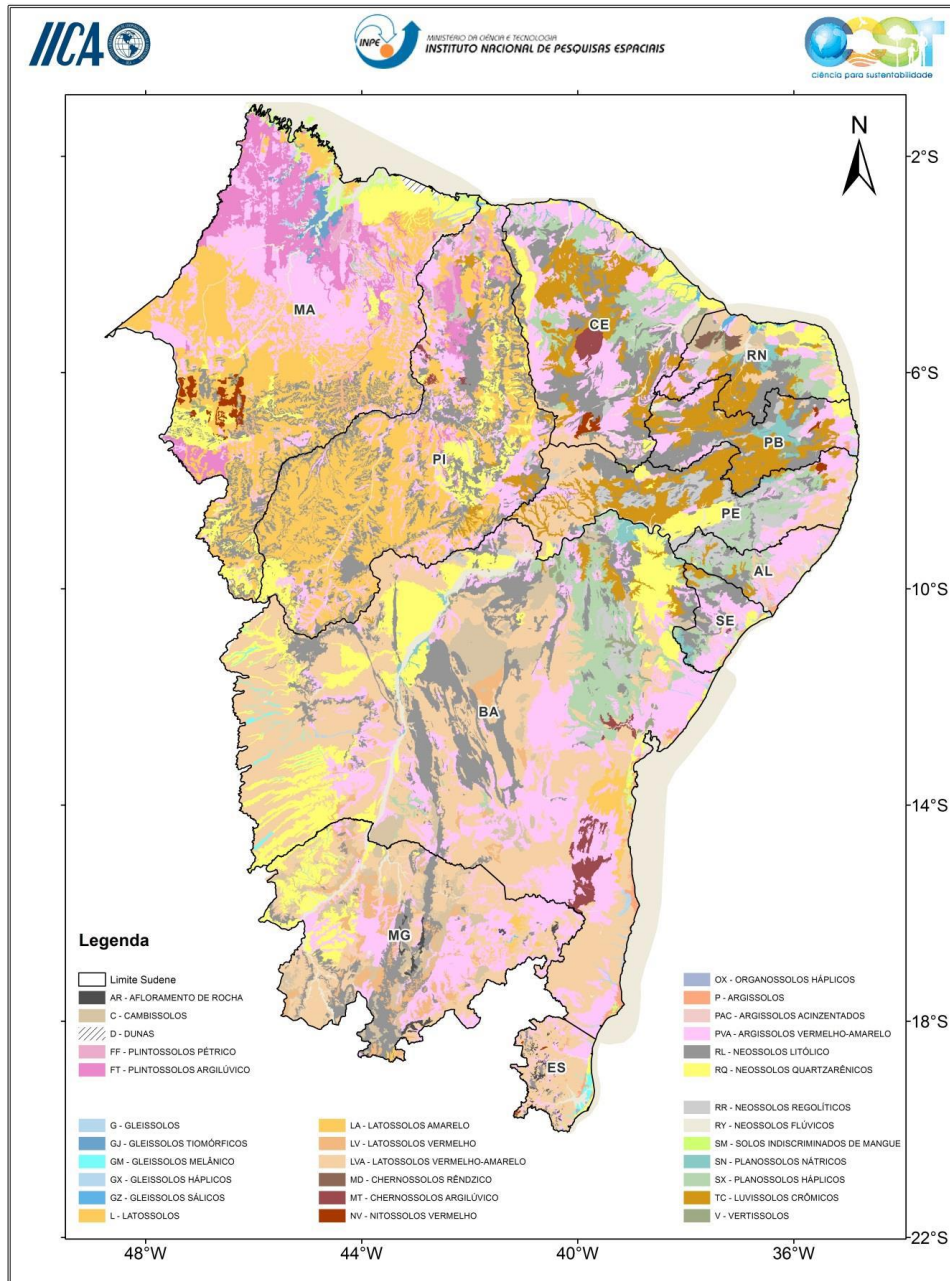
- Analisando as classes de susceptibilidade à desertificação (B) e (E), na classe (B) onde células com “60% ou mais de área com Média Susceptibilidade em 2000 e mantendo a mesma proporção em 2010”, contém grande porcentagem das classes *agropecuária* e *agricultura* sendo que a classe *agropecuária* teve sua participação destacada, o que nos leva a concluir que grande parte de locais com a classe agropecuária, que em 2000 tinha Média Susceptibilidade, em 2010 passaram a ter Alta Susceptibilidade.

Gráfico 1 - Análise da composição das classes de uso do solo 2010 presentes nas classes de susceptibilidade à desertificação.



6.4.2 - Pedologia

O mapa de pedologia utilizado nesta análise foi concebido no Produto III, Contrato N.º115023, Termo de Referência PCT BRA/IICA/14/001, onde a componente pedologia foi reclassificada para o Sistema Brasileiro de Classificação do Solos (SiBCS) 2006.



1:5.000.000
0 75 150 300 450 600 Km
Sistemas de Coordenadas : GCS WGS84
Escala de Trabalho : 1/500.000

Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

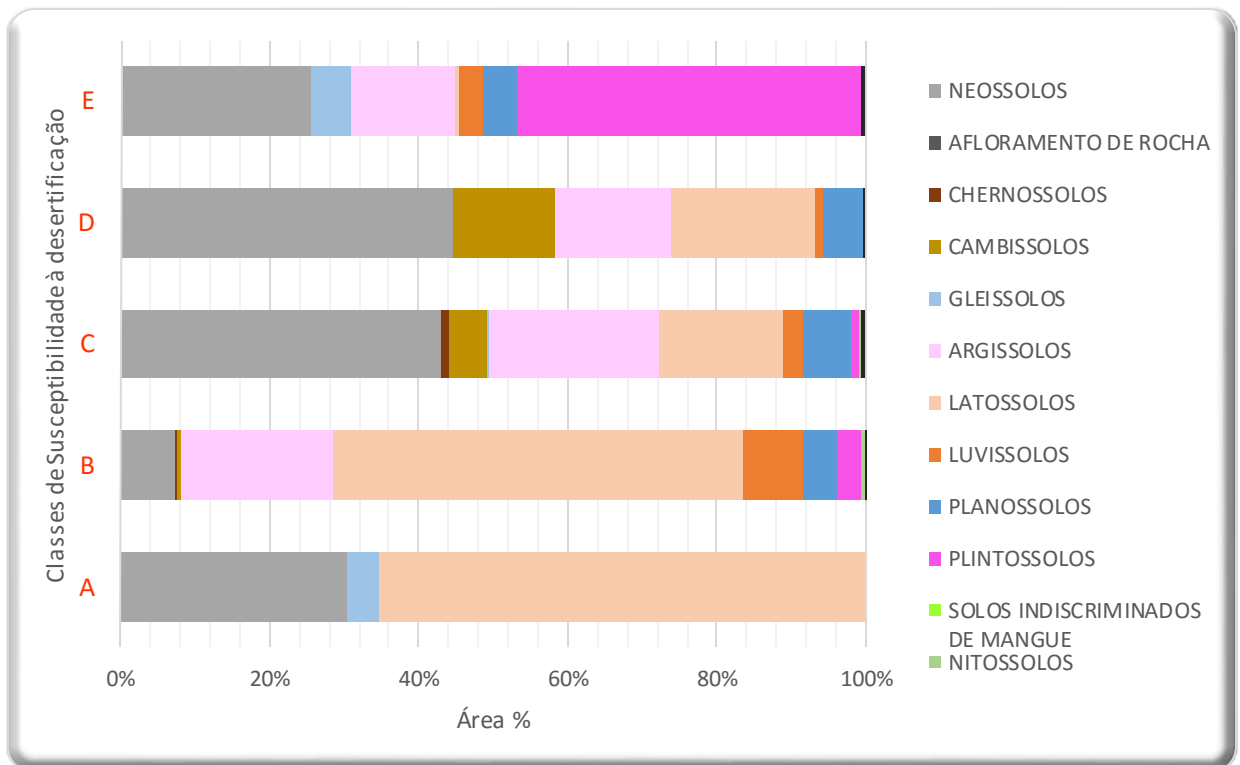
Figura 9 – Mapa da componente Pedologia

Analisando as classes de susceptibilidade à desertificação para a componente Pedologia pode-se observar que:

- A classe de susceptibilidade à desertificação (A) composta por células com 60% ou mais de área com Baixa Susceptibilidade em 2010 é composta em sua maioria pelas classes *Latossolos* e *Neossolos* e em menor porcentagem o *Gleissolo*.

- Comparando as classes de susceptibilidade à desertificação (B) e (E), na classe (B) onde células com “60% ou mais de área com Média Susceptibilidade em 2000 e mantendo a mesma proporção em 2010” contém uma grande porcentagem de *Latossolos*, e uma menor porcentagem de *Neossolos* e *Plintossolos*. Já na classe (E) onde contém “80% ou mais de área com Média Susceptibilidade em 2000 e 80% ou mais de área com Alta Susceptibilidade em 2010” pode-se observar uma porcentagem mínima de *Latossolos* e um destaque considerável de porcentagem das classes *Neossolos* e *Plintossolos*.

Gráfico 2 - Análise da composição das classes de pedologia presentes nas classes de susceptibilidade à desertificação.



6.4.3 - Capacidade de Água Disponível no Solo

A variável capacidade de água disponível no solo é composta por dados que foram fornecidos pelo programa PROCLIMA (Programa de Monitoramento Climático em Tempo Real da Região Nordeste) onde, “[...] usando funções de pedo-transferência, e a partir dos perfis de solo coletados pela Embrapa e o Projeto Radam Brasil, calculou-se a capacidade de água disponível. Isso permitiu estudar os intervalos de variação normalmente encontrados nos solos do NE [...]”.

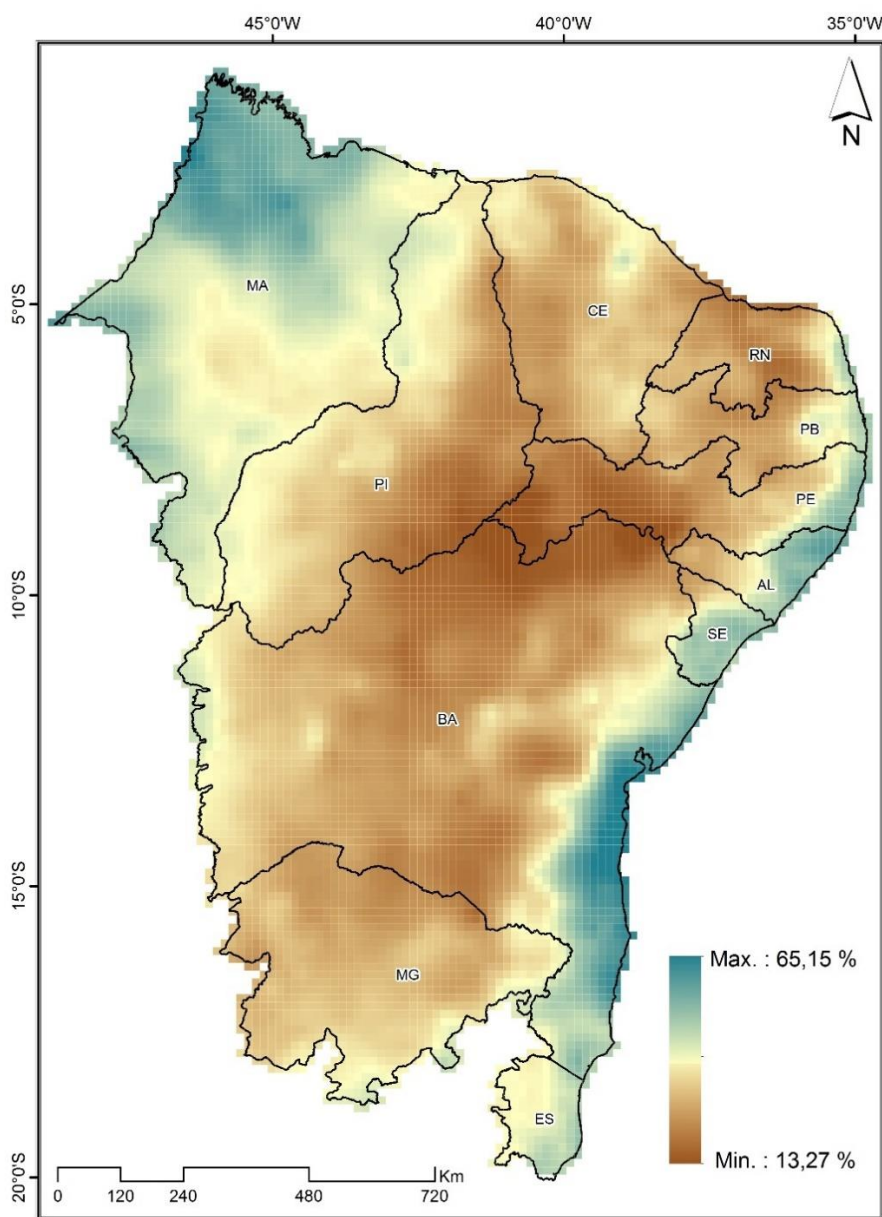


Figura 10 – Média da capacidade de água disponível no solo, para o período de 2000 a 2010, em porcentagem

Na figura abaixo podemos verificar o resultado de uma avaliação temporal onde foi realizada a análise da média mensal da porcentagem da capacidade de água disponível no solo para o período de 2000 a 2010. Em cada célula foi verificado qual o mês que obteve a maior média ao longo deste período.

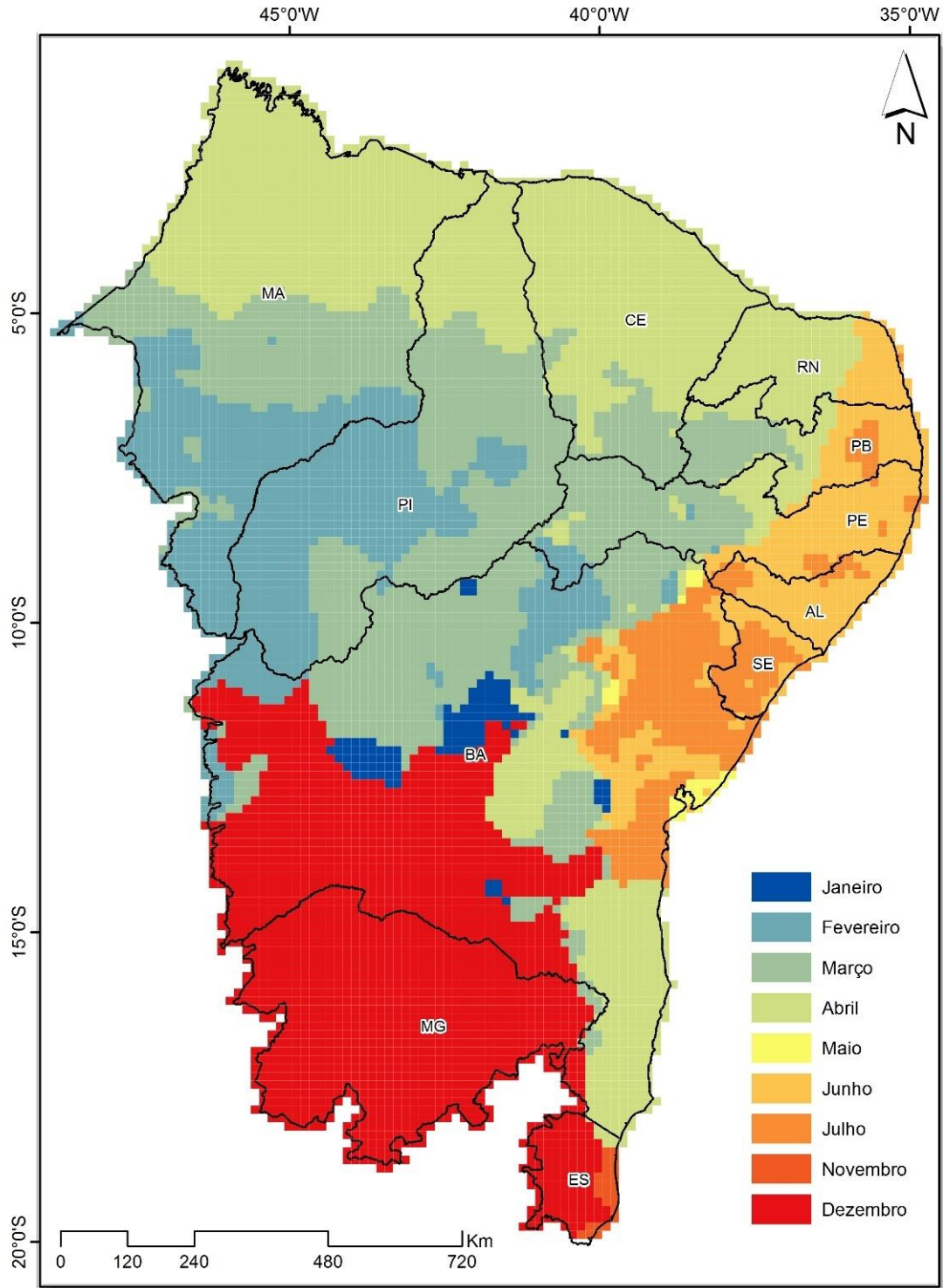
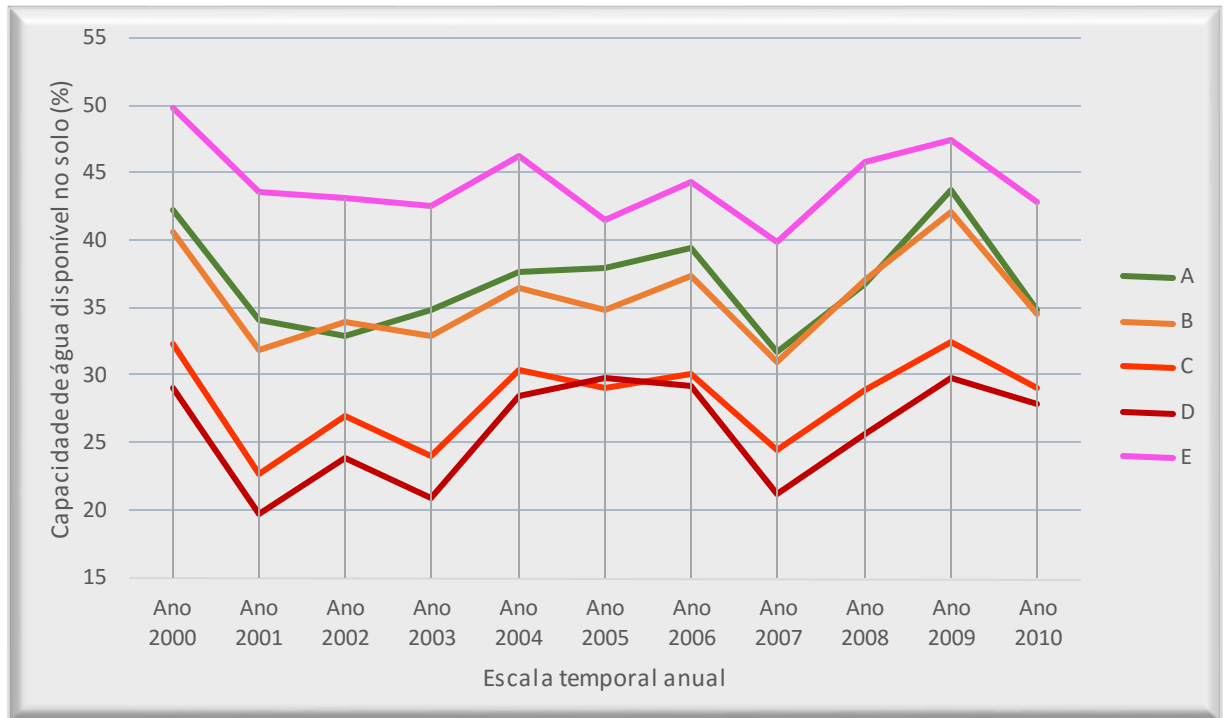


Figura 11 – Mês com maior média de porcentagem da capacidade de água disponível no solo, referente ao período de 2000 a 2010.

O Gráfico 3 apresenta os resultados da análise temporal das médias para o período estudado.

Gráfico 3 - Análise das médias anuais da porcentagem da capacidade de água disponível no solo para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação.



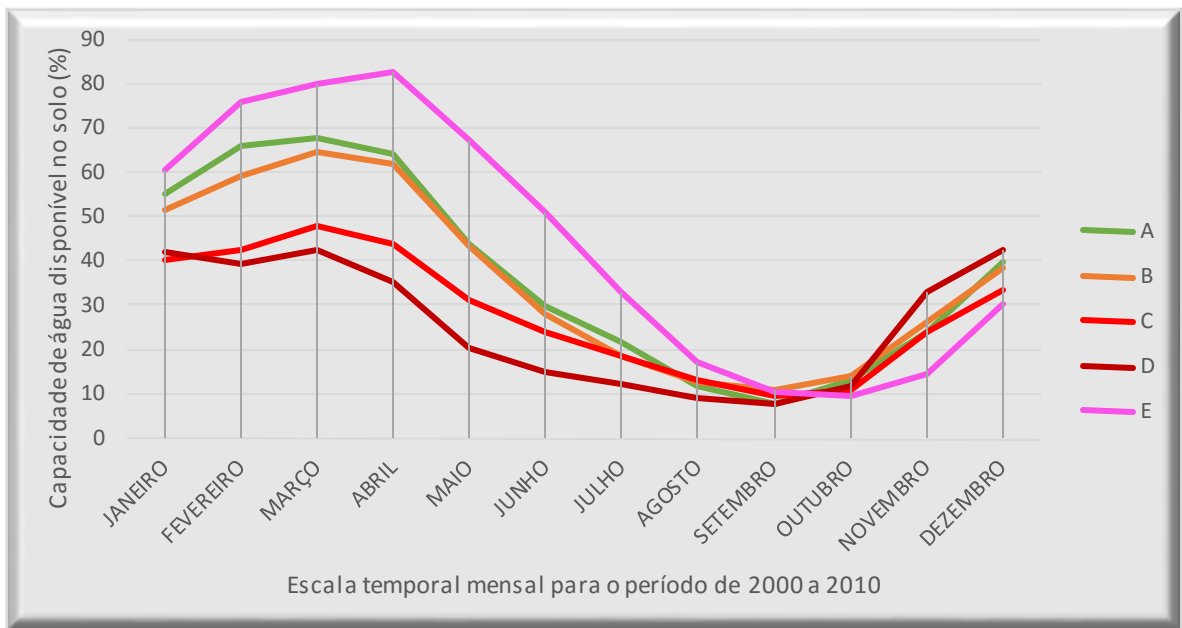
Pode-se observar que os locais onde a classe de susceptibilidade à desertificação (E) que contém “80% ou mais de área com Baixa ou Média Susceptibilidade em 2000 e 80% ou mais de área com Alta Susceptibilidade em 2010” se mantém na faixa de 40% a 50% de média anual de capacidade de água disponível no solo.

As classes (C e D) onde já tinham mais de 80% de sua área com Alta Susceptibilidade em 2000 e 80% ou mais de área com Alta Susceptibilidade em 2010, se mantiveram na faixa dos 20% a 32% de média anual de capacidade de água disponível no solo ao longo desses 11 anos.

Já as classes (A e B) que correspondem às células com Baixa e Média Susceptibilidade em 2000 e 2010 respectivamente, ficaram na faixa intermediária entre 30% a 43% de capacidade de água disponível no solo.

Ao realizar uma análise temporal mensal das médias para o período de 2000 a 2010, verifica-se uma diferença ainda mais acentuada nos meses de março, abril e maio, conforme pode ser observado no gráfico abaixo.

Gráfico 4 - Análise temporal mensal das médias da porcentagem da capacidade de água disponível no solo para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação.



6.4.4 - Temperatura da Superfície

Dentre os elementos físicos que respondem sensivelmente à relação estabelecida entre o meio biofísico e antrópico, está a temperatura da superfície, que é uma variável sensível às mudanças de uso e cobertura da Terra.

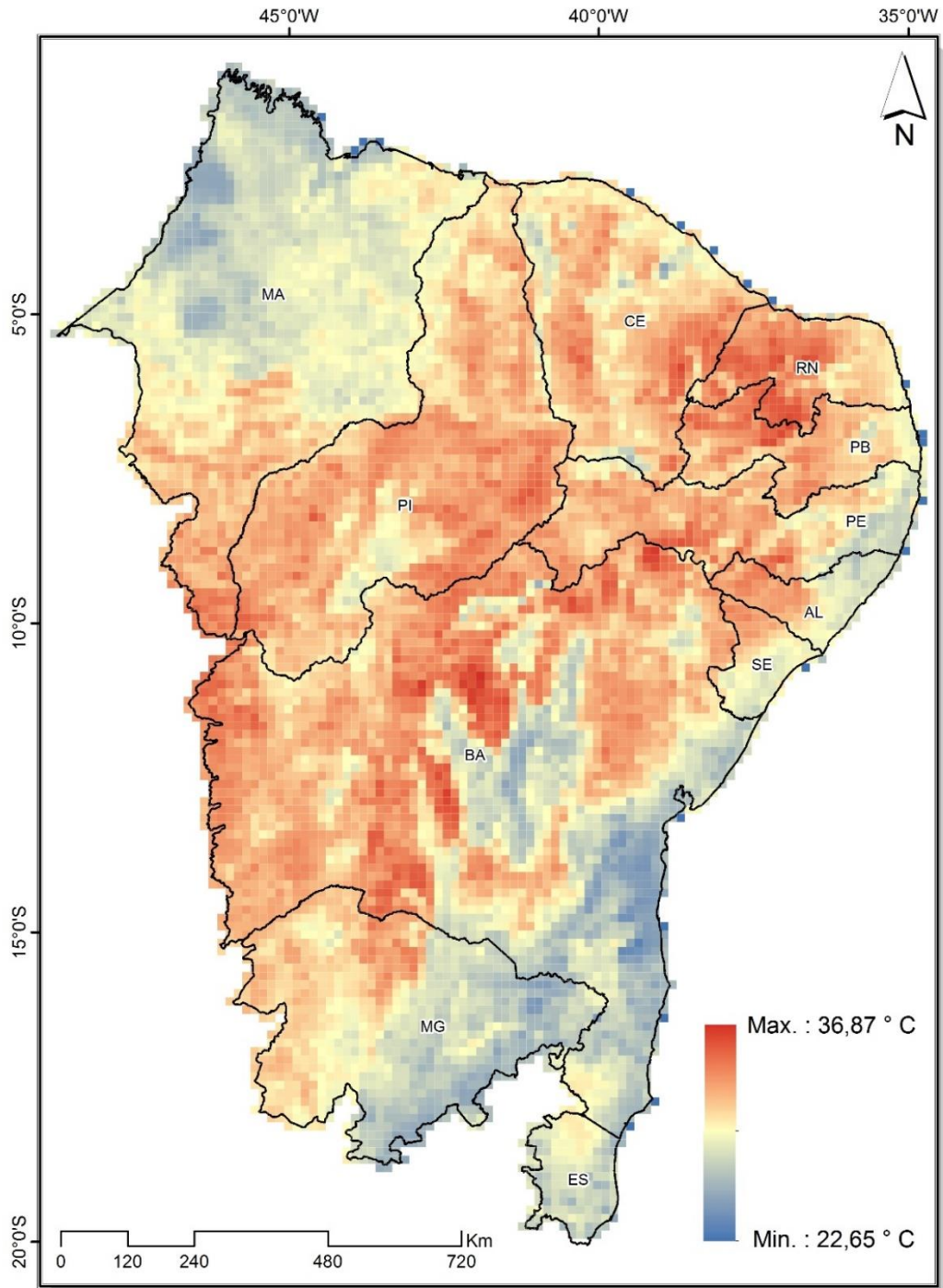


Figura 12 – Média da Temperatura da Superfície para o período de 2000 a 2010, em graus célsius

Pode-se observar nos gráficos referentes ao comportamento das classes de susceptibilidade à desertificação para a variável temperatura da superfície, as médias de escala mensal e anual, para o período de 2000 a 2010.

Gráfico 5 - Análise temporal anual das médias da temperatura da superfície para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação.

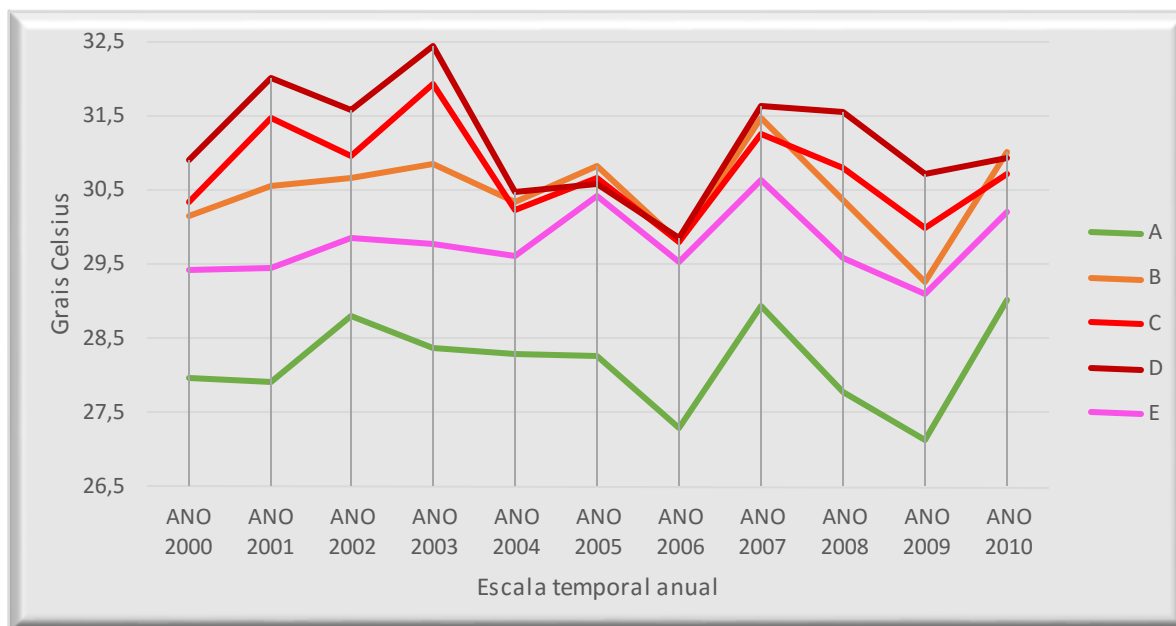
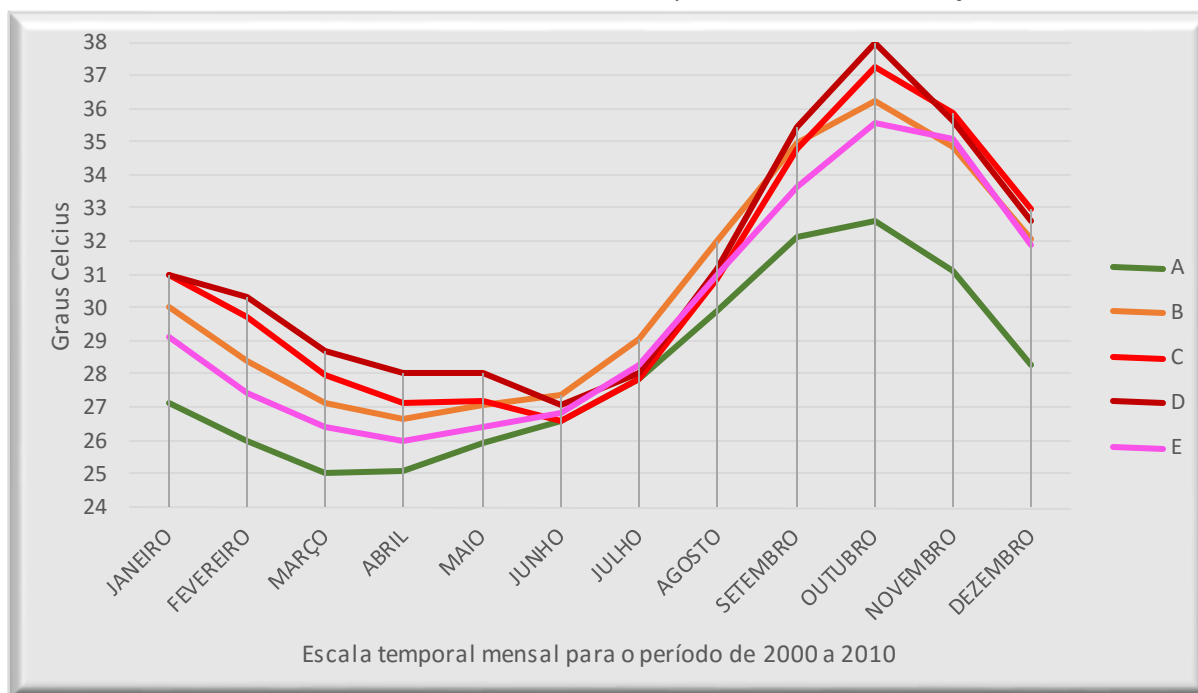


Gráfico 6 - Análise temporal mensal das médias de temperatura da superfície para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação.



No gráfico de escala temporal anual das médias pode-se observar que no período estudado a temperatura da superfície apresenta oscilações, mas no geral, a classe de susceptibilidade à desertificação (A) que contém células

com 60% ou mais de área com Baixa Susceptibilidade em 2010 fica na faixa entre 27,5 e 29 graus celsius.

Pode-se constatar também que, ao longo do período analisado (11 anos) o mês de outubro é o que demonstra maior amplitude de oscilação da temperatura da superfície.

6.4.5 - Albedo

O albedo da superfície é definido como a fração de energia incidente que é refletida pela superfície e que volta para a atmosfera. O dado de albedo pode ser usado no monitoramento de superfícies vegetadas, pois é bastante influenciado pelas propriedades ópticas da estrutura da vegetação, sendo um importante parâmetro na modelagem do clima da Terra.

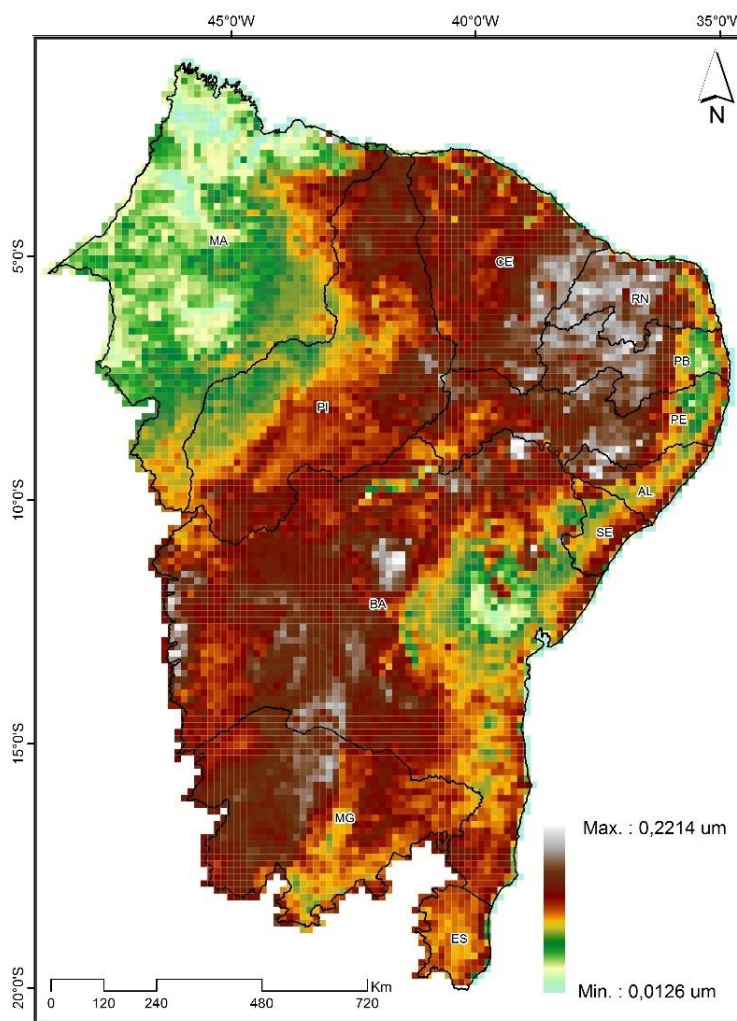


Figura 13 – Média do Albedo para o período de 2000 a 2010

Os gráficos abaixo, ilustram o comportamento das classes de susceptibilidade à desertificação para a variável albedo, médias de escala mensal e anual, para o período de 2000 a 2010.

Gráfico 7 - Análise temporal anual das médias de albedo para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação.

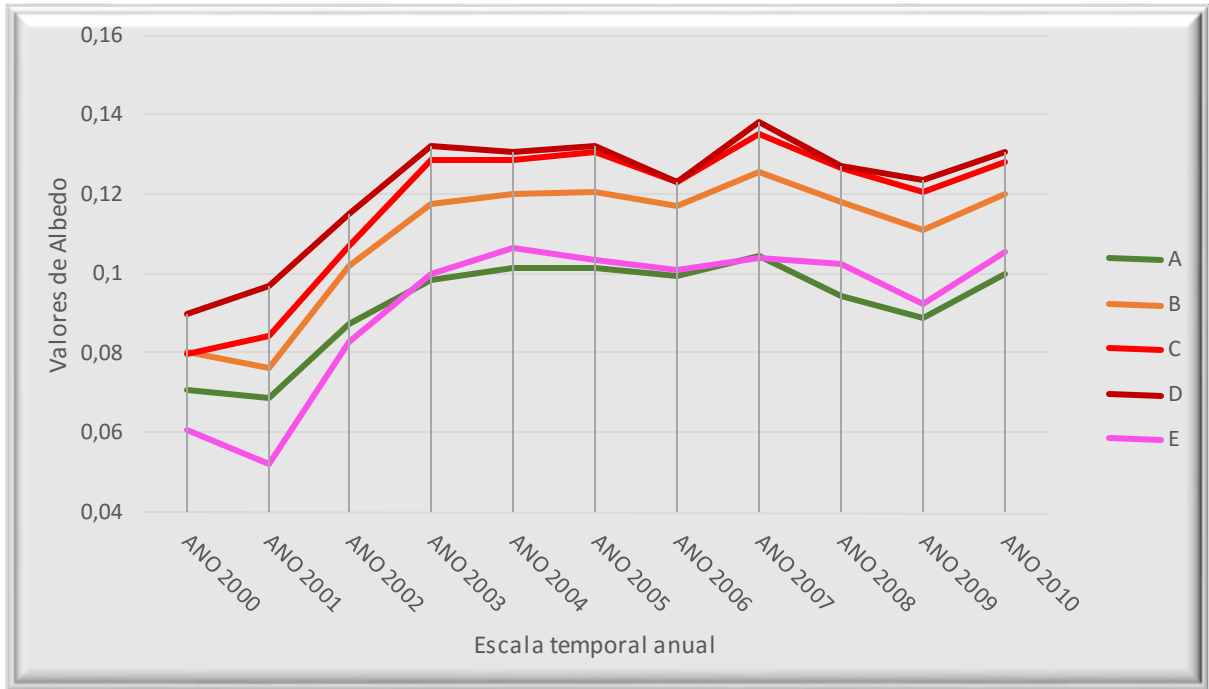
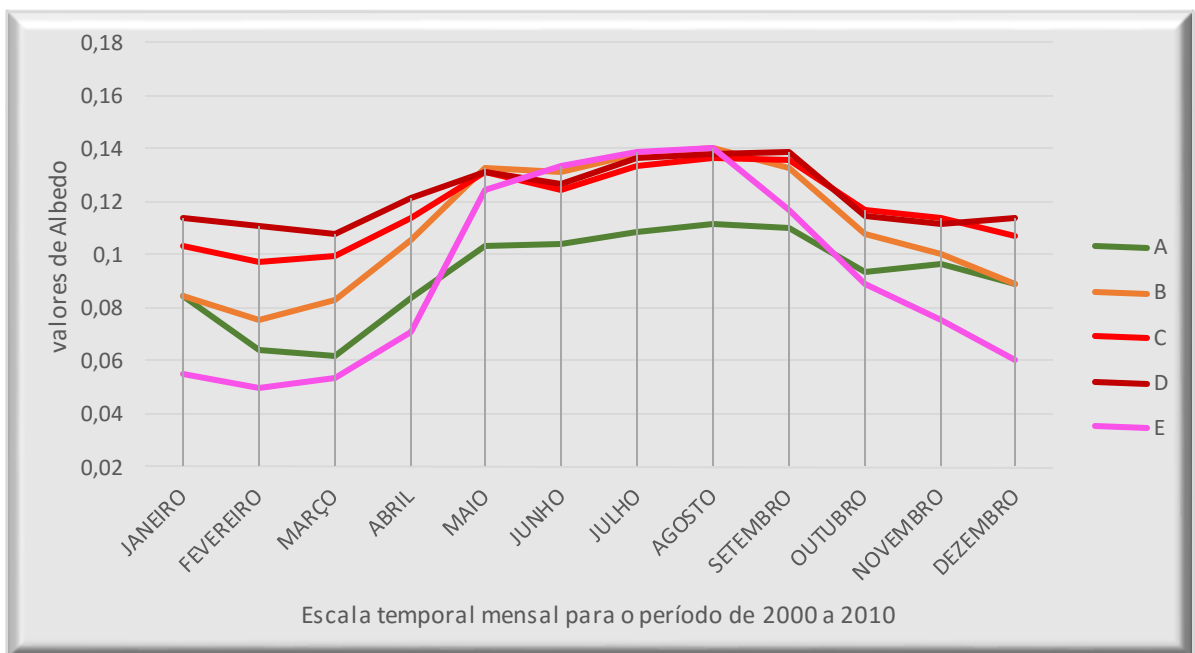


Gráfico 8 - Análise temporal mensal das médias de albedo para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação.



É possível constatar analisando os gráficos, que as classes (C e D) contendo mais de 80% de área com Alta Susceptibilidade em 2000 e 80% ou mais de área com Alta Susceptibilidade em 2010, são as classes que apresentam maiores valores médios anuais de albedo ao longo do período estudado.

Divergente, a classe (E) que contém “80% ou mais de área com Baixa ou Média Susceptibilidade em 2000 e 80% ou mais de área com Alta Susceptibilidade em 2010”, manteve em média **0,02 unidades** de albedo mais baixo em relação à classe (B) que contém células com “60% ou mais de área com Média Susceptibilidade em 2000 e mantendo a mesma proporção em 2010 ao longo do tempo. Pode-se também verificar que as células da classe (E) tendem a ter o valor de albedo mais baixo, diferente das células das classes (C e D) onde já continham 80% ou mais de área com Alta Susceptibilidade desde o ano 2000.

6.4.6 - NDVI, EVI e IAF

Os produtos NDVI, EVI e IAF, por se tratarem de índices de vegetação, podem ser analisados em conjunto.

O produto **NDVI** (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) é uma relação entre as reflectâncias (ρ) das bandas do infravermelho próximo (IVP) e do vermelho (V), e visa eliminar diferenças sazonais do ângulo de elevação solar e minimizar os efeitos da atenuação atmosférica em imagens multi-temporais. O NDVI é o índice mais utilizado nos diversos estudos, sobre a vegetação, que envolvem o uso dos dados de sensoriamento remoto (Moreira, 2005).

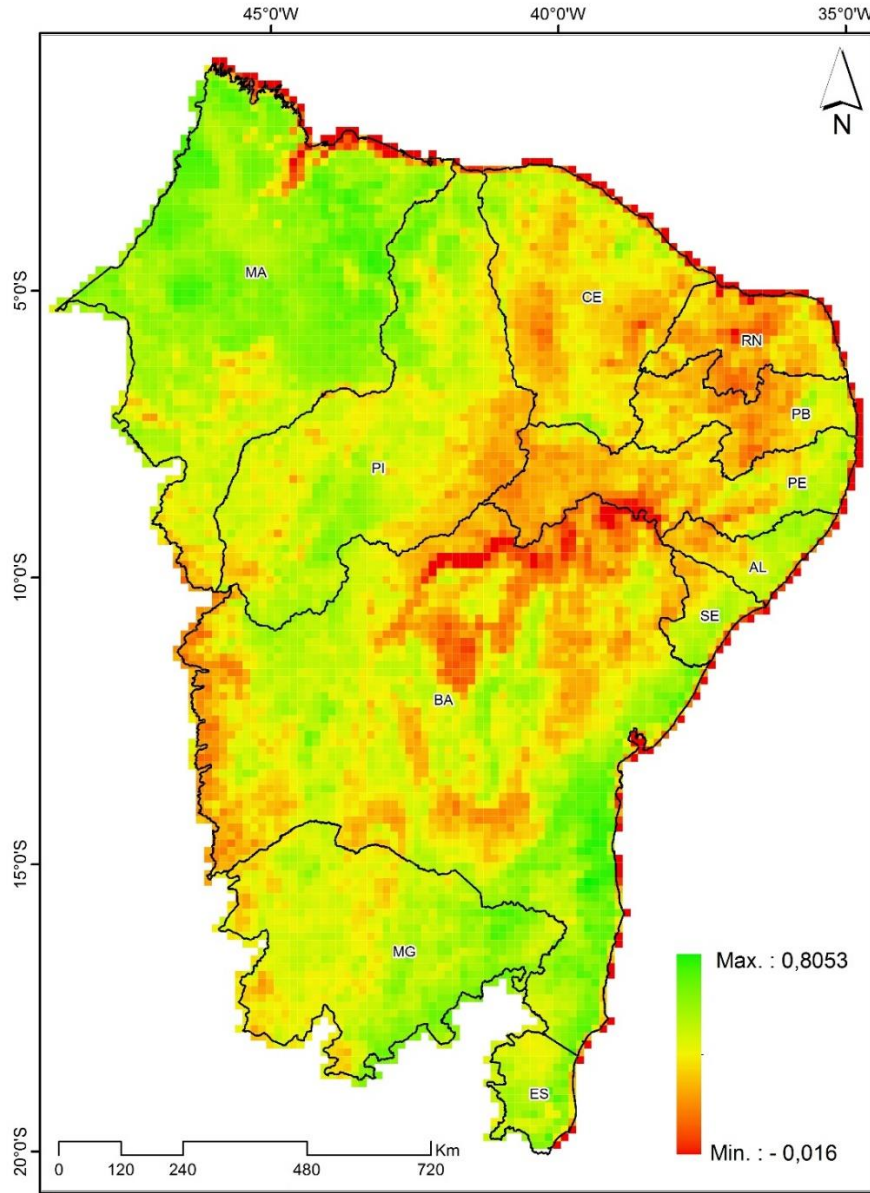


Figura 14 – Média do NDVI para o período de 2000 a 2010

Já o produto **EVI** (Índice de Vegetação Melhorado), foi desenvolvido para otimizar o sinal de resposta da vegetação, melhorando a sensibilidade em regiões com maiores densidades de biomassa, além de propiciar o monitoramento da vegetação através de uma ligação do sinal de fundo do dossel e a redução das influências atmosféricas (Justice et al., 1998).

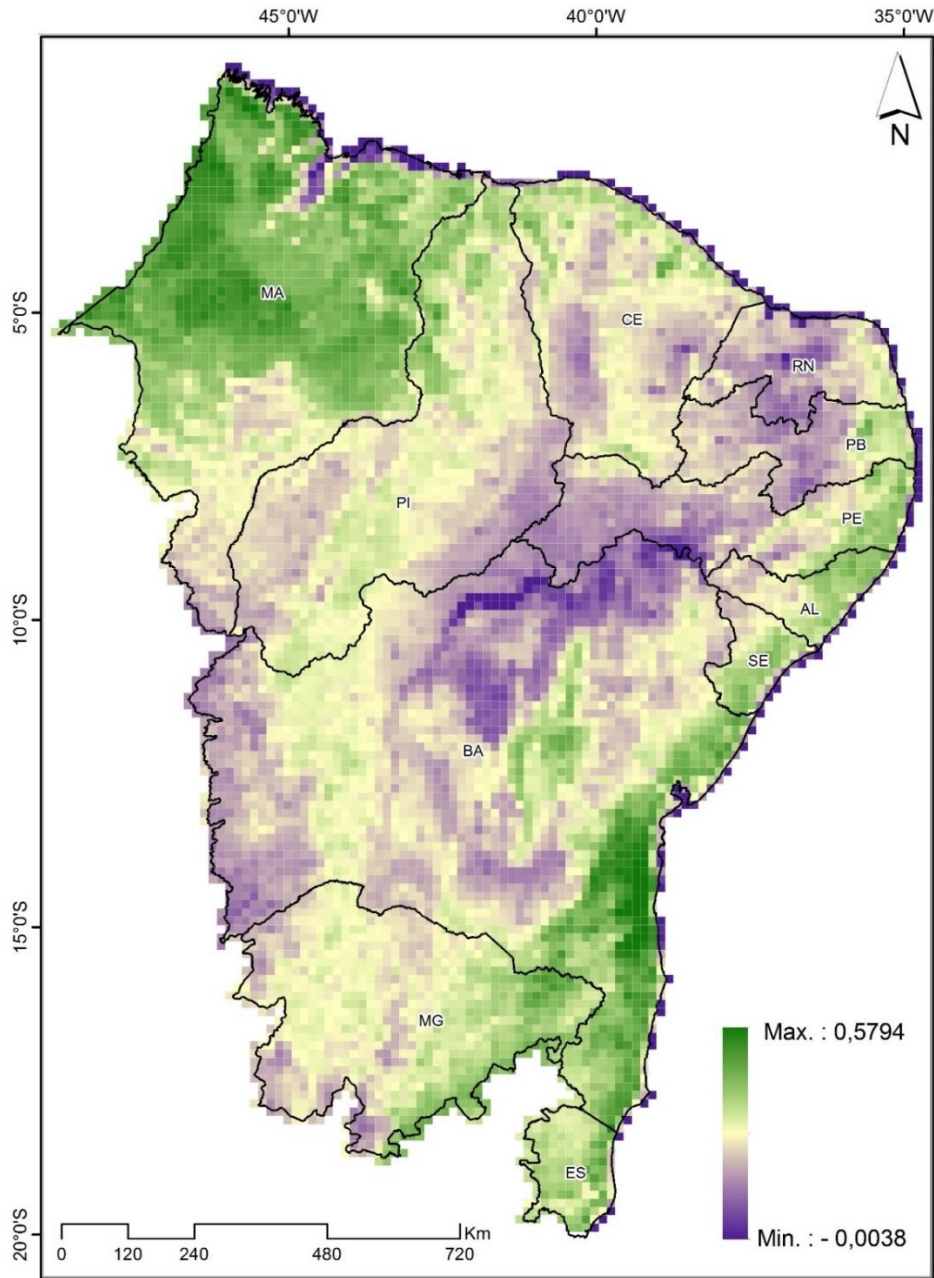


Figura 15 – Média do EVI para o período de 2000 a 2010

Por fim, o **IAF** (Índice de Área Foliar) representa uma importante propriedade estrutural do dossel da vegetação, medindo a área de folhas por unidade de área do terreno. É uma variável biofísica que descreve a estrutura do dossel e está relacionada a processos funcionais de taxas de energia e troca de massa. Para tanto, pode ser utilizada como parâmetros para o cálculo de fotossíntese, evapotranspiração e produtividade primária líquida em escala global e regional.

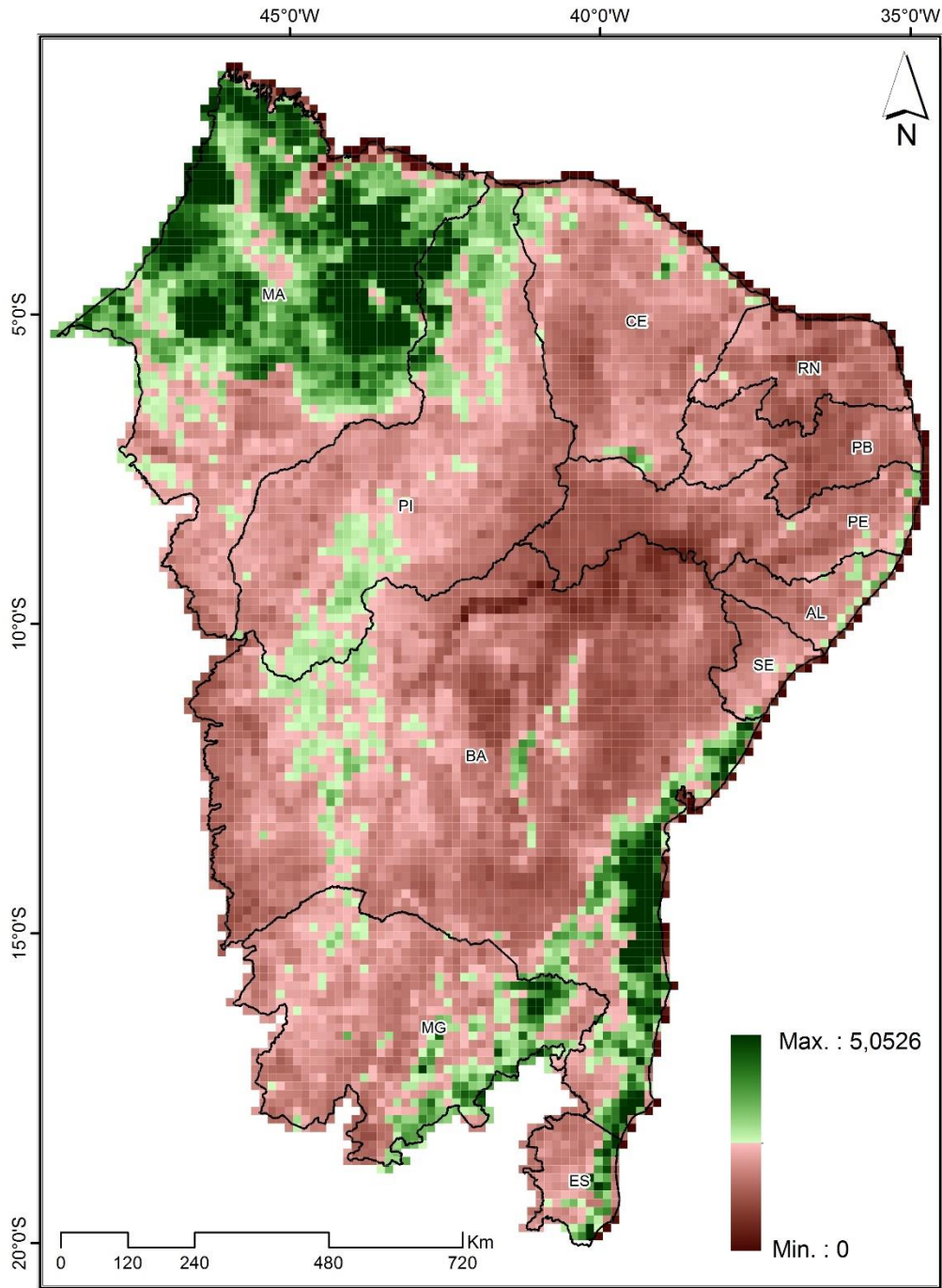


Figura 16 – Média do IAF para o período de 2000 a 2010

Os gráficos abaixo ilustram o comportamento das classes de susceptibilidade à desertificação para os valores médios das variáveis NDVI, EVI e IAF, em escalas mensal e anual, para o período de 2000 a 2010.

Gráfico 9 - Análise temporal anual das médias de **NDVI** para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação

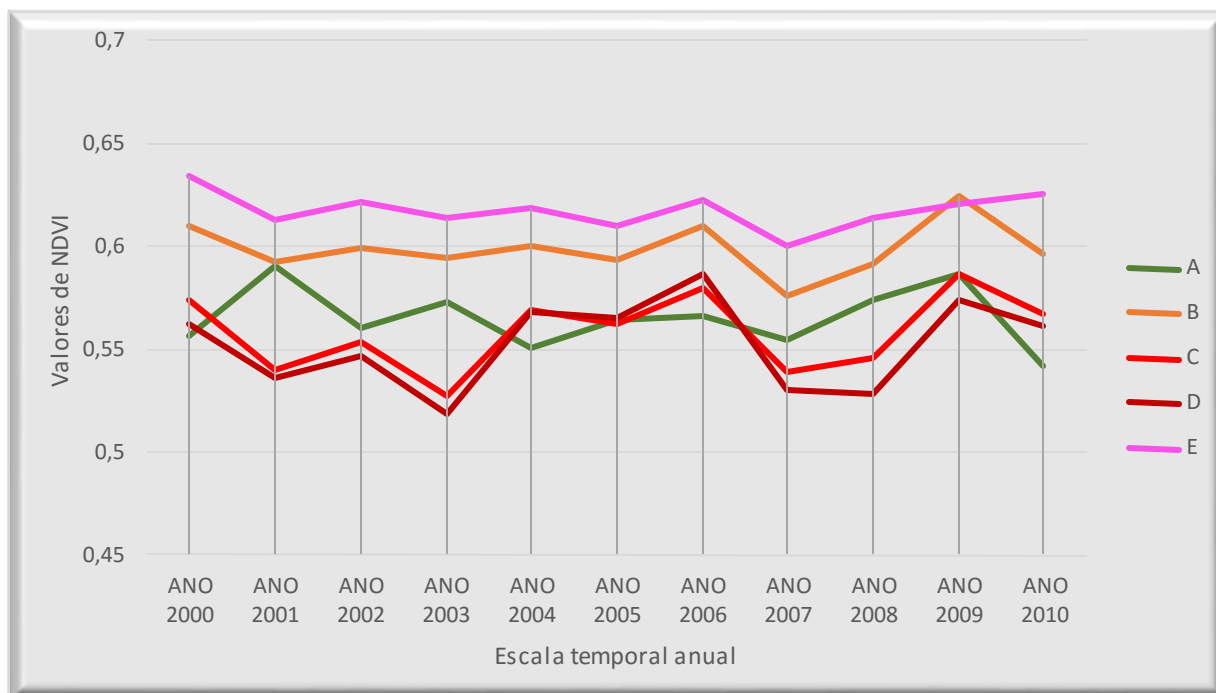


Gráfico 10 - Análise temporal mensal das médias de **NDVI** para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação.

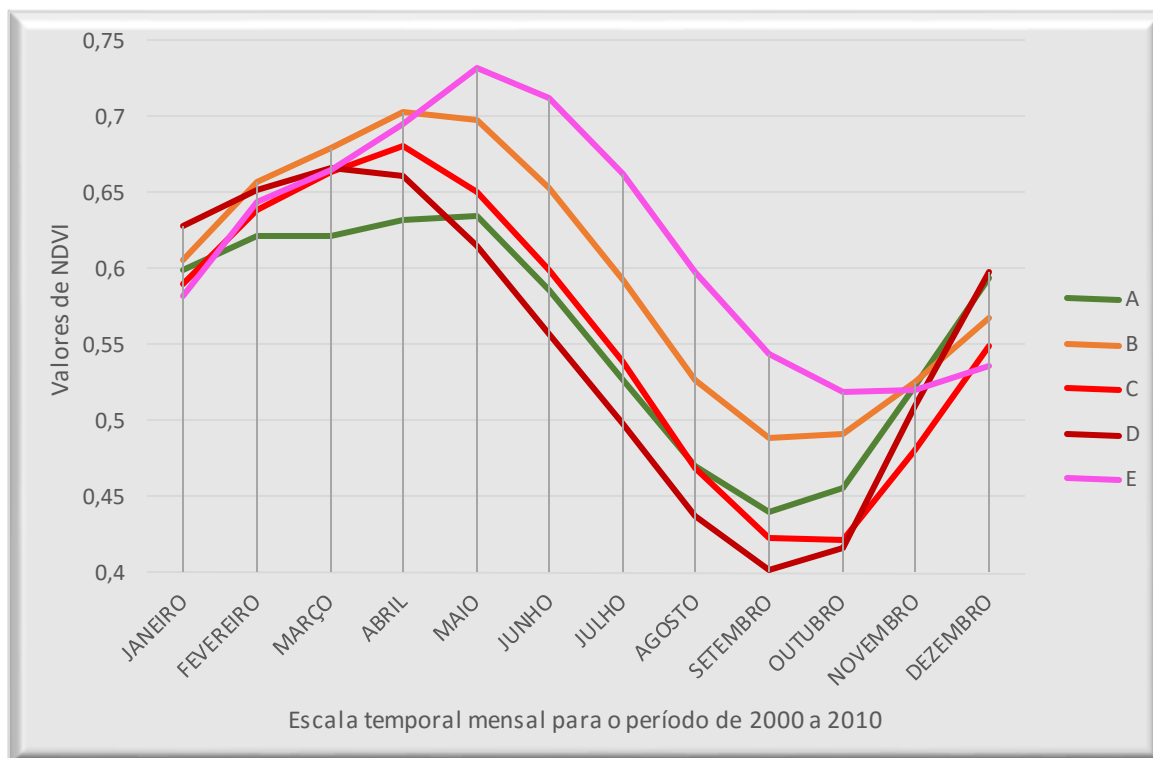


Gráfico 11 - Análise temporal anual das médias de **EVI** para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação

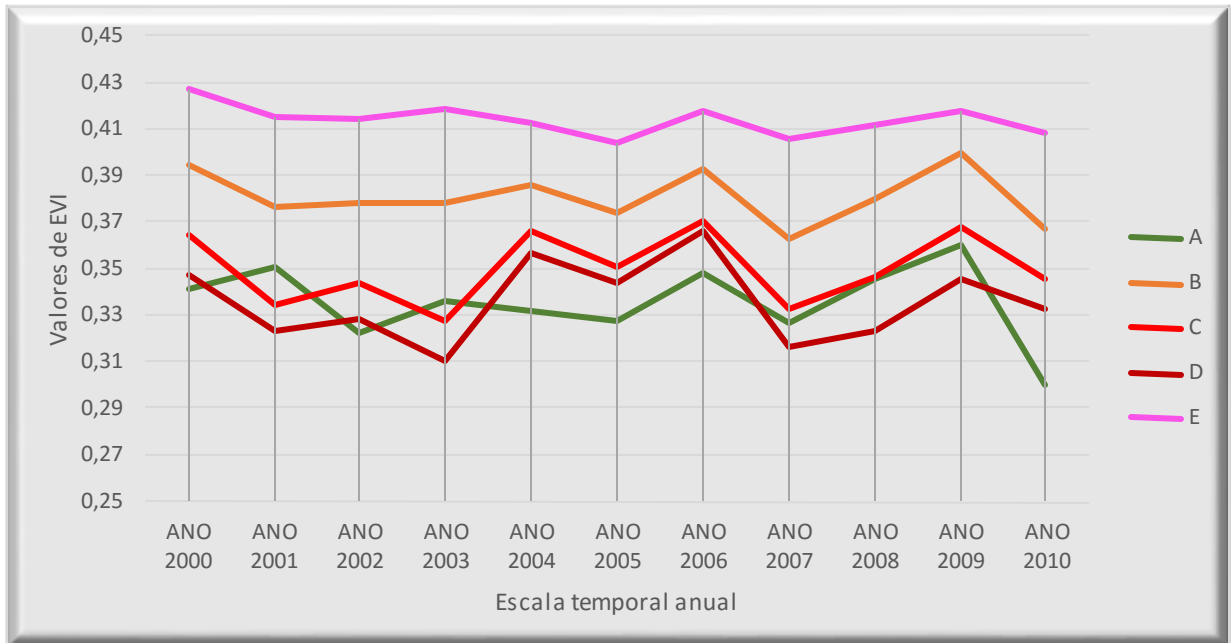


Gráfico 12 - Análise temporal mensal das médias de **EVI** para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação.

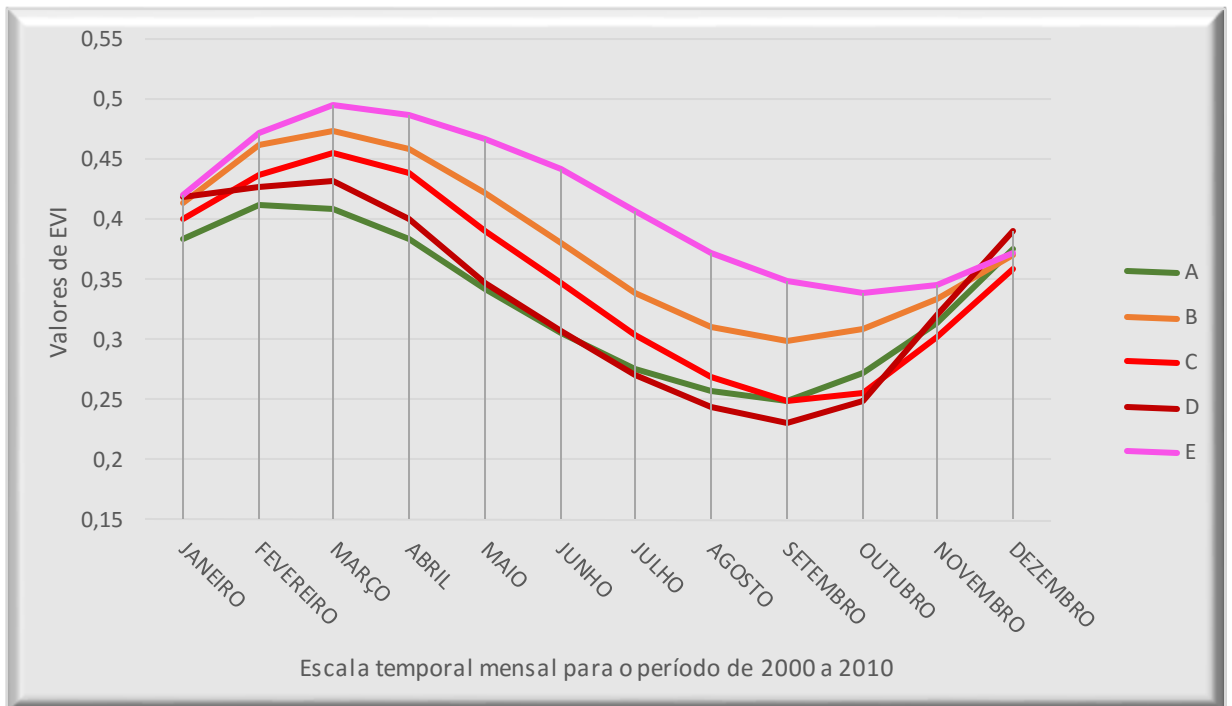


Gráfico 13 - Análise temporal anual das médias de IAF para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação

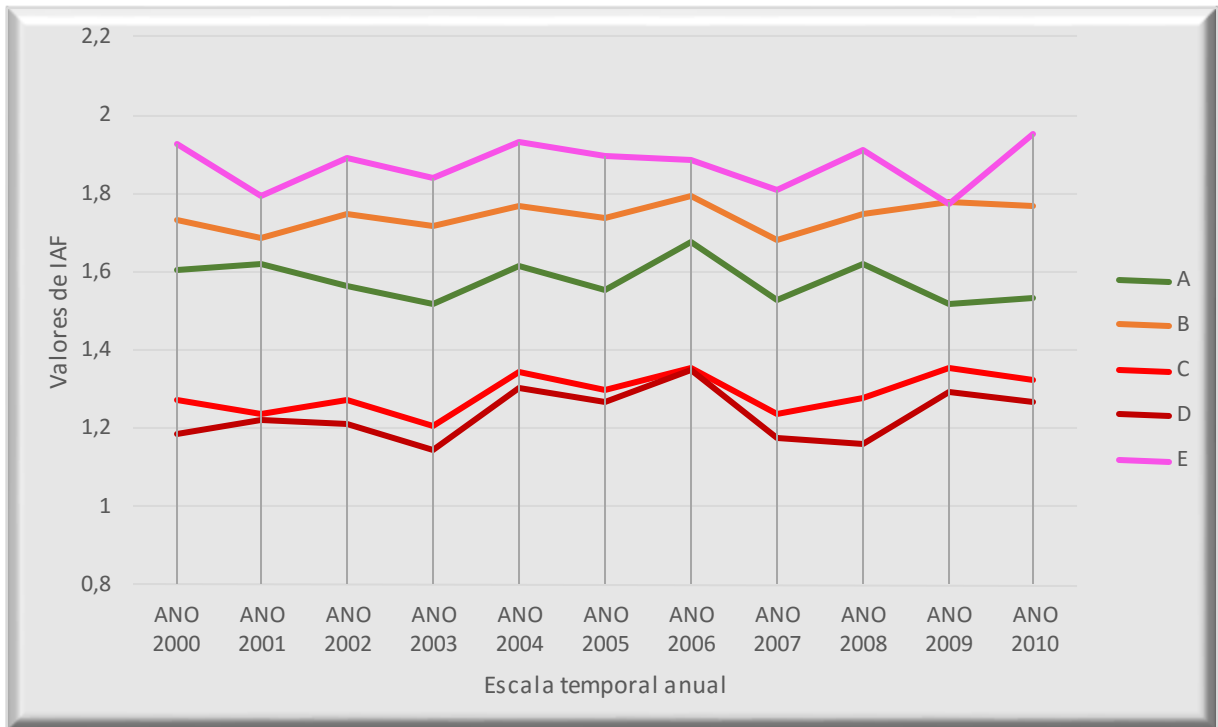
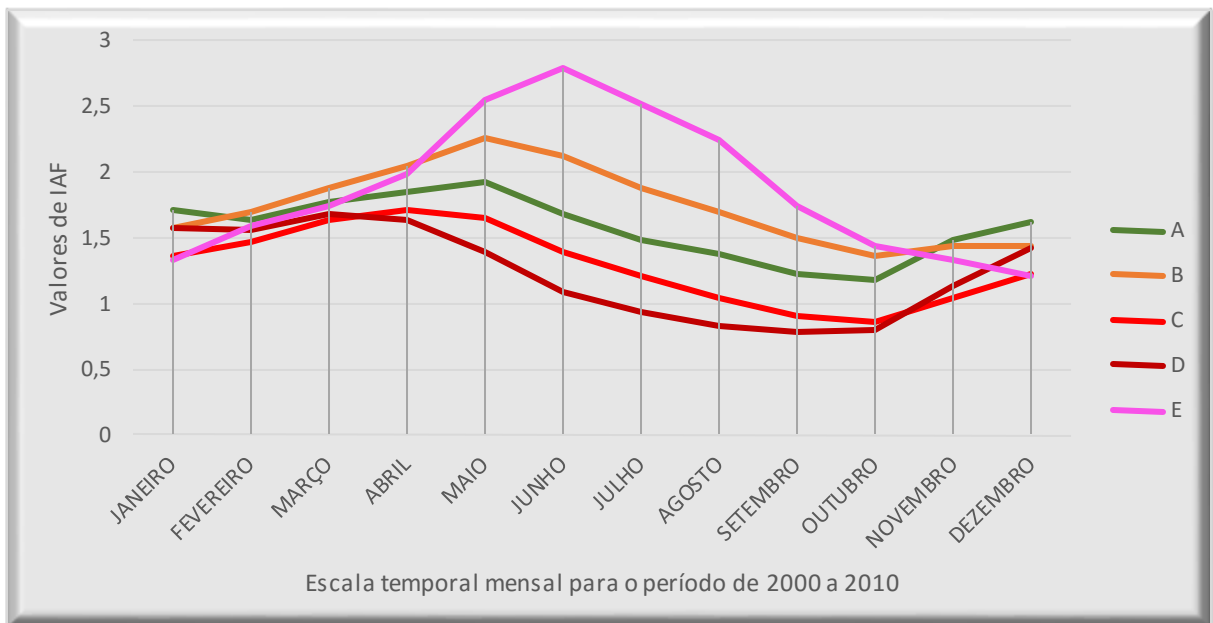


Gráfico 14 - Análise temporal mensal das médias de IAF para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação



Ao analisar os gráficos das médias mensais pode-se observar que o período que compreende os meses de maio a agosto mantém um determinado padrão de resposta e também é o período com melhor amplitude entre as classes de susceptibilidade à desertificação.

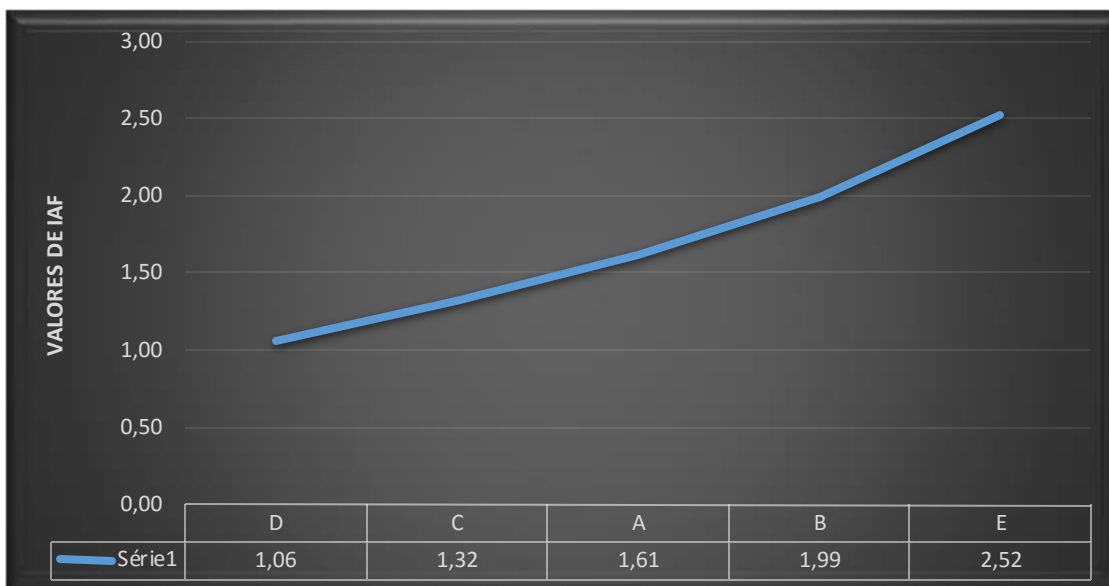
Ao analisar os gráficos das médias anuais verifica-se que a variável **IAF** apresenta um comportamento bastante interessante para as classes de susceptibilidade à desertificação. As classes (**C e D**) onde já tinham mais de 80% de sua área com Alta Susceptibilidade em 2000 e 80% ou mais de área com Alta Susceptibilidade em 2010, apresentam valores de **IAF** mais baixos ao longo do tempo, já as classes (**A e B**) que correspondem às células com Baixa e Média Susceptibilidade em 2000 e 2010 respectivamente, apresentaram valores médios intermediários e por fim a classe (**E**) onde continha “80% ou mais de área com Baixa ou Média Susceptibilidade em 2000 e 80% ou mais de área com Alta Susceptibilidade em 2010”, demonstrou os valores médios anuais mais elevados ao longo do período estudado.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As variáveis ambientais, os índices de vegetação e o mapeamento do uso do solo a partir do uso do sensoriamento remoto são ferramentas importantes e podem contribuir na implementação de um sistema de monitoramento de susceptibilidade à desertificação.

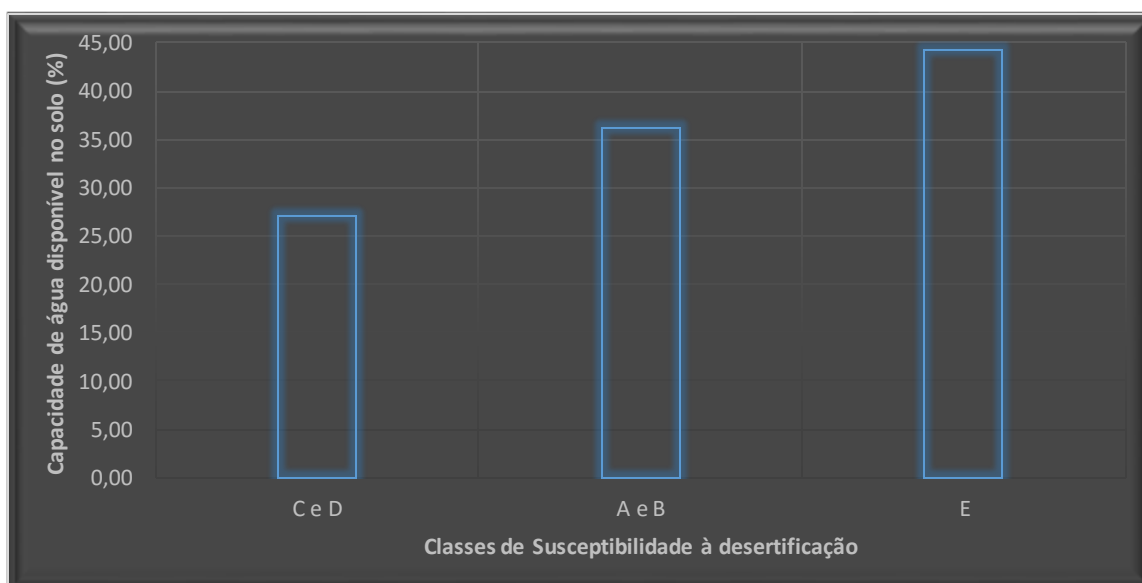
Considerando a variável **IAF** (Índice de Área Foliar) é possível constatar que os valores médios anuais ao longo do período estudado, caracterizaram de maneira distinta as diferentes classes de susceptibilidade à desertificação, sendo os meses de maio a agosto os que apresentaram maior distinção das classes de susceptibilidade. Assim, um monitoramento anual desses meses poderia indicar a tendência da alteração de susceptibilidade. O gráfico abaixo, por exemplo, ilustra que as classes (**C e D**) onde já tinham mais de 80% de sua área com Alta Susceptibilidade em 2000 e 80% ou mais de área com Alta Susceptibilidade em 2010, obtiveram valores de **IAF** médios na faixa de 1,06 até 1,32.

Gráfico 15 - Valor médio das médias mensais dos valores de **IAF** para os meses de maio à agosto, para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação



Um outro exemplo é a variável de capacidade de água disponível no solo, onde as classes de susceptibilidade à desertificação (C e D) apresentam menor capacidade de água disponível no solo (Gráfico 16).

Gráfico 16 - Valor médio das médias anuais dos valores de capacidade de água disponível no solo, para o período de 2000 a 2010, referentes às classes de susceptibilidade à desertificação



Uma visão analítica preliminar sinaliza que detecção de mudanças podem ser auferidas utilizando-se de imagens de satélite, e que as aplicações das técnicas de sensoriamento remoto podem subsidiar um campo ilimitado de pesquisas.

Dessa forma, é possível concluir que as análises das variáveis podem contribuir de forma significativa no provimento de informações que conseguem fomentar abundantes ponderações a respeito da susceptibilidade à desertificação do Semiárido Brasileiro, auxiliando no melhor entendimento do processo de degradação/desertificação da região.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cunha, A.P.M. et.al. **Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region**, Agricultural and Forest Meteorology Volumes 214–215, 15 December 2015, Pages 494–505 (www.elsevier.com/locate/agrformet)

Marengo, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semiárido do Brasil. Parcerias Estratégicas. v. 27, p. 149-75, 2008.

Justice et. al., **The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research**, Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Volume:36 , Issue: 4 , Jul. 1998

Moreira, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2005. 320p.

Proclima – **Programa de Monitoramento Climático em Tempo Real da Região Nordeste**, Disponível em <<http://proclima.cptec.inpe.br/index.shtml>>, Acesso em: 13 nov. 2015

Vieira, R. M. S. P. **Susceptibilidade à degradação/desertificação no semiárido brasileiro: tendências atuais e cenários decorrentes das mudanças climáticas e do uso da terra**. 2015. 109 p. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/03.09.04.35-TDI). Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2015. Disponível em:<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3J54785>>. Acesso em: 05 nov. 2015.

São José dos Campos, 16 de novembro de 2015

Alexandre Augusto Barbosa

ALEXANDRE AUGUSTO BARBOSA

Consultor IICA