



TEMPERATURA DOS SOLOS E SUAS INFLUÊNCIAS NA REGENERAÇÃO NATURAL DA CAATINGA NOS CARIRIS VELHOS – PB

SOIL TEMPERATURE AND ITS INFLUENCES ON NATURAL REGENERATION OF THE CAATINGA IN CARIRIS VELHOS REGION - PB

Bartolomeu Israel de Souza

Departamento de Geociências
Universidade Federal da Paraíba - UFPB
João Pessoa, PB, Brasil
e-mail: bartolomeuisrael@gmail.com

Mônica Larissa Aires Macêdo

Programa de Pós Graduação em Geografia
Universidade Federal da Paraíba - UFPB
João Pessoa, PB, Brasil
e-mail: aires.monica@gmail.com

Glauciene Justino Ferreira da Silva

Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental
Universidade Federal da Paraíba - UFPB
João Pessoa, PB, Brasil
e-mail: glauc.geo@gmail.com

Recebido em: 01/06/2015

Aceito em: 12/02/2016

Resumo

A Caatinga vem sofrendo alterações históricas através da retirada maciça da vegetação para o desenvolvimento de diversas atividades econômicas, o que vem acarretando uma série de problemas ambientais e, dentre estes, o aumento da temperatura dos solos. Esse trabalho foi desenvolvido na região dos Cariris Velhos – PB, uma das mais atingidas pelo desmatamento no semiárido brasileiro, com o objetivo de identificar como esse processo tem afetado a temperatura dos solos, estabelecendo relações com a capacidade de germinação das sementes de plantas nativas da Caatinga em função dos níveis térmicos identificados, características ainda pouco conhecidas e de fundamental importância para que se possa compreender melhor a sucessão ecológica em áreas degradadas. Neste trabalho, foi analisada uma série

histórica de dados de temperaturas de subsuperfície, obtidos através de geotermômetros, submetidos a tratamento estatístico, e de superfície, através do uso de imagens de satélite, seguida de um levantamento da capacidade de germinação de sementes da Caatinga em diferentes condições térmicas. Os resultados obtidos indicam que o desmatamento vem acarretando a elevação da temperatura média dos solos, atualmente dominando níveis superiores a 35°C em grande parte da região, para os quais a maioria das sementes das espécies consultadas não se desenvolveria, tornando ainda mais difícil a recuperação destes ambientes. Os dados apresentados apontam a urgência em evitar a expansão do desmatamento na Caatinga, assim como a criação de medidas de recuperação dos ambientes desertificados.

Palavras Chave: Desflorestamento; Condições Térmicas; Faixas de germinação de sementes.

Abstract

The Caatinga has undergone historical changes through the massive removal of vegetation for the development of several economic activities, and it has been causing a number of environmental problems and, among these, an increase of soil temperature. This research has been developed in the area of Old Cariris - PB, one of the most affected by deforestation in Brazilian semi-arid region, in order to identify how this process has affected the temperature of the soil, establishing relations with the germination capacity of Caatinga native plant seeds on the basis of identified thermal levels, little-known features as well as extremely important so that we can better understand the ecological succession in degraded areas. In this paper, we analyzed a historical series of data from subsurface temperatures, obtained through geothermometers and statistically analyzed, and from surface temperatures, through the use of satellite imagery, followed by a survey of germination capacity of Caatinga seeds in different thermal conditions. The obtained results indicate that deforestation is causing the increase of average soil temperature, currently reaching levels above 35°C in great part of the region, in which most of the seeds of the surveyed species would not develop, making it even more difficult to recover these environments. The presented data indicate the urgency of preventing the expansion of deforestation in the Caatinga, as well as the creation of recovery measures of desertified environments.

Keywords: Deforestation; Thermal Conditions; Seed Germination Tracks.

1. INTRODUÇÃO

O bioma Caatinga é dominante na zona semiárida brasileira, sendo considerado o terceiro mais degradado do Brasil, perdendo apenas para a Floresta Atlântica e o Cerrado (MYERS et al, 2000). Estima-se que 80% de sua

vegetação encontra-se completamente alterada em função do extrativismo e da agropecuária, apresentando-se a maioria dessas áreas em estádios iniciais ou intermediários de sucessão ecológica (ARAÚJO FILHO, 1996). Essas ações cada vez mais vem comprometendo um patrimônio único no mundo, cujos processos e dinâmicas, tanto de ordem natural como os advindos das intervenções humanas ainda são escassamente conhecidos.

Destacamos que no Brasil e particularmente na zona semiárida, existem poucos estudos buscando entender como a degradação dos solos e os seus efeitos dificultam ou mesmo impedem a chegada, o estabelecimento ou a persistência de espécies, sendo esta, entre outras, a causa de muitos projetos de restauração ecológica não alcançarem sucesso.

Com base na última assertiva, destacamos a questão das temperaturas dos solos em suas relações de causa e efeito com a vegetação, e como a retirada ostensiva de grandes áreas de Caatinga vem afetando a capacidade de regeneração natural dos ambientes existentes nesse bioma.

O conhecimento sobre a temperatura dos solos é essencial para entendermos a dinâmica da vegetação, visto que afeta diretamente a umidade, aeração, estrutura, micróbios e atividade das enzimas, a decomposição dos resíduos vegetais e a disponibilidade dos nutrientes das plantas, sendo um dos fatores fundamentais para o crescimento das espécies vegetais (KOHNKE, 1968), influenciando mais a brotação e a fotossíntese do que o crescimento das raízes (BRADY & WEIL, 2013).

Ao mesmo tempo, é sabido que o desenvolvimento da vegetação aumenta a cobertura do solo e modifica seu comportamento hídrico, ocasionando uma evolução do seu regime térmico depois de uma diminuição de amplitude de variações de temperatura e das suas médias (MUSY & SOUTTER, 1991). Entretanto, resta saber como e até que ponto a retirada maciça da vegetação afeta a temperatura dos solos e influencia a dinâmica de regeneração das áreas afetadas, particularmente em ambientes de clima seco como é o caso da Caatinga, para que possam, por exemplo, ser melhor orientadas políticas de conservação ambiental e uso sustentável dessas terras.

Nas áreas que sofreram ou vem sofrendo elevado desmatamento, o acúmulo de sementes estocadas no solo (banco de sementes), mesmo apresentando-se como um elemento estratégico na regeneração de ecossistemas que sofreram impacto ambiental (COSTA & ARAÚJO, 2003; ARAÚJO et al. 2011), é muito dependente da quebra de sua dormência para que possam ser gerados novos indivíduos (CHAIDEFTOU et al., 2009; LIU et al., 2009), apresentando-se a temperatura dos solos como um dos principais determinantes neste processo.

Em relação ao Estado da Paraíba, grande parte das suas terras na zona semiárida vem apresentando problemas sérios que dizem respeito a manutenção dos poucos remanescentes razoavelmente preservados de Caatinga, ao mesmo tempo em que existe um grande desafio para recuperar terras comprometidas com a desertificação, como é o caso da região dos Cariris Velhos (SOUZA et al., 2011), onde está inserida o Alto Curso do rio Paraíba que, juntamente com a Área de Proteção Ambiental – APA do Cariri e a Bacia Escola de São João do Cariri, foram alvos das investigações desenvolvidas neste trabalho (Figura 1).

SOUZA, B. I.; MACÊDO, M. L. A.; SILVA, G. J. F.
TEMPERATURA DOS SOLOS E SUAS INFLUÊNCIAS NA REGENERAÇÃO NATURAL DA CAATINGA NOS CARIRIS VELHOS - PB

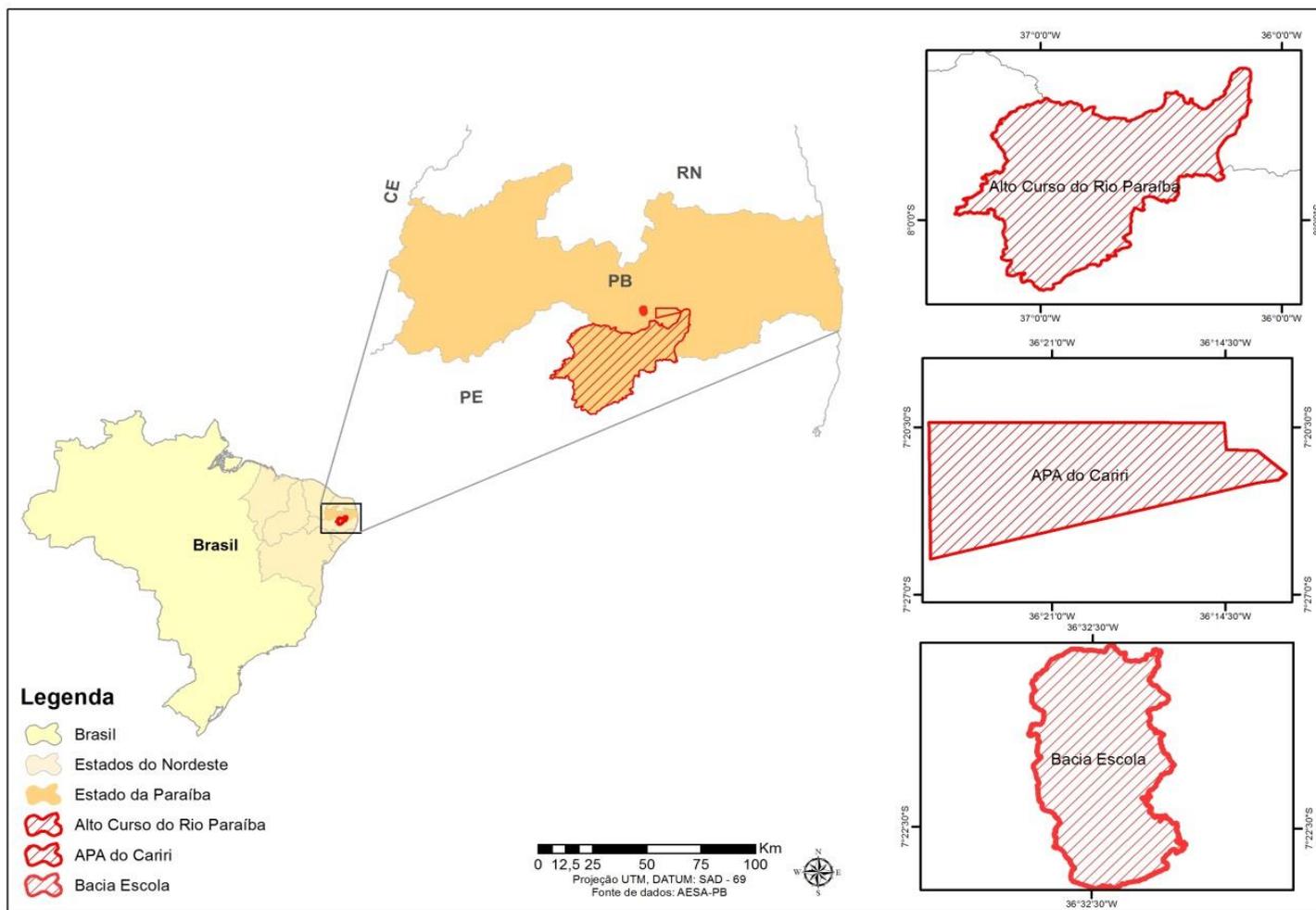


Figura 1: Localização das áreas de estudo na Paraíba. Fonte: Elaboração própria.

Além do que já foi inicialmente exposto sobre a região dos Cariris Velhos – PB, especificamente sobre as áreas pesquisadas, destaca-se a importância das mesmas pelos fatores que seguem, entre outros existentes: inserção no polígono de menor pluviosidade do Brasil (menos de 500mm/ano); fornecimento de água para áreas economicamente importantes da Paraíba, aspecto a ser elevado com a construção de um dos eixos da transposição do rio São Francisco; localização das duas maiores unidades de conservação da Paraíba (APA das Onças e APA do Cariri); existência de dados históricos sobre diversos aspectos climáticos não encontrados em outras regiões do Estado, sob a administração da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG (Bacia Escola de São João do Cariri).

Em função do exposto, esse trabalho tem o objetivo de identificar e analisar as temperaturas dos solos na área estudada, estabelecendo uma relação com a germinação de sementes de espécies vegetais nativas da Caatinga para as quais existem dados, questões de fundamental importância para que possamos entender melhor alguns aspectos da sucessão ecológica nesse bioma, particularmente nas áreas onde ocorreram ou vem ocorrendo elevados níveis de degradação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Análise das temperaturas dos solos em subsuperfície

Para a análise estatística, foram utilizados dados das médias diárias compensadas das temperaturas de solo medidas por geotermômetro para profundidades de 2 e 5 centímetros, nos horários das 9, 15 e 21, da estação meteorológica da Bacia Escola de São João do Cariri - BESJC, pertencente à Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. Essa estação está localizada na sede da BESJC (7°22'45,1"S e 36°31'47,2"W), a 500 metros de altitude, apresentando características climáticas, pedológicas e de uso do solo que representam bem o que ocorre em grande parte dessa região na Paraíba.

A análise das temperaturas nas profundidades mencionadas justifica-se pelo fato das maiores concentrações de sementes de espécies da Caatinga e

dos efeitos das sazonalidades climáticas sobre o número desses propágulos ser mais forte entre 0-5cm (COSTA & ARAÚJO, 2003; MAMEDE & ARAÚJO, 2008; SANTOS et al., 2010).

A caracterização do estudo foi realizada com enfoque na variabilidade das séries de temperatura do solo, no período de 1987 a 2011, por meio de uma análise descritiva, seguindo os seguintes passos:

- A) Cálculo das estatísticas descritivas das temperaturas de solo;
- B) Estimativa das variâncias das temperaturas para as diferentes profundidades estudadas.

As estimativas da variância da temperatura do solo assumiram alguns pressupostos baseados nas observações de Triola (2011) onde: a variável temperatura nas duas profundidades estudadas, medidas diariamente em três horários distintos, é normalmente distribuída (segue uma distribuição aproximadamente normal); as médias são independentes; as variâncias das populações são ditas iguais.

Se essas médias são provenientes de uma mesma população, o desvio entre dois grupos deve ser menor do que a variância das amostras. Uma relação mais elevada, portanto, implica que as amostras foram provenientes de diferentes populações.

Para o último caso acima mencionado, foi utilizado o teste não paramétrico de Pettit (PETTIT,1979), versão baseada no teste de Mann Whitney, o qual tem por objetivo principal verificar se duas amostras X_1, \dots, X_t e X_{t+1}, \dots, X_T são provenientes de uma mesma população. Deste modo, a estatística $U_{t,T}$ fará uma contagem do número de vezes em que o valor da primeira amostra é maior do que o valor da segunda, permitindo assim detectar possíveis mudanças nas serie estudada. Esta estatística pode ser escrita de acordo com a seguinte equação:

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + \sum_{j=1}^T \text{sgn}(y_t - y_j)$$

A estatística $U_{t,T}$ localiza o ponto em que houve a ruptura da serie temporal. Neste caso, a hipótese a ser testada será:

$$H_0: \text{Não existe a ruptura da serie } (X_i)_{i \in \bar{N}}$$

Os softwares utilizados para essas análises foram o R, para o cálculo das descritivas, e o Kronostat para os testes não paramétricos, todos gratuitos e disponíveis na internet.

2.2 Análise das temperaturas dos solos em superfície

Para essa etapa, foram utilizadas imagens do sensor TM a bordo do satélite Landsat-5, disponíveis no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, extraído daí as temperaturas de superfície. Foram escolhidas nove imagens de satélite, a maioria de períodos e datas diferenciados. Isto se deveu a dificuldade encontrada, ora na escolha de uma boa imagem, ou seja, sem nuvens ou falhas, ora numa escolha sem que estas pertencessem ao auge da estação seca da região (setembro a janeiro), a qual iria mascarar os resultados obtidos. A tabela 1, a seguir, descreve as imagens utilizadas.

Tabela 1: Datas das imagens do satélite Landsat-5/TM utilizadas.

Recorte 1	Recorte 2	Órbitas e Pontos
02/08/1989	10/07/2004	215/65
02/08/1989	29/07/2005	215/66

Fonte: INPE. Consulta efetuada em 10/02/2015.

Posteriormente foi efetuada a correção geométrica das imagens de satélite. Para a coleta de pontos de controle, foram utilizadas as imagens ortorretificadas do Landsat 5/TM. Cerca de 25 pontos foram coletados a um erro inferior de 1 pixel por ponto. Além do tratamento das imagens, tornou-se importante a coleta de dados climatológicos (pressão atmosférica, umidade relativa e temperatura do ar) para composição do indicador Temperatura de Superfície - Tsup.

Para estimativa da Tsup, optou-se por utilizar parte da rotina estabelecida na execução do algoritmo SEBAL. Para melhor descrição das etapas envolvidas na geração dos indicadores, foi elaborado um fluxograma (Figura 2) com as etapas do processo.

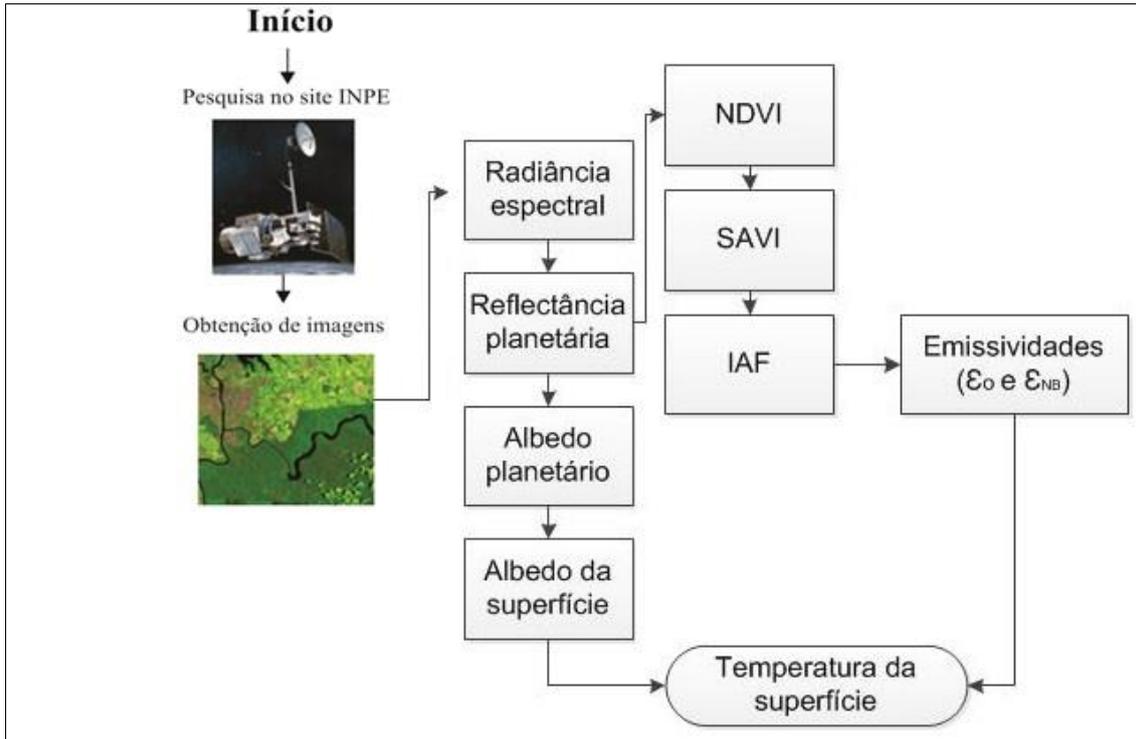


Figura 2: Diagrama ilustrativo das etapas destinadas à obtenção de dados sobre cobertura vegetal (NDVI, SAVI e IAF) e a Tsup.

Conforme descrito no fluxograma, uma primeira etapa foi a conversão dos valores brutos das imagens em valores físicos, ou seja, geração dos valores da radiância e da reflectância. Entretanto, para este tipo de operação e para outros valores que precisaram ser encontrados, foi preciso a aplicação de algumas fórmulas (equações).

A primeira equação descrita foi a da calibração radiométrica. Esse procedimento corresponde ao processo de transformação do número digital (ND) de cada pixel da imagem em radiância monocromática (CHANDLER et al., 2009):

$$L_{\lambda_i} = a_i + \left(\frac{b_i - a_i}{255} \right) \cdot ND \quad (2)$$

Em que:

- a e b são os extremos das radiâncias espectrais, medidos em $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$;
- ND é a intensidade do pixel; definido como um número digital, que é um inteiro compreendido no intervalo de 0 a 255; e corresponde a cada banda (1,2

e.7) do satélite Landsat 5 TM.

Em seguida, foi gerado o valor da reflectância, descrito pela seguinte equação:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \left[\left(\frac{L_{\text{máx}} - L_{\text{mín}}}{DN_{\text{máx}}} \right) \cdot DN + L_{\text{mín}} \right]}{E_{\lambda} \cdot \cos(z) \cdot dr} \quad (3)$$

Onde:

- π é uma constante que equivale a 3.14, aproximadamente;
- $L_{\text{máx}}$ e $L_{\text{mín}}$ são as constantes de calibração de um dado sensor;
- $DN_{\text{máx}}$ e $DN_{\text{mín}}$ são os valores extremos que o DN pode alcançar; e
- dr é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_0) e a distância Terra- Sol (r) em dado dia do ano (DSA).

Depois destes cálculos, seguiu-se com o cômputo do albedo planetário e da superfície. O albedo planetário é obtido pela combinação linear das refletâncias monocromáticas:

$$\alpha_{\text{toa}} = 0,293\rho_1 + 0,0274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7 \quad (4)$$

Onde: ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 , ρ_4 , ρ_5 e ρ_7 são os albedos planetários das bandas 1, 2, 3, 4, 5, e 7, respectivamente, e cada fator corresponde à razão entre a irradiância solar, no domínio de cada banda, pela somatória de todas essas irradiâncias (SILVA, et al. 2005).

Sobre o albedo de superfície, este foi calculado através da seguinte equação:

$$\alpha = \frac{\alpha_{\text{Toa}} - \alpha_{\text{p}}}{(T_{\text{sw}})^2} \quad (5)$$

Onde:

- α_{Toa} é o albedo planetário;
- α_{p} é a reflectância da própria atmosfera, que por sua vez está compreendida entre valores de 0,025 a 0,04; e
- T_{sw} é a transmissividade atmosférica.

Após os procedimentos acima mencionados, seguiu-se com a geração do NDVI e do SAVI. O NDVI consiste na razão entre a diferença das refletividades do IV-próximo (ρ_{IV}) e do vermelho (ρ_{V}), pela soma das mesmas (ROUSE et al., 1973), de acordo com a equação:

$$NDVI = \frac{(\rho_{IV} - \rho_V)}{(\rho_{IV} + \rho_V)} \quad (6)$$

Já o índice SAVI é um tipo de estimativa que busca amenizar os efeitos do solo. Os valores obtidos estão contidos numa escala que vara de -1 a 1. Para obtenção do SAVI tem sido utilizada a equação proposta por Huete, (1988):

$$SAVI = \frac{(1-L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (7)$$

No caso do SAVI, utilizou-se o valor de L como sendo 0.1.

Em relação ao IAF, tem-se que ele se trata da razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. De acordo com Allen et al. (2002) este indicador de biomassa é calculado pela seguinte equação:

$$IAF = \frac{-\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (8)$$

Foi a partir do IAF que se pode calcular as emissividades necessárias para que fosse realizada a estimativa da Tsup. Estas são descritas como:

- A emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal ϵ_{NB} (10,4 – 12,5 μm); e
- A emissividade descrita sob o domínio da banda larga ϵ_0 (5 – 100 μm).

Estas, por sua vez, podem ser obtidas, de acordo com Allen e al. (2002), do seguinte modo:

- $\epsilon_{NB} = 0,0033.0,97x \text{ IAF}$; e
- $\epsilon_0 = 0,01.0,95x \text{ IAF}$

A partir do que foi anteriormente descrito, pode-se obter a Tsup, através da seguinte equação:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (5)$$

Onde: $K_1 = 607,76 \text{ W/m}^2/\text{sr}/\mu\text{m}$ e $K_2 = 1260,56 \text{ K}$ são constantes de calibração da banda termal do TM - Landsat 5, de acordo com Allen et al. (2002). Após a obtenção da Tsup em $^{\circ}\text{k}$, realizou-se a transformação dos valores obtidos para $^{\circ}\text{C}$.

2.3 Análise das temperaturas de germinação de sementes de espécies nativas da Caatinga

Feita através de consulta a diversos artigos publicados em livros e periódicos científicos nacionais e internacionais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 são apresentadas os resultados das temperaturas do solo a partir da análise de dados de geotermômetro localizados na Bacia Escola de São João do Cariri/PB, conforme pode ser observado a seguir.

Tabela 1: Médias Compensadas (\bar{X}), Desvio Padrão (S) e Coeficiente de Variação (CV) das temperaturas de solo medidas na Bacia Escola de São João do Cariri, em graus centígrados - °C, nas profundidades de 2 e 5 centímetros, entre 1987 a 2011.

Meses	Profundidades (cm)			
	2		5	
	$\bar{X} \pm S$	CV	$\bar{X} \pm S$	CV
Janeiro	37,14±2,16	6	35,06±2,54	7
Fevereiro	36,41±2,54	7	34,94±2,08	6
Março	35,79±2,70	8	34,31±2,02	6
Abril	34,01±2,51	7	33,01±2,01	6
Maiο	32,35±2,23	7	35,06±2,54	7
Junho	29,93±1,38	5	35,07±2,54	7
Julho	29,21±1,49	5	28,27±1,30	5
Agosto	31,40±1,75	6	29,77±0,96	3
Setembro	33,80±1,61	5	32,92±1,43	4
Outubro	37,08±1,43	4	35,18±1,30	4
Novembro	37,65±1,25	3	36,35±1,00	3
Dezembro	37,73±2,23	6	35,98±1,82	5

De acordo com os resultados apresentados na tabela 1, as médias mensais compensadas calculadas para o período de 1987 a 2011 foram superiores a 30°C nas duas profundidades e em todos os meses, com exceção de junho (29,93 °C) e julho (29,21 °C), ainda que os valores fossem muito próximos a este patamar. Comprova-se, através do desvio padrão, que as

médias se tornam ainda mais representativas para a profundidade de 5cm, onde os valores encontrados para essa estatística são menores em relação aos encontrados para a de 2cm, indicando que quanto mais afastado da superfície do solo, menores foram as temperaturas identificadas. No entanto, os coeficientes de variação calculados revelam que as médias encontradas para o período analisado representam bem todas as medições realizadas pelos geotermômetros nas duas profundidades.

Destacamos que os meses de fevereiro á maio perfazem o quadrimestre de maior pluviosidade nessa região da Paraíba, assim como ocorre em grande parte do semiárido brasileiro (NIMER, 1979). Nesse período, conforme os resultados apresentados na tabela 1, as temperaturas continuam a ultrapassar a faixa dos 30⁰C, fazendo com que haja influência marcante na possibilidade de germinação das sementes da Caatinga na região, conforme veremos mais adiante.

O comportamento observado nos dados coletados diretamente em campo foi praticamente o mesmo, quando foi efetuado esse tipo de análise utilizando imagens de satélite para toda a Bacia Escola, nos anos de 1989 e 2004 (figura 3), onde nestas a temperatura também se mostrou superior a faixa dos 30⁰C, observando-se uma elevação desse elemento para a área de um ano para o outro, indicando um agravamento da situação ao longo do tempo. Na imagem mais recente (2004), inclusive, a temperatura média é superior a 35⁰C para grande parte da Bacia Escola.

SOUZA, B. I.; MACÊDO, M. L. A.; SILVA, G. J. F.
TEMPERATURA DOS SOLOS E SUAS INFLUÊNCIAS NA REGENERAÇÃO NATURAL DA CAATINGA NOS
CARIRIS VELHOS - PB

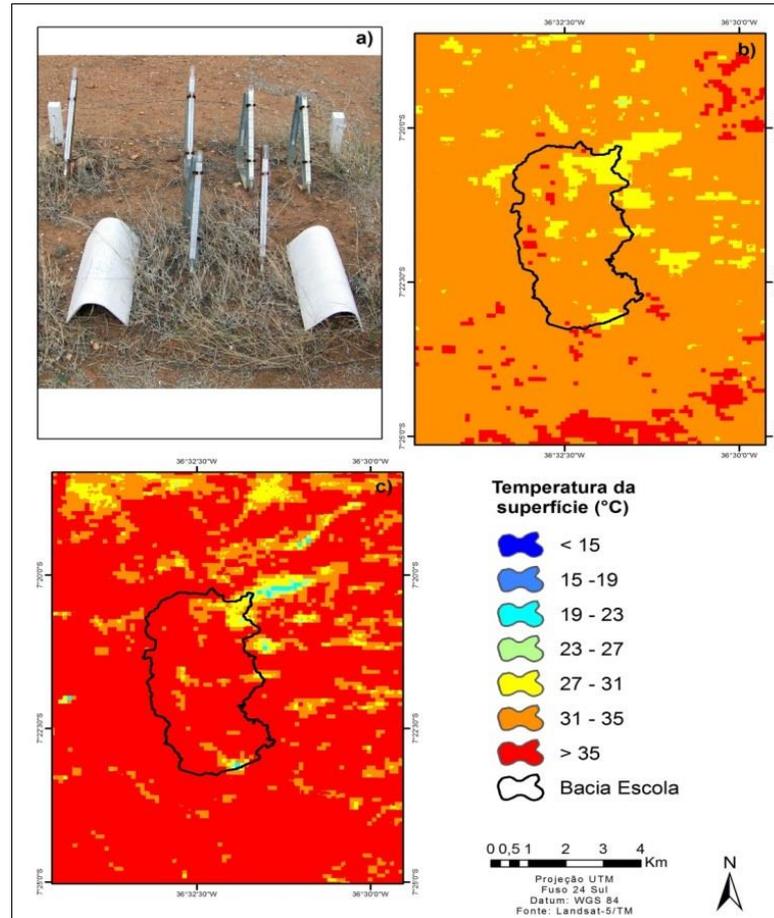


Figura 3: Temperaturas superficiais dos solos na Bacia Escola de São João do Cariri/PB: a) geotermômetros em campo; b) situação em 1989; c) situação em 2004.

Como possíveis causas do aumento da temperatura observada, tanto através da análise dos dados provenientes dos geotermômetros como através do uso de imagens de satélite para a Bacia Escola, temos a expansão das áreas de solo exposto nessa parte do Cariri paraibano, através da retirada da vegetação pelo extrativismo e queimadas, estabelecendo-se a desertificação, conforme destacam Souza et al. (2011) e, em menor nível, mas também importante, os efeitos das secas em espécies mais exigentes em água, em uma paisagem em grande parte antropizada que as deixa ainda mais fragilizadas na ocorrência de estiagens acentuadas. Nesse caso, ao reduzir-se a cobertura vegetal, temos a elevação da temperatura média nesses ambientes.

Com base no exposto anteriormente, destacamos que a presença de ilhas de calor, embora mais estudadas em ambientes urbanos, é cada vez mais

percebida também na zona rural, em função da retirada da cobertura vegetal arbustiva e arbórea, substituída por áreas desmatadas ou pastos introduzidos pela ação humana (CARVAJAL & PABÓN, 2014).

Partindo para outra escala, os resultados inferidos através de imagens de satélite para a Bacia Escola de São João do Cariri e validados pelos geotermômetros, obedecem a mesma regra quando analisados para o Alto Curso do Rio Paraíba e APA do Cariri, conforme pode ser observado na figura 4, a seguir.

SOUZA, B. I.; MACÊDO, M. L. A.; SILVA, G. J. F.
TEMPERATURA DOS SOLOS E SUAS INFLUÊNCIAS NA REGENERAÇÃO NATURAL DA CAATINGA NOS CARIRIS VELHOS - PB

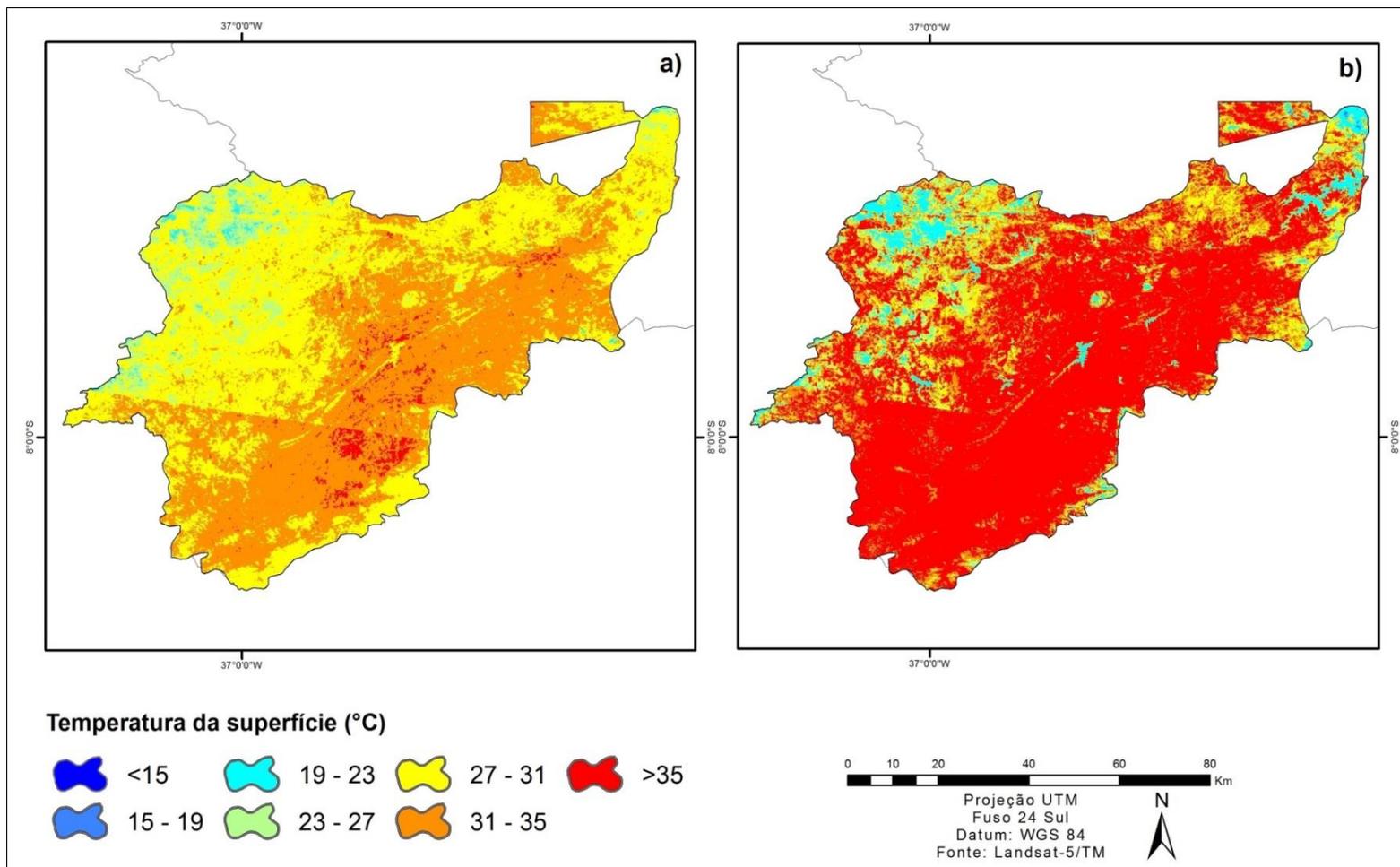


Figura 4. Temperatura da superfície dos solos no recorte de 1989 (a) e 2004/2005 (b) no Alto Curso do Rio Paraíba e APA do Cariri.

De acordo com a figura anteriormente apresentada, as temperaturas médias se elevaram no período analisado, saindo em 1989 do domínio de faixas que vão dos 27^oC a menos de 35^oC, para uma ampla predominância em 2004/2005 de níveis superiores ao último valor mencionado, o que, conforme já comentamos anteriormente, indica uma situação de menor proteção aos solos oferecida pela cobertura vegetal, submetida a forte pressão pela retirada direta e indireta e também pelos efeitos das secas em uma vegetação remanescente mais fragilizada a esse evento climático e portanto menos resistente aos seus efeitos.

Os resultados das análises dos dados, tanto oriundos dos geotermômetros (2cm e 5cm), como das imagens de satélite, em sua relação com a germinação de sementes de espécies vegetais da Caatinga e a capacidade de regeneração natural desse ambientes são preocupantes. Neste sentido, reiteramos que a temperatura tem grande influência no processo germinativo das sementes, tanto na velocidade como na porcentagem de germinação (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000), assim como na atividade microbiana, onde a taxa ótima de atividade de organismos ocorre entre 18^oC e 30^oC (KOHNE, 1968).

Quando a faixa de temperatura ótima é ultrapassada, as enzimas que compreendem o processo germinativo sofrem desnaturação, decrescendo a velocidade da germinação e até inibindo esse processo (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000). Por conta disso, a distribuição geográfica de diversas espécies é determinada pela faixa de condições ambientais toleradas pela germinação de suas sementes (LABOURIAU, 1983).

Conforme já foi mencionado, a temperatura de 20^oC a 30^oC mostra-se adequada para a germinação de grande número de espécies tropicais e subtropicais. Entretanto, muito ainda tem de ser pesquisado sobre a faixa ideal de germinação para espécies da Caatinga.

Apesar do pouco conhecimento sobre o tema na Caatinga, os trabalhos apresentados a seguir, no quadro 1, sobre germinação em laboratório das sementes de espécies ocorrentes nesse bioma, nos encaminham para algumas conclusões iniciais.

SOUZA, B. I.; MACÊDO, M. L. A.; SILVA, G. J. F.
**TEMPERATURA DOS SOLOS E SUAS INFLUÊNCIAS NA REGENERAÇÃO NATURAL DA CAATINGA NOS
 CARIRIS VELHOS - PB**

Quadro 1. Germinação de sementes de espécies nativas ocorrentes na Caatinga, sob diferentes temperaturas.

Espécies analisadas (nome popular e científico) e autores de referência	Níveis de temperaturas em graus centígrados - °C										
	15 a 40	20 a 30	20 a 35	20 a 40	25	25 a 27	30	30 a 35	37	38 a 41	+ de 40
Angico-vermelho (<i>Parapiptadenia rígida</i>); (MONDO et al., 2008)								X			
Aroeira (<i>Myracrodruon urundeuva</i>); (PACHECO et al., 2006; MORAES, 2002)						X					
Baraúna (<i>Schinopsis brasiliensis</i>); (AMARAL, 1986; PRAZERES, 1996; SALOMÃO et al., 1987; SALOMÃO & SANTOS, 2001)									X		
Bom-nome (<i>Capparis flexuosa</i>); (PRAZERES, 1996)		X									
Cajueiro (<i>Anacardium occidentale</i>); (SALOMÃO et al., 1987)		X									
Canela-de-ema (<i>Velozia squamata</i>); (LIMA et al., 1997)										X	
Caroá (<i>Neoglaziovia variegata</i>); (SILVEIRA et al., 2011)									X		
Catingueira (<i>Poincianella pyramidalis</i>); (LIMA et al., 2011)			X								
Craibeira (<i>Tabebuia aurea</i>); (CABRAL et al., 2003)				X							

SOUZA, B. I.; MACÊDO, M. L. A.; SILVA, G. J. F.
**TEMPERATURA DOS SOLOS E SUAS INFLUÊNCIAS NA REGENERAÇÃO NATURAL DA CAATINGA NOS
 CARIRIS VELHOS - PB**

Faveleira (<i>Cnidoscolus phyllacantus</i>); (SILVA & AGUIAR, 2004)		X									
Feijão-bravo (<i>Capparis flexuosa</i>); (PRAZERES, 1996)		X									
Imburana (<i>Commiphora leptophloeos</i>); (SILVA et al., 2009)								X			
Ipê-roxo (<i>Tabebuia impetiginosa</i>); MELO & EIRA, 1995; SALOMÃO, 2002)					X						
Mandacaru (<i>Cereus jamacaru</i>); (MEIADO et al., 2010)								X			
Mororó (<i>Bauhinia cheilantha</i>); (SILVA et al., 2009)								X			
Pau-ferro (<i>Caesalpinia ferrea</i>); (LIMA et al., 2006)							X				
Pau-de-serrote (<i>Luetzelburgia auriculata</i>); (NOGUEIRA et al., 2012)			X								
Quixabeira (<i>Sideroxylon obtusifolium</i>); (OLIVEIRA et al., 2014; SILVA & DANTAS, 2013)							X				
Sabiá (<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth.); (HOLANDA et al., 2015)			X								
Tamboril (<i>Enterolobium contortisiliquum</i>); (LIMA et al., 1997).											X
Tingui (<i>Magonia glabrata</i>); (PRAZERES, 1996)	X										

Com base no quadro 1, fugindo a regra para plantas de clima tropical e subtropical, no conjunto das espécies analisadas da Caatinga (21), 14 (66,67%) são capazes de germinar em temperaturas superiores aos 30°C

(Angico-vermelho, Baraúna, Bom-nome, Canela-de-ema, Caroá, Catingueira, Craibeira, Imburana, Mandacaru, Mororó, Pau-de-serrote, Sabiá, Tamboril e Tingui), ao passo que as demais (7/33,33% - Aroeira, Cajueiro, Faveleira, Feijão-bravo, Ipê-roxo, Pau-ferro e Quixabeira) dependem de condições inferiores a esse patamar para que esse processo venha a ocorrer.

Indo mais além nessa análise, das espécies que possuem capacidade germinativa acima dos 30⁰C, temos 7 (33,33%) que se adaptam a temperaturas até 35⁰C (Angico-vermelho, Catingueira, Imburana, Mandacaru, Mororó, Pau-de-serrote e Sabiá) e 6 (28,27%) adaptadas a temperaturas superiores a esse último nível (Baraúna, Canela-de-ema, Caroá, Craibeira, Tamboril e Tingui).

Conforme já mencionado em outro momento, as chuvas na região estudada e de vastas extensões do semiárido brasileiro ocorrem predominantemente nos meses de fevereiro à maio. Nesse período também se concentra a germinação da maioria das espécies da Caatinga (COSTA & ARAÚJO, 2003). Associando essas informações a presença de temperaturas médias próximas ou mesmo superiores a 35⁰C, sob as quais poucas sementes conseguem germinar, conforme foi identificado nessa pesquisa, temos um indicativo de que a recuperação espontânea desses ambientes por grande parte das espécies nativas desse bioma é um fator de difícil ocorrência.

Com base no que foi exposto anteriormente, ao se estabelecer a degradação com a retirada maciça da vegetação, são criadas condições térmicas nos solos que, ao inviabilizarem a germinação de muitas das espécies da Caatinga para as quais existem dados levantados, temos diretamente afetada a capacidade de auto-recuperação desses ambientes, com a manutenção de paisagens desertificadas por vários anos, mesmo que o uso dessas terras tenha cessado ou não seja mais intensivo como antes.

Esse quadro que por si só já é bastante preocupante, nos leva a pensar que a concretização de alguns cenários para a Caatinga em termos de mudanças climáticas parecem mais próximos do que se pode imaginar, ou mesmo já poderiam estar estabelecidos, com o desmatamento intensivo levando a um aumento do aquecimento, o qual provocaria maior evapotranspiração e diminuição da presença de água nos solos, ainda que o

valor total das chuvas não tenha sido afetado, ao passo que a vegetação original estaria sendo substituída por outra melhor adaptada à menor disponibilidade hídrica (NOBRE et al., 2005).

Mesmo com um quadro preocupante, se os dados apresentados confirmam que na Caatinga as sementes de poucas espécies são capazes de germinar quando a temperatura ultrapassa a faixa de 35⁰C, também apontam para algumas das plantas que podem ser encontradas em áreas com forte degradação (Baraúna, Canela-de-ema, Caroá, Craibeira, Tamboril e tinguí), desde que nesse processo não tenham sido extraídas para uso da madeira, retiradas para o avanço agropecuário ou utilizadas excessivamente como alimento para o gado.

Além do que já foi mencionado, esses dados indicam algumas das espécies nativas que poderiam ser utilizadas para recuperação dos ambientes degradados nesse bioma, desde que, para além da tolerância às temperaturas elevadas, sejam respeitadas algumas especificidades das plantas que possam restringir o sucesso da intervenção com o seu uso, como o estresse salino e a fertilidade dos solos, entre outros atributos que variam conforme o ambiente da Caatinga a ser recuperado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho demonstrou que as temperaturas dos solos em grande parte da região dos Cariris Velhos - PB tem aumentado ao longo do tempo, refletindo a acentuação do desmatamento e da desertificação. Ao mesmo tempo, apesar da elevada capacidade de germinação das sementes de diversas espécies da Caatinga em temperaturas elevadas, poucas são as que conseguem prosperar acima dos 35⁰C, faixa dominante nessa região para o momento mais atual da análise efetuada, o que dificulta a recuperação espontânea dessas terras através dos processos de sucessão ecológica, mesmo que delas fosse retirado o uso constante a que são submetidas.

Com base nos resultados apresentados, este trabalho indica a necessidade urgente de frear o desmatamento nessa e em outras partes do semiárido brasileiro, onde processos semelhantes podem estar ocorrendo, ao

mesmo tempo em que sinaliza possibilidades do uso de algumas espécies vegetais nativas para recuperação de áreas degradadas na Caatinga.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Ministério do Meio Ambiente/Fundo Nacional sobre Mudança do Clima ao projeto 02/2014 “Desenvolvimento de capacidades técnicas e institucionais de parceiros locais em bacias hidrográficas para o desenvolvimento de estratégias para a conservação de ambientes naturais: Conhecendo as relações biofísicas e antrópicas para subsidiar uma convivência sustentável no Alto Curso do rio Paraíba – PB” que permitiu a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; TREZZA, R.; TASUMI, M. Surface energy balance algorithms for land. **Advanced training and users manual**, version 1.0, p.98, 2002.

AMARAL, D. I. Padronização de testes em laboratório com sementes florestais. In: ARAÚJO FILHO, J. A. **Desenvolvimento sustentável da caatinga**. Sobral (CE): Ministério da Agricultura/EMBRAPA/CNPC, 1996.

ARAÚJO, V. K. R.; SANTOS, D. M.; ARAÚJO, E. L. Análise da riqueza e composição de espécies no banco de sementes em uma área de floresta tropical seca (caatinga) após simulação de um período de seca. In: SEABRA, G.; MENDONÇA, I. (Orgs.). **Educação ambiental: Responsabilidade para a conservação da sociobiodiversidade**. João Pessoa: Ed. Universitária da UFPB, 2011. p. 84-91.

BARBOSA, D. C. A. **Estudos ecofisiológicos em *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan. Aspectos da germinação e crescimento**. 1980. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

BRADY, N. C. & WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Tradução técnica: Igo Fernando Lepsch, 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

CARVAJAL, A. F. & PABÓN, J. D. Temperatura de la superficie terrestre em diferentes tipos de cobertura de la región andina colombiana. Uberlândia: **Sociedade & Natureza**, 26, (1): 95-112, jan/abr/2014.

CARVALHO, N. M. & NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000.

CHAIDEFTOU, E.; THANOS, A.; BERGNEIER, E.; KALLIMANIS, A. DIMOPOULOS P. Seed bank composition and above-ground vegetation in response to grazing in submediterranean oak forests (NW Greece). **Plant Ecology** 201 (1): 255-265, 2009.

CHANDER, G; MARKHAM, B. L; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**. p.893-903, 2009.

COSTA, R. C. & ARAÚJO, F. S. Densidade, germinação e flora do banco de sementes no solo, no final da estação seca, em uma área de caatinga, Quixadá, CE. **Acta Botânica Brasílica**, v. 17, p. 259-264, 2003.

KOHNKE, H. **Soil physics**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1968.

LABORIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington: Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos, 1983.

LIMA, J. D.; ALMEIDA, C. C.; DANTAS, V. A. V.; SILVA, B. M. S.; MORAES, W. S. Efeito da temperatura e do substrato na germinação de sementes de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. (Leguminosae, Caesalpinoideae). **Revista Árvore**, v. 30. N. 4, p. 513-518, 2006.

LIMA, C. M. R.; BORGHETTI, F.; SOUZA, M. V. Temperature and germination of the leguminosae *Enterolobium contortisiliquum*. **Rev Bras. Fisiol. Veg.** 9: 97-102, 1997.

LIU, W.; ZHANG, Q.; LIU, G. Seed banks of a river-reservoir wetland system and their implications for vegetation development. **Aquatic Botany** 90 (1): 7- 12, 2009.

MAMEDE, M. A. & ARAÚJO, F. S. Effects of slash and burn practices on a soil seed bank of caatinga vegetation in Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 72, p. 458-470, 2008.

MEIADO, M. V.; ALBUQUERQUE, L. S. C.; ROCHA, E. A. RÓJAS-ARÉCHIGA, M.; LEAL, I. R. Seed germination responses of *Cereus jamacaru* DC. ssp. *jamacaru* (Cactaceae) to environmental factors. **Plant Species Biology**, v. 25, p. 120-128, 2010.

MELO, C. M. C. & EIRA, M. T. S. Conservação de sementes de ipês (*Tabebuia* spp.). **Revista Árvore** 19 (4): 427-432, 1995.

MONDO, V. H. V.; BRANCALION, P. H. S.; CICERO, S. M.; NOVEMBRE, A. D. L. C.; DOURADO NETO, D. Teste de germinação de sementes de *Parapitdadenia rígida* (Benth.) Brenan (Fabaceae). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 2, p. 177-183, 2008.

MORAES, J. M. F. **Efeitos de diferentes níveis de água na germinação e no crescimento de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae)**. 2002. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

MYERS, N; MITTERMEIER, R.A; MITTERMEIER, C.G; FONSECA, G.A.B; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, n 403, p.853-859, 2000.

MUSY, A. & SOUTTER, M. **Physique du sol**. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1991.

NIMER, E. **Pluviometria e recursos hídricos de Pernambuco e Paraíba**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1979.

NOBRE, C. A.; ASSAD, E. D.; OYAMA, M. D. Mudança ambiental no Brasil. O impacto do aquecimento global nos ecossistemas da Amazônia e na agricultura. **Scientific American Brasil**, n. 12, p. 70-75, 2005.

NOGUEIRA, F. C. B.; SILVA, J. W. L.; BEZERRA, A. M. E.; MEDEIROS FILHO, S. Efeito da temperatura e luz na germinação de sementes de *Luetzelburgia auriculata* (Alemão) Ducke – Fabaceae. **Acta Botânica Brasílica**, 26 (4): 772-778, 2012.

OLIVEIRA, G. M.; MATIAS, J. R.; RIBEIRO, R. C.; BARBOSA, L. G.; SILVA, J. E. S. B.; DANTAS, B. S. Germinação de sementes de espécies arbóreas nativas da Caatinga em diferentes temperaturas. **Scientia Plena**, v.10, n.04, 2014.

PACHECO, M. V.; MATOS, V. P.; FERREIRA, R. L. C.; FELICIANO, A. L. P.; PINTO, K. M. S. Efeito das temperaturas e substratos na germinação de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (Anacardiaceae). Viçosa: **Revista Árvore**, v. 30, n. 3, p. 359-367, 2006.

PETTIT, A. N. A nonparametric approach to the change-point problem. **Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)**. Vol. 28, No. 2, p. 126-135, 1979.

PRAZERES, S. M. Germinação de sementes e propagação vegetativa. In: SAMPAIO, E. V. S. B.; MAYO, S. J. & BARBOSA, M. R. (eds.). **Pesquisa botânica nordestina: Progresso e perspectivas**. Recife: Sociedade Botânica do Brasil, 1996. p. 179-189.

ROUSE, J.W; HAAS, R.H; SCHELL, J.A; DEERING, D.W & HARLAN; J.C. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation**. NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD, 1974.

SALOMÃO, A. N. Tropical seeds species responses to liquid nitrogen. **Brazilian Journal of Plant Physiology** 14(2): 133-138, 2002.

SALOMÃO, A. N.; EIRA, N. M. T. S.; CUNHA, R.; SANTOS, I. R. I.; MUNDIM, R. C.; REIS, R. B. **Padrões de germinação e comportamento para fins de conservação de sementes de espécies autóctones: madeireiras, alimentícias, medicinais e ornamentais**. Brasília: EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Recursos Genéticos e Biotecnologia, Comunicado Técnico, n. 32, 1987.

SALOMÃO, A. N. & SANTOS, I. R. I. **Avaliação da tolerância ao dessecamento em sementes de espécies frutíferas nativas**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Comunicado Técnico n. 56, dez. 2001.

SAMPAIO, E. V. S. B. Características e potencialidades. In: GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. (Orgs.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: MMA, 2010. p. 29-48.

SANTOS, D. M.; SILVA, K. A.; SANTOS, J. M. F. F.; LOPES, C. G. R.; PIMENTEL, R. M. M.; ARAÚJO, E. L. Variação espaço-temporal do banco de sementes em uma área de Floresta Tropical Seca (Caatinga) – Pernambuco. Recife (PE): **Revista de Geografia**, UFPE, v. 27, n. 1, Jan/Abr. 2010.

SILVA, L. M. M. & AGUIAR, I. B. Efeito dos substratos e temperaturas na germinação de sementes de *Cnidoscopus phyllacantus* Pax & K. Hoffman (faveleira). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, n. 1, p. 9-14, 2004.

SILVA, F. F. S. & DANTAS, B. F. Efeito da temperatura na germinação de sementes de *Sideroxylon obtusifolium* (Sapotaceae) de diferentes procedências. **Revista SODEBRAS**, v. 8, n. 90, p. 40-43, junho/2013.

SILVA, B.B.; LOPES, G.M.; AZEVEDO, P.V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, vol. 20, n. 2, p.243-252, 2005.

SILVEIRA, D. G.; PELACANI, C. R.; ANTUNES, C. G. C.; ROSA, S. S.; SOUZA, F. V. D.; SANTANA, J. R. F. Resposta germinativa de sementes de caroá [Neoglaziovia variegata (ARRUDA) MEZ]. **Ciência & Agrotecnologia**, v.35, n.5, p.948-955, 2011.

SOUZA, B. I.; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R. V. Evolução da desertificação no Cariri paraibano a partir da análise das modificações na vegetação. Rio Claro: Revista **Geografia**, v. 36, n. 1, p. 193-207 janeiro a abril 2011.

TRIOLA, Mario F. **Introdução à Estatística**. 10 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.