



Inovações na Engenharia Brasileira

V.1 2020

Inovações
na Engenharia Brasileira
v.1

1588 Inovações na Engenharia Brasileira v.1/Organizadores: Francisco et al.

— Campina Grande: EPTEC, 2020.
99 f.: il. color.

ISBN: 978-65-00-14056-9

1. Engenharias. 2. Desenvolvimento Tecnológico. 3. Ideias Inovadoras. I. Francisco, Paulo Roberto Megna. II. Ribeiro, George do Nascimento. III. Medeiros, Paulo da Costa. IV. Título.

CDU 62

Os capítulos ou materiais publicados são de inteira responsabilidade de seus autores. As opiniões neles emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista do Editor responsável. Sua reprodução parcial está autorizada desde que cite a fonte.



Créditos de Imagens da Capa

Pixabay.com

Editoração, Revisão e Arte da Capa

Paulo Roberto Megna Francisco

Conselho Editorial

Djail Santos (CCA-UFPB)
Dermeval Araújo Furtado (CTRN-UFCG)
George do Nascimento Ribeiro (CDSA-UFCG)
Josivanda Palmeira Gomes (CTRN-UFCG)
João Miguel de Moraes Neto (CTRN-UFCG)
José Wallace Barbosa do Nascimento (CTRN-UFCG)
Juarez Paz Pedroza (CTRN-UFCG)
Lúcia Helena Garófalo Chaves (CTRN-UFCG)
Luciano Marcelo Fallé Saboya (CTRN-UFCG)
Paulo da Costa Medeiros (CDSA-UFCG)
Paulo Roberto Megna Francisco (CTRN-UFCG)
Soahd Arruda Rached Farias (CTRN-UFCG)
Virgínia Mirtes de Alcântara Silva (CTRN-UFCG)

Paulo Roberto Megna Francisco
George do Nascimento Ribeiro
Paulo da Costa Medeiros
(Organizadores)

**Inovações
na Engenharia Brasileira
v.1**



1.a Edição
Campina Grande-PB
2020

Realização

Portal Tecnológico de Divulgação Científica

Eventos, Pesquisas e Inovação



Apoio



Universidade Federal
de Campina Grande



SUMÁRIO

Capítulo 1.....	6
<i>CALENDÁRIO DE MANEJO BASEADO NA VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA PARA O USO DO FOGO EM PRÁTICAS AGRÍCOLAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL.....</i>	<i>6</i>
Capítulo 2.....	17
<i>ATRIBUTOS MORFOMÉTRICOS E ÍNDICES ESPECTRAIS APLICADOS AO MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS DO DELTA DO PARNAÍBA, PIAUÍ.....</i>	<i>17</i>
Capítulo 3.....	32
<i>ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO DA REGIÃO DO MÉDIO CURSO DO RIO PARAÍBA.....</i>	<i>32</i>
Capítulo 4.....	44
<i>RECUPERAÇÃO DE ÓLEO UTILIZANDO UM SISTEMA ASP (ÁLCALI – SURFACTANTE – POLÍMERO) EM ROCHA ARENÍTICA DA FORMAÇÃO DE BOTUCATU.....</i>	<i>44</i>
Capítulo 5.....	52
<i>APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DO MEXILHÃO (Mytella charruana) COMO FONTE ALTERNATIVA DE NUTRIENTES NA CULTURA DO MILHO (Zea mays L.).....</i>	<i>52</i>
Capítulo 6.....	58
<i>PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS E ÍNDICE SPAD EM CULTIVO DE BATATA DOCE IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA.....</i>	<i>58</i>
Capítulo 7.....	64
<i>FILTRAGEM EM CIRCUITOS DE MEDIÇÃO DE FREQUÊNCIA CARDÍACA UTILIZANDO FOTOPLETISMOGRAFIA.....</i>	<i>64</i>
Capítulo 8.....	72
<i>VALIDAÇÃO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO PASSIVO DE POLUIÇÃO DO AR.....</i>	<i>72</i>
Capítulo 9.....	83
<i>MODIFICAÇÕES NA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO POR COMPONENTES VEGETAIS EM SISTEMA AGROFLORESTAL NO SEMIÁRIDO.....</i>	<i>83</i>
Capítulo 10.....	93
<i>CRESCIMENTO DO MILHO (ZEA MAYS L.) MEDIANTE INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS COM RELAÇÃO CN CONTRASTANTES.....</i>	<i>93</i>
Curriculum dos Organizadores.....	99

Capítulo 1

CALENDÁRIO DE MANEJO BASEADO NA VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA PARA O USO DO FOGO EM PRÁTICAS AGRÍCOLAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL

Giordani Rafael Conceição Sodré¹
Everaldo Barreiros de Souza²
Bergson Cavalcanti de Moraes³
Davi Miranda Costa⁴

¹Dr. em Ciências Ambientais, Meteorologista, UFPA, Belém-PA, giordani@ufpa.br

²Dr. em Meteorologia, Prof. e Pesquisador, UFPA, Belém-PA, everaldo@ufpa.br

³Dr. em Ciências Agrárias, Prof. e Pesquisador, UFPA, Belém-PA, bergson@ufpa.br

⁴Graduando em Meteorologia, UFPA, Belém-PA, dm.costa2897@gmail.com

Introdução

As queimadas que ocorrem anualmente no Brasil, principalmente na Amazônia têm despertado discussões a nível mundial sobre a preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável desta região, no entanto, falar sobre queimadas na Amazônia remete-se a um tema que tem sua origem científica entre as décadas de 1980 e 1990, principalmente devido a introdução do sensoriamento remoto via satélite. Historicamente associado ao fator cultural e econômico de preparo e limpeza do solo, as queimadas produzem cinzas ricas em nutrientes que fertilizam o solo e, no curto prazo, aumentam sua produtividade, mas também provocam diversos impactos ambientais, econômicos e sociais (NEPSTAD et al., 1999). As leis que regulam o uso do fogo no campo estão presentes desde o primeiro Código Florestal criado em 1934, que segundo Cabral et al. (2013) proibiu o uso do fogo em qualquer tipo de vegetação e considerou a prática como crime florestal. Sua criação foi norteadada em um contexto baseado na expansão cafeeira na região sudeste do Brasil onde o uso do fogo foi proibido para inibir a destruição das áreas verdes próximas dos centros (OECD, 2014).

O Código Florestal aprovado em 1965 (Lei nº 4.771) continuou a coibir o uso do fogo, porém, passou a admitir exceções, pois, devido ao uso de lenha ter perdido espaço para a introdução dos combustíveis fósseis, o desenvolvimento da pecuária e a expansão sobre o território Amazônico, novos critérios foram estabelecidos como no Artigo 27, o qual reconhece que devido a peculiaridades locais o uso do fogo pode ser empregado em práticas agropastoris (CABRAL et al., 2013). No ano de

1998 o artigo 27 do Código Florestal foi transformado no Decreto Nº 2661/98 no qual regula e conceitua a queimada, introduzindo os termos queimadas controladas e incêndio florestal, onde passou a permitir o uso do fogo controlado em práticas agropastoris devidamente autorizadas pelos órgãos competentes. A partir do Código Florestal aprovado no ano de 2012 (Lei Nº 12.651/12), atualmente em vigor, o entendimento sobre o uso do fogo controlado permanece, porém estabelecendo que é preciso justificar o emprego do fogo junto ao órgão competente, cabendo a este a liberação (CABRAL et al., 2013).

Contudo, os meios de controles governamentais são escassos em recursos humanos, resultando em uma fiscalização deficiente, levando a falta de controle e o mau uso do fogo no campo, acarretando prejuízos para os fazendeiros, agricultores e para sociedade em geral, além da dispersão de grande quantidade de fumaça e aerossóis que podem contribuir na ocorrência de problemas de saúde (RIBEIRO & ASSUNÇÃO, 2002; CASTRO et al., 2016). O uso de forma indiscriminada em pequenas e médias propriedades tem elevado o índice de focos de incêndios florestais, levando a perda de grandes áreas vegetadas, impactando a biodiversidade e intensificando o processo de empobrecimento dos solos (FEARNSIDE, 2006; PEDROSO et al., 2008). Sabe-se que a maior parte das queimadas detectadas na região amazônica derivam da atividade antrópica, que segundo Cabral et al. (2013), ocorre devido o uso do fogo na região Amazônica ser tradicional e de difícil substituição, por se tratar de um método barato

e acessível aos locais mais remotos da região. A atual política de queimadas que consiste em proibir, monitorar, combater e multar, até o atual momento não surtiu os efeitos esperados, pois mesmo após décadas de legislações e regulações, a região Amazônica ainda concentra 40% dos focos de queimadas detectados anualmente, indicando a ineficiência do atual modelo de gestão para esta região (SODRÉ et al., 2018).

Para mudar o atual cenário é preciso criar mecanismos para gerenciar de forma responsável o uso do fogo e, para isso, este estudo propõe uma análise do clima local e como o mesmo pode ser usado como uma ferramenta de baixo custo no controle e combate ao uso do fogo no campo. As queimadas, mesmo possuindo uma origem predominantemente antrópica, são moduladas pela variabilidade climática da Amazônia, sendo notória a interferência dos mecanismos oceano atmosfera (El Niño e/ou La Niña) no quantitativo e principalmente sobre o momento em que a queimada será realizada (SODRÉ et al., 2018). Estes mecanismos atuam inibindo ou intensificando, respectivamente, as condições ambientais para a ocorrência de precipitação, fator limitante para a ocorrência das queimadas (SODRÉ et al., 2018).

Assim, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um calendário de manejo ambiental baseado na variabilidade meteorológica para a gestão consciente do fogo e redução de incêndios florestais para o município de Paragominas, localizada no estado do Pará, sendo esta uma ferramenta de baixo custo para órgãos de fiscalização e produtores

rurais, respeitando as leis vigentes e criando mais uma alternativa para uma gestão mais efetiva para o uso responsável do fogo no campo.

Material e Métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho foi selecionado o município de Paragominas, localizado na mesorregião nordeste do estado do Pará (Figura 1), devido o mesmo possuir características diversificadas de uso do solo, um histórico de desmatamento e queimadas significativo bem como por ter sido o primeiro município a aderir a uma política ambiental mais restritiva em relação aos demais municípios do estado do Pará (OLIVEIRA et al., 2012).

O município de Paragominas é coberto por floresta tropical, a qual sofreu processos de mudanças ao longo das últimas cinco décadas, sendo que no ano de 2008, em torno de 45% da sua área total estava totalmente desmatada ou altamente degradada pela atividade humana, equivalente a 874 mil hectares, o restante (55%) do território permanece coberto por florestas em diversos estágios de uso e conservação (SANTOS et al., 2017). As principais atividades econômicas do município são a pecuária, madeireira, produção de carvão, agricultura de pequena, média e grande escala e mineração de bauxita, que em conjunto movimentam os setores da indústria e de serviços. Em 2006, Paragominas atingiu o 11º maior PIB do Pará, com uma produção de R\$ 575 milhões a preços de mercado corrente (SANTOS et al., 2017).

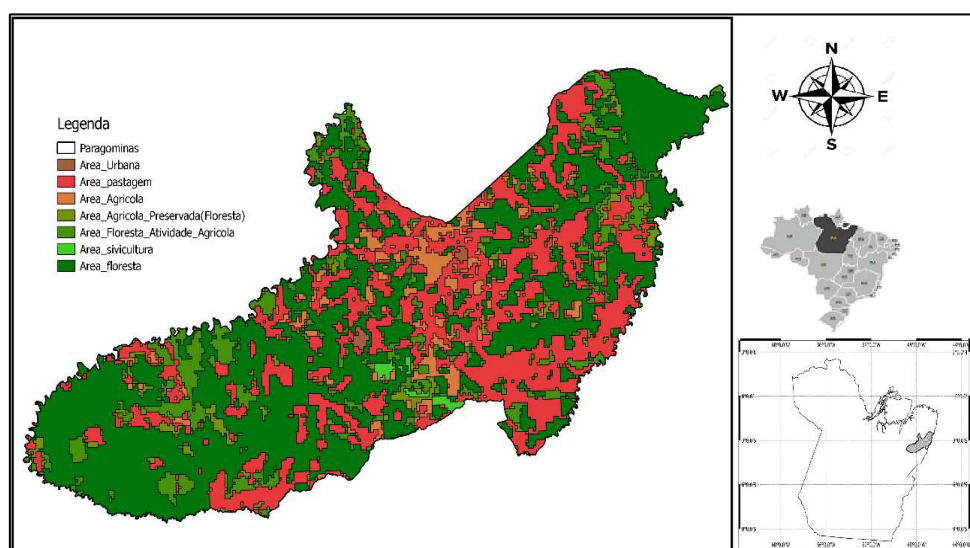


Figura 1. Localização geográfica e classificação do uso e cobertura do solo do município de Paragominas, Pará. Fonte: adaptado de IBGE (2016).

Dados de uso do solo

Os dados de uso e cobertura do solo do município de Paragominas foram adquiridos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016), que disponibiliza relatórios e um banco de dados geográficos georreferenciados de todo o território brasileiro.

Dados de focos de calor (queimada)

Os focos de calor utilizados compreendem o período de 1999 a 2016 e foram obtidos junto ao banco de dados de queimadas do INPE (2019) onde foram detectados a partir de imagens de satélites meteorológicos de órbita polares da série NOAA, EOS (TERRA/AQUA - Sensor MODIS) e satélites em órbita geoestacionária, GOES e METEOSAT de acordo com Anderson et al. (2005; 2017).

Dados de precipitação

Os dados de precipitação utilizados pertencem ao banco dados MERGE gerados e disponibilizados operacionalmente pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos e Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (CPTEC/INPE), por meio da técnica que consiste em mesclar dados de precipitação, realizando correções no volume pluviométrico, para isso é utilizando a estimativa de precipitação do Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) e a precipitação observada de estações meteorológicas do Instituto Nacional de

Meteorologia (INMET, 2013), de acordo com Huffman et al. (2007) e Rozante et al. (2010). O MERGE é disponibilizado em formato binário, possuindo resolução temporal de 3 horas e resolução espacial de 0.25° (~ 27 km), com saídas diárias (acumulado em 24 horas) cobrindo toda a América do Sul (82.8°W a 34°W e 52.2°S a 12.2°N).

Construção e validação do calendário de manejo

Para criação do calendário de manejo das queimadas foi necessário o cálculo da média de área da precipitação sobre cada forma de uso e cobertura do solo considerada e calculada a média móvel para grupos de três dias (Tabela 1), essa metodologia é baseada e adaptada das análises de pântadas de precipitação (MORAES et al., 2005; SILVA & REBOITA, 2013), com o objetivo de encontrar os dias que concentram a média pluviométrica necessária para controle de uma queimada. A média móvel foi utilizada para permitir identificar a variabilidade temporal da variável desejada, e o período de três dias foi definido com o objetivo de criar um período, não tão longo e nem tão curto, para ser usado como margem de segurança para o uso do fogo, reduzindo a ocorrência de possíveis imprecisões. Assim, 29 grupos foram criados contemplando os meses com até 31 dias, para meses com 28 ou 29 dias o calendário foi gerado considerando somente até os grupos 25 e/ou 26, respectivamente. Para meses de 30 dias o calendário foi construído até o grupo 28.

Tabela 1. Grupos de dias para cálculo das médias móveis para detecção do padrão de precipitação em anos Normais (2002, 2004, 2006, 2007, 2013), com La Niña (2000, 2001, 2008, 2009, 2011) e com El Niño (2003, 2005, 2010, 2015, 2016)

Grupo	Dias	Grupo	Dias	Grupo	Dias
1	1_3	11	11_14	21	21_24
2	2_5	12	12_15	22	22_25
3	3_6	13	13_16	23	23_26
4	4_7	14	14_17	24	24_27
5	5_8	15	15_18	25	25_28
6	6_9	16	16_19	26	26_29
7	7_10	17	17_20	27	27_30
8	8_11	18	18_21	28	28_30
9	9_12	19	19_22	29	29_31
10	10_13	20	20_23		

Fonte: MEI Index/NOAA (2019).

O limiar de precipitação necessário para o controle de uma queimada foi calculado baseando nos resultados obtidos por Mariano

(2016) e Carmo et al. (2019) que definiram três classes para identificar a intensidade da chuva a partir do volume precipitado: classe 1 – chuva

intensa (acima de 60 mm/dia); classe 2 – chuva moderada (entre 5 e 60 mm/dia) e classe 3 - chuva fraca/não chuva (menor do que 5 mm/dia). Para efeito de organização do calendário de manejo, foi considerando a média de três dias o limiar será designado como Chuva Intensa: Alerta (Úmido) (15 a 20mm), para a classe Chuva Moderada subdividiu-se em: Favorável (5 a 10mm) e Recomendado (10 a 15mm) e Chuva Fraca/Não Chuva: Alerta (seco ou 0mm).

Para validar o calendário de manejo considerou-se os meses do período seco dos anos de 2017 e 2018, observando quais mecanismos oceano-atmosfera atuaram nos respectivos anos, onde a seleção dos anos sob influência do El Niño ou La Niña foi baseado nos resultados do Multivariate ENSO Index (MEI), no qual a variação de valores positivos está relacionada com o El Niño, valores negativos com o La Niña, sendo necessário pelo menos três meses consecutivos de resultados de mesmo sinal para indicar a ocorrência dos mesmos (ASHOK et al., 2007; WOLTER & TIMLIN, 2011). Este índice foi selecionado devido ser o que apresenta o maior conjunto de variáveis que caracterizam a região de ocorrência do ENOS, possuindo uma boa acurácia na detecção dos fenômenos El Niño/La Niña (LOPES et al., 2013). A partir deste ponto selecionou-se o calendário mensal correspondente ao mecanismo atuante e avaliar o grau de acerto do mesmo em relação período de três dias de maior acumulado pluviométrico considerando as diferentes formas de uso e cobertura do solo.

Resultados e Discussão

Ajuste da área de estudo para as análises da pesquisa

As características de cobertura e uso do solo do município de Paragominas (Figura 2A) estão descritas pelo IBGE (2016) em sua análise, na qual compreendem as alterações ocorridas entre os anos de 2012 a 2014. Conforme a Figura 2B, o município possui uma grande fragmentação em relação a cobertura e uso do solo, onde a classificação do tipo de cobertura solo abrange três categorias e subclassificação baseado em Rocha et al. (2012).

Na realização dos ajustes foi necessário a extração dos tipos de cobertura do solo, alvo desta análise. Na Figura 2B tem-se o destaque das áreas de floresta, na Figura 2C as áreas de agricultura e na Figura 5E as áreas de pastagem. Após esta extração, foi selecionada a subárea que apresenta respectivamente maior predominância, resultando na Figura 2E, a qual representa a adaptação da cobertura e uso do solo da cidade de Paragominas, destacando as áreas com predominância de floresta, agricultura e pastagem. As áreas com hachuras indicam o local onde foi realizado o cálculo da média da área para os parâmetros delimitando as áreas de acordo com as zonas das hachuras (Figura 2E) e calculando a média da área do total diário de precipitação, bem como o número de focos de queimadas ocorridas sobre cada uma das três categorias de uso e cobertura do solo.

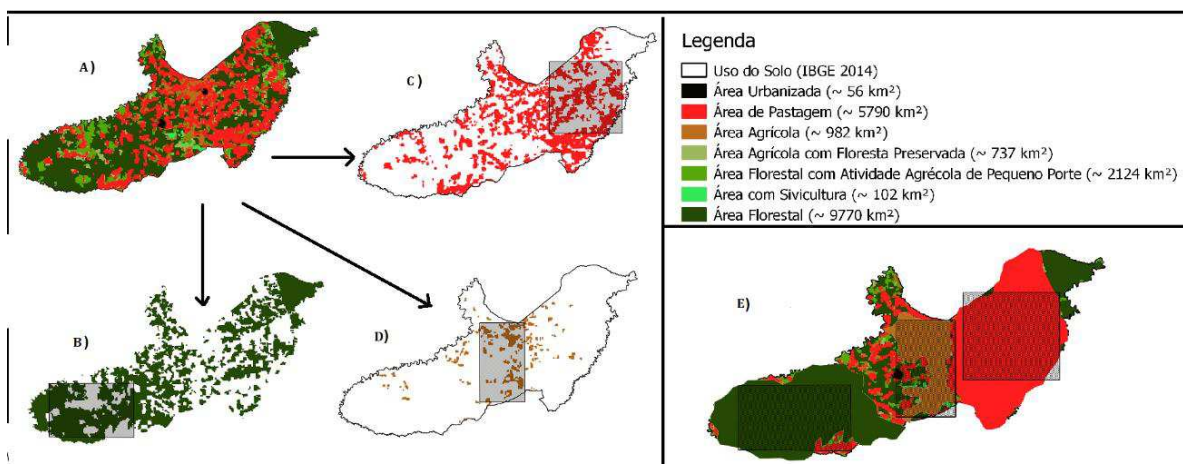


Figura 2. A) Classificação da cobertura e uso do solo; B) Áreas com predominância de Floresta Ombrófila; C) Áreas com predominância de culturas agrícolas; D) Áreas com predominância de pastagem; E) Área ajustada onde os cálculos foram realizados. Fonte: Adaptado de IBGE (2016).

A partir do ajuste da área de estudo, foi realizado a análise dos focos de queimadas,

segundo Sodré et al. (2018) e a distribuição média mensal dos focos de queimada nos

diferentes tipos de uso e cobertura do solo no município de Paragominas ocorrem no período seco (junho a novembro) e variam de acordo com a condição oceano-atmosfera que modulou o período chuvoso que o antecedeu.

Na Tabela 4 observa-se o número de focos de queimadas ocorridos somente no período seco, na qual nota-se peculiaridades na distribuição das queimadas entre as formas de uso e cobertura do solo. Onde, na área de pastagem e na de floresta observa-se uma tendência de crescimento dos focos ao longo

dos meses mais secos, padrão que na área de agricultura é observado somente em anos de La Niña, pois em anos Normais e de El Niño a dinâmica mensal das queimadas apresenta uma característica aleatória. No entanto, são os dois últimos meses do período seco que apresentam o maior número de focos. Observa-se que, o mês de novembro é o mais expressivo em termos percentuais, chegando a concentrar mais de 60% dos focos ocorridos no período seco em anos de ocorrência do El Niño (Tabela 2 A e B).

Tabela 2. A) Total de focos de queimadas observados por forma de uso e cobertura do solo em anos Normais (2002, 2004, 2006, 2007, 2013), La Nina (2000, 2001, 2008, 2009, 2011) e El Niño (2003, 2005, 2010, 2015, 2016). B) Percentual mensal do total de queimadas ocorridas no período seco em anos Normais, La Nina e El Niño

			Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
A	Pastagem	Normal	0	15	54	49	77	187
		La Nina	0	2	38	46	105	213
		El Niño	10	19	41	39	56	277
	Agricultura	Normal	46	34	45	53	43	84
		La Nina	0	14	58	53	129	57
		El Niño	73	66	43	44	42	101
	Floresta	Normal	12	4	20	29	29	69
		La Nina	0	3	20	22	90	87
		El Niño	10	30	28	45	54	43
B	Pastagem	Normal	2.3	3.8	13.8	12.5	19.7	47.8
		La Nina	0.0	0.5	9.4	11.4	26.0	52.7
		El Niño	2.3	4.3	9.3	8.8	12.7	62.7
	Agricultura	Normal	15.1	11.1	14.8	17.4	14.1	27.5
		La Nina	1.0	4.5	18.5	16.9	41.1	18.2
		El Niño	19.8	17.9	11.7	11.9	11.4	27.4
	Floresta	Normal	7.4	2.5	12.3	17.8	17.8	42.3
		La Nina	0.0	1.4	9.0	9.9	40.5	39.2
		El Niño	4.8	14.3	13.3	21.4	25.7	20.5

Fonte: BD Queimadas (2019); INPE/MEI Index/NOAA (2019).

Segundo Mochiutti et al. (1997) e Morello e Ferreira (2012), diferente das áreas agricultáveis a pastagem produz biomassa com maior fator de combustão, acumulando-se ao longo do período seco, resultando na queima para limpeza do solo e renovação da vegetação no final do mesmo, obedecendo o ciclo, onde no início do período seco o pasto novo ainda úmido é consumido pelo gado, com o avanço do período seco e a escassez das chuvas e com um solo com baixo teor de infiltração o pasto transforma-se em uma biomassa ressecada e assim a queima é realizada para limpeza e renovação desta vegetação.

Na área de agricultura, o fogo não é usado somente como fechamento de um ciclo e

renovação da vegetação, mas como uma forma de gestão e preparação para o plantio e fertilização do solo, assim, a medida que a necessidade da criação de uma nova área para cultivo surge, a queimada é utilizada como principal ferramenta (CABRAL et al., 2013; MESQUITA, 2008). Esta condição que, pode ser o motivo do padrão mensal aleatório do número de focos de queimadas especificamente nesta área (Tabela 2 A), com exceção dos anos de La Niña, os demais meses não apresentam uma grande amplitude entre o total de focos observados, sendo o mês de novembro o mais significativo, indicando que as queimadas ocorrem de forma aleatória, quando as condições ambientais são favoráveis.

Apesar do mês de novembro ser ligeiramente superior, em números de focos de queimadas, o valor mais expressivo ocorre no mês de outubro em anos de La Niña, o qual corresponde a mais de 40% do total de focos do período seco Tabela 2(B). Sodré et al. (2018) avaliam que esta característica ocorre devido o maior volume pluviométrico no primeiro semestre característico de anos de ocorrência deste mecanismo oceano-atmosfera, onde os produtores passam a realizar a queima somente no segundo semestre, a medida que o ambiente vai ressecando, caracterizando a tendência crescente das queimadas que culmina em uma concentração mais rápida de queimadas em relação aos demais anos.

Ainda na Tabela 2A, observa-se que a área de floresta é um reflexo do padrão encontrado principalmente na área da agricultura, apresentando uma dinâmica com características similares ao comportamento médio observado, ou seja, se o quantitativo de queimadas eleva-se nas áreas adjacentes a região de floresta responde positivamente e

vice-versa, como pode ser observado na Tabela 2B, onde em anos de La Niña o mês de outubro concentra mais 40% dos focos registrados, acompanhado o mesmo padrão da área de agricultura. Esta característica evidencia o efeito de borda amplamente abordado na literatura (FERRAZ, 2011; MULLER et al., 2010).

Calendário de manejo

Como pode ser observado na Figura 3, na qual é apresentado o calendário construído para o mês de outubro, onde nota-se que, os períodos favoráveis para utilização do fogo variam entre as formas de uso e cobertura do solo e também em relação ao padrão da interação oceano-atmosfera que está modulando o regime pluviométrico. Na área de agricultura em anos normais e de El Niño, apresenta uma antecipação do período favorável ao uso do fogo, enquanto para a área de pastagem em anos de La Niña, o mês de outubro apresenta oportunidades de manejo do fogo bem mais frequente que as observadas no mesmo período na área de agricultura.

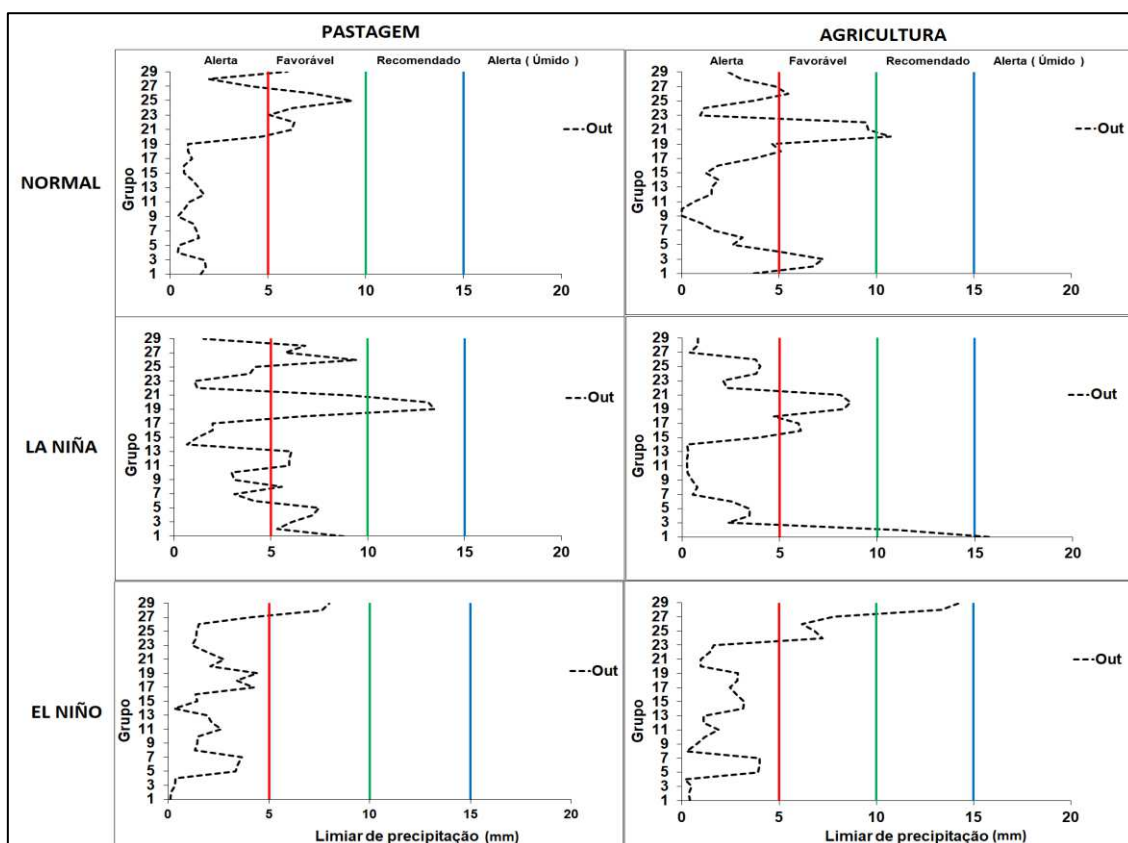


Figura 3. Calendário de manejo referente ao mês de outubro para as áreas de pasto e agricultura para anos normais, de La Niña e El Niño.

Com esta informação é possível indicar para o produtor que se encontra na área onde predomina a pastagem que, caso ele necessite, o

uso de fogo deverá ser feito a partir do grupo 17 que compreende a variação pluviométrica entre os dias 17 e 20, caso o objetivo seja não deixar o

fogo espalhar-se para áreas indesejáveis, pois a tendência dos grupos da sequência é ocorrer um episódio de precipitação. Caso a intensão seja realizar uma queima com baixo risco, o indicado é realizar a queima dentro dos grupos 19 a 21 e 23 a 25 (Tabela 1). Estes passos devem ser seguidos nas demais áreas como forma de manter a segurança no uso do fogo no campo. Este calendário não descarta as outras medidas já conhecidas, como aceiros, horários de queima, bem como a relação com a direção e intensidade do vento (FARIAS & BIM, 2018). Este método deve apenas somar-se aos

procedimentos existentes para redução dos riscos que envolvem o uso do fogo no campo.

Validação do calendário de manejo

O ano de 2017 apresenta condições, segundo o índice MEI, próximas a neutralidade (Tabela 3) indicando que o mesmo configura-se como um ano de condições normais, enquanto que, para o ano de 2018 o índice indica uma tendência negativa caracterizando a configuração do evento de La Niña, assim, o mês de outubro de cada ano (2017, 2018) foi selecionado considerando o mecanismo oceano atmosfera atuante.

Tabela 3. Variabilidade mensal do índice MEI (Multivariate Enso Index)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2017	-0,4	0,4	0,6	0,2	0,2	0,3	0,7	0,8	0,8	0,6	0,6	0,7
2018	0,8	0,7	0,8	1,3	0,9	0,5						

Fonte: NOAA/MEI-Index (2019).

Observando a Figura 4, nota-se que os eventos de precipitação ocorrem dentro ou bem próximos do período estimado pelo calendário de manejo, indicando a eficiência do mesmo para o mês selecionado para os respectivos anos escolhidos. Seguindo o calendário de manejo para região de pastagem, tanto para outubro de 2017 quanto para 2018, observa-se que haveria

precipitação antes do momento indicado como favorável, em que esta condição favorece o controle da queimada devido à elevação da umidade sobre solo, que segundo Nascimento et al. (2016), tratando-se de uma vegetação composta com gramado, esta condição pode ser fator fundamental para a redução do risco de um incêndio.

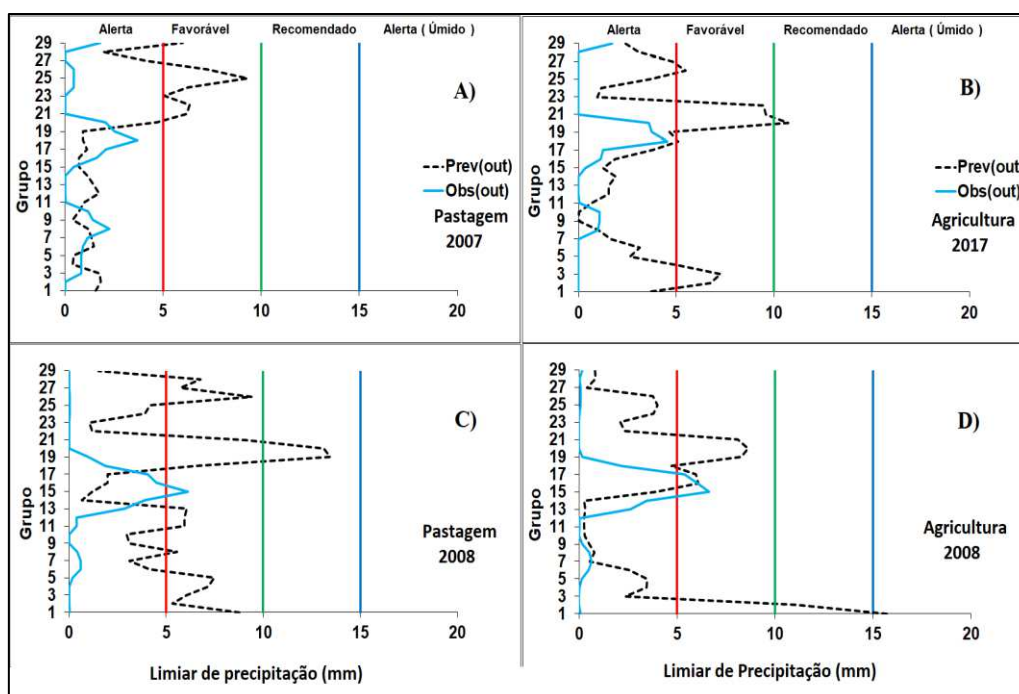


Figura 4. Precipitação observada (em preto) e revisão (em azul), A) para a queima na área de pastagem no ano de 2017; B) para a área de agricultura no ano de 2017; C) para a queima na área de pastagem no ano de 2018; D) para a área de agricultura no ano de 2018.

Para a área de agricultura observa-se que, a precipitação ocorre dentro do padrão

estabelecido no calendário, condição que indica que a queimada também deve ser realizada após

a ocorrência de uma precipitação, condição que propicia maior controle e menor risco da perda de controle do fogo.

A importância de estabelecer padrões de manejo foi abordado por Borges et al. (2016) onde analisaram o manejo do fogo em áreas de cerrado destacando os resultados obtidos em outros experimentos, como no contexto Europeu, ecossistemas mediterrâneos e montanhosos adaptados ao fogo foram influenciados por políticas de exclusão das queimadas nos anos 1970 e 1980. Tais políticas, influenciadas também pelo êxodo rural, provocaram mudanças na quantidade de combustível com consequente aumento de incêndios. Estes problemas levaram os gestores das áreas protegidas a reintroduzir o uso do fogo nesses ecossistemas. Esta mudança de paradigma foi chamada de reabilitação ecológica do fogo por Ribet (2007).

No Brasil, as regras de gestão do fogo, codificadas na legislação (BRASIL, 1979, 1988, 1998, 2012), não são consideradas legítimas por muitas comunidades, pois estas normas incorporam pouco ou nenhum conhecimento local. Além disto, não considerarem obstáculos e restrições enfrentadas por estas comunidades (CARMENTA et al., 2013). Somadas ao êxodo rural, tais medidas tendem a enfraquecer os sistemas coletivos de uso controlado de fogo, tanto no Cerrado (MISTRY & BIZERRIL, 2011) como na Amazônia (TONIOLO, 2004; URIARTE et al., 2012), além de desqualificar sistemas agrícolas tradicionais. Isto pode, muitas vezes, explicar a ocorrência de incêndios devastadores, já que as dificuldades e restrições na emissão de autorização para uso fogo leva esta atividade à ilegalidade e até mesmo à perda de conhecimentos e práticas relacionadas ao fogo.

No Cerrado, essa é uma questão recente e ainda não consensual, principalmente em áreas protegidas (RIBEIRO & FIGUEIRA, 2011). Nestas áreas, em consequência às tentativas oficiais de restrição total ao fogo (Política do Fogo Zero), a ocorrência de incêndios pode ser maior e contribuir para uma intensificação de incêndios tardios, ao fim da estação seca (MOUTINHO, 2014).

Segundo Silva et al. (2011), nos últimos 50 anos, as transformações dos sistemas agrários tradicionais e não-mecanizados no Cerrado, implicaram em mudanças significativas nos regimes de fogo, antigamente, as queimadas eram realizadas predominantemente no início de estação seca e foram substituídas por

queimadas de fim de estação seca, ocasionando incêndios de grande extensão e intensidade, provocando maior mortalidade de plantas e consequências para o abastecimento de mananciais.

No contexto amazônico o uso controlado do fogo possui uma abordagem mais complexa, segundo as informações do banco de dados de queimadas do INPE (2019) entre os anos de 1997 à 2017 (21 anos) a contribuição no cenário nacional das queimadas na Amazônia saltou de 20 para 40% tornando-se a região que mais contribui com as queimadas no Brasil (BD QUEIMADAS/INPE, 2019), no entanto pesquisas recentes mostram que o caminho a ser percorrido para o controle dessa prática passa pela sua gestão ambiental na forma do manejo controlado desta prática (MARTINS et al., 2016; SANTOS et al., 2018).

Martins et al. (2016), mostraram como o manejo controlado do fogo em assentamentos na região de Carajás conseguiu reduzir os prejuízos causados pelas queimadas e observaram que houve maior controle dos prejuízos nas comunidades assistidas pelo programa de prevenção contra incêndios florestais, além de uma diminuição importante nos focos de calor nas UC do Mosaico de Carajás, alcançando resultados satisfatórios para a sustentabilidade e pautados na parceria com as comunidades, demonstrando que a estratégia da presença rotineira e da educação ambiental deve ser considerada para a redução das queimadas no Brasil e para a redução dos ilícitos ambientais como um todo.

Santos et al. (2018) realizaram trabalho abordando o uso controlado do fogo em áreas de preservação no município de Novo Progresso, obtendo resultados similares aos de Martins et al. (2016). Onde, as técnicas de prevenção a incêndios adotadas demonstraram ser eficientes no controle do fogo e que os incidentes ocorridos dentro das áreas de conservação foram causados por agricultores próximos que não adotaram práticas preventivas estabelecidas para o manejo controlado do fogo no período indicado pelo projeto.

Assim, o manejo adequado do fogo no campo, pode ser o primeiro passo para o controle e redução das queimadas na Amazônia, segundo Anderson et al. (2019) a mensuração do impacto é subestimada devido à falta de um sistema integrado que vise catalogar os impactos diretos e perdas econômicas associadas a incêndios florestais. Mesmo que

tais incêndios não ganhem proporções catastróficas, como ocorreu em 1998, 2005, 2010 e 2015/16, eles impõem danos relevantes na escala individual, a pequenos e grandes produtores, a povos tradicionais e ecossistemas e seus serviços ambientais. Ainda segundo Anderson et al. (2019) a lição a ser retirada desses desastres é que é necessário, em primeiro lugar, desmistificar a queimada, de modo a evitar que a mesma se transforme em um tabu por conta da criminalização indevida.

Conclusão

O calendário de manejo mostrou-se eficiente na detecção do melhor período para realizar o uso do fogo no campo e a redução do risco de incêndio florestal, indicando que o mesmo pode ser uma importante contribuição no processo de controle e redução das queimas na Amazônia, tomando como exemplo está pesquisa no município de Paragominas no estado do Pará.

Referências

ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. O. C.; LIMA, A.; SHIMABUKURO, Y. E. Burn scar detection based on linear mixture model and vegetation indices using multitemporal data from MODIS/TERRA sensor in Mato Grosso State. *Acta Amazonica*, v.35, n.4, p.445–456, 2005.

ANDERSON, L. O.; CHEEK, D.; ARAGAO, L. E.; ANDERE, L.; DUARTE, B.; SALAZAR, N.; LIMA, A.; DUARTE, V.; ARAI, E. Development of a point-based method for map validation and confidence interval estimation: a case study of burned areas in Amazonia. *Journal of Remote Sensing & GIS*, v.6, n.1, p.1–9, 2017.

ANDERSON, L. O.; MARCHEZINI, V.; MORELLO, T. F.; CUNNINGHAM, C. A. Conceptual model of disaster risk management and warning system associated with wildfires and public policy challenges in Brazil. *Territorium*, v.26, n.26, p.43–61, 2019.

ASHOK, K.; BEHERA, S. K.; RAO, S. A.; WENG, H. YAMAGATA, T. El Niño Modoki and its possible teleconnection. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v.112, n.11, p.1–27, 2007.

BORGES, S. L.; ELOY, L.; SCHMIDT, I. B.; BARRADAS, A. C. S.; SANTOS, I. A. Manejo do fogo em veredas: novas perspectivas a partir dos sistemas agrícolas tradicionais no Jalapão. *Ambiente & Sociedade*, v.19, n.3, p.275–300, 2016.

BRASIL. Decreto nº 84.017, de 21 de setembro de 1979. Aprova o regulamento dos parques nacionais brasileiros. *Diário Oficial da União*.

Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/parnaguimaraes/images/stories/legislacao/decreto_federal_1979_84017.pdf. Acesso em: 20 junho 2019.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 11, de 14 de dezembro de 1988. Dispõe sobre as queimadas nas Unidades de Conservação. *Diário Oficial da União*, Seção 1, 11/08/1989: 13661. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/1988/res_conama_11_1988_recuperacaonaturalucs.pdf. Acesso em: 20 junho 2019.

BRASIL. Decreto nº 2.661, de 8 de julho de 1998. Regulamenta o parágrafo único do art. 27 da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (Código Florestal), mediante o estabelecimento de normas de precaução relativas ao emprego do fogo em práticas agropastoris e florestais, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, 9/07/1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2661.htm. Acesso em: 25 junho 2019.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (Novo Código Florestal), art. 38 que trata da regulamentação do uso do fogo, no inciso II. *Diário Oficial da União*, 28/05/2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 25 junho 2019.

CARMENTA, R.; VERMEYLEN, S.; PARRY, L.; BARLOW, J. Shifting cultivation and fire policy: insights from the Brazilian Amazon. *Human Ecology*, v.41, n.4, p.603–614, 2013.

CARMO, L. F. R.; VASCONCELLOS, F. C.; MENEZES, W. F.; VASCONCELLOS, E. C. Analysis of instability indexes for intense, moderate and low/no rain in southern and southeastern regions of Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências*, v.42, n.1, p.769–782, 2019.

CASTRO, F. R.; BASTOS, D. M. R. F.; LUANA, M. M. S.; NUNES, J. L. S. Impactos das queimadas sobre a saúde da população humana na Amazônia Maranhense. *Rev. Pesq. Saúde*, v.17, n.3, p.141–146, 2016.

FARIAS, T.; BIM, E. F. Limites ao uso do fogo (queima controlada) no canal e em outras práticas agropastoris ou florestais. *Revista de Direito da Cidade*, v.10, n.4, p.2182–2218, 2018.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonica*, v.36, n.3, p.395–400, 2006.

FERRAZ, A. C. P. Border effects on arthropods in tropical forests, with emphasis on diptera

- ciclorrapha. *Oecologia Australis*, v.15, n.2, p.189–198, 2011.
- HUFFMAN, G. J.; ADLER, R. F.; BOLVIN, D. T.; NELKIN, E. J.; WOLF, D. B. The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of Hydrometeorology*, v.8, n.1, p.38–55, 2007.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa de informações ambientais/uso e cobertura do solo. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv99649.pdf>. Acesso em: 28 julho 2018.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia, Portal. 2013. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal>. Acesso em: 30 agosto 2018.
- LOPES, M. N. G.; DE SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. S. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.12, n.1, p.84-102, 2013.
- CABRAL, A. L. A.; FILHO, L. O. M.; BORGES, L. A. C. Uso do fogo na agricultura: legislação, impactos ambientais e realidade na Amazônia. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v.9, n.5, p.159–172, 2013.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Banco de Dados de queimadas. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdq>. Acesso em: 31 de abril. 2019.
- MEI Index /NOAA. Multivariate ENSO Index/National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponível em: <https://psl.noaa.gov/enso/mei/>. Acesso em: 10 de maio. 2019.
- MARIANO, S. R. Análise de diferentes volumes de água no combate aos incêndios florestais. 30f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal). Universidade Federal do Espírito Santo. Jerônimo Monteiro, 2016.
- MARTINS, F. D.; CUNHA, A. M. C.; CARVALHO, A. S.; COSTA, F. G. Grupos de queimada controlada para prevenção de incêndios florestais no mosaico de carajás. *Biodiversidade Brasileira*, v.6, n.2, p.121–134, 2016.
- MESQUITA, A. G. G. Impactos das queimadas sobre o ambiente e a biodiversidade acreana. *Revista Ramal de Ideias*, v.1, n.1, p.14, 2008.
- MISTRY, J.; BIZERRIL, M. Por que é importante entender as inter-relações entre pessoas, fogo e áreas protegidas? *Bio Brasil Revista Científica*, v.2, p.40–49, 2011.
- MORAES, B. C. D.; COSTA, J. M. N. D.; COSTA, A. C. L. D.; COSTA, M. H. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazonica*, v.35, n.2, p.207-214, 2005.
- MORAES, B. C.; SODRÉ, G. R. C.; SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. S.; OLIVEIRA, J. V. Sensoriamento remoto como ferramenta para a determinação da estação chuvosa na Amazônia. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.8, n.5, p.1275–1291, 2015.
- MORELLO, T. F.; FERREIRA, A. E. M. Uso agrícola do fogo no estado do Pará: determinantes socioeconômicos. *Cadernos Cepec*, v.1, n.4, p.1-23, 2012.
- MOUTINHO, S. Fogo Amigo: estudos mostram que a prática indígena de queimar grandes áreas de cerrado é benéfica para o bioma. *Ciência Hoje*. 314. maio, 2014. Disponível em: <https://axa.org.br/2014/06/fogo-amigo/>. Acesso em: 20 de setembro 2018.
- MULLER, A.; BATAGHIN, F. A.; SANTOS, S. C. Efeito de borda sobre a comunidade arbórea em um fragmento de floresta ombrófila mista, Rio Grande do Sul, Brasil. *Perspectiva*, v.34, n.125, p.29–39, 2010.
- NASCIMENTO, J. S. M.; AGUIAR, R. G.; WEBLER, A. D.; FISCHER, R. G.; AGUIAR, L. J. G.; RUEZZENE, C. B. Variáveis meteorológicas em áreas de floresta e pastagem na Amazônia ocidental em anos de eventos extremos. *Ciência e Natura*, v.38, ed. esp., p.217-224, 2016.
- NEPSTAD, D. C.; VERÍSSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDOZA, E.; COCHRANE, M.; BROOKS, V. Large-scale impoverishment of amazonian forests by logging and fire. *Nature*, v.398, p.505–508, 1999.
- OLIVEIRA, R. S.; GOMES, S. C.; CABRAL, E. R. Da condição de município “Marrom” a município “Verde”: o caso de Paragominas – PA. *Revista de Administração e Negócios da Amazônia*, v.4, n.2, 2012.
- O QUE É O CÓDIGO FLORESTAL. Dicionário Ambiental. O ECO, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.oeco.org.br/>. Acesso em: 28 de março de 2019.
- PEDROSO JR, N. N.; MURRIETA, R. S. S.; ADAMS, C. A agricultura de corte e queima: um sistema em transformação. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, v.3, n.2, p.153–174, 2008.
- RIBEIRO, H.; ASSUNÇÃO, J. V. Efeitos das queimadas na saúde humana. *Estudos Avançados*, v.16, n.44, p.125–148, 2002.
- RIBEIRO, M. C.; FIGUEIRA, J. E. C. Uma abordagem histórica do fogo no Parque

Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais-Brasil. *Bio Brasil Revista Científica*, n.2, p.1-16, 2011.

RIBET, N. La maîtrise du feu: un travail “en creux” pour façonner les paysages. *Travail et Paysages*, p.167-198, 2007. Disponível em: <http://www.eufirelab.org/toolbox2/library/upload/2710.pdf>. Acesso em: 20 setembro 2018.

ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A.; ESTANQUEIRO, R.; SOUSA, P. M. Classificação de uso do solo urbano através da análise linear de mistura espectral com imagens de satélite. *Finisterra*, v.42, n.83, p.47-62, 2012.

ROZANTE, J. R.; MOREIRA, D. S.; GONCALVES, L. G. G.; VILA, D. Combining TRMM and surface observations of precipitation: technique and validation over South America. *Weather and Forecasting*, v.25, n.3, p.885-894, 2010.

SANTOS, E. M.; SANTOS, F. A. A. S.; GOMES, M. V. C. N.; SANTOS, V. C.; NEVES, R. R. Análise espacial das ações do programa “municípios verdes”: Estudo de caso no município de Paragominas-PA. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, v.11, n.1, p.21-35, 2017.

SANTOS, J. A. C.; PAULETTO, D.; MOTA, C. G.; SILVA, S. U. P.; GOMES, V. S. Uso do fogo na agricultura: medidas preventivas e queima controlada no projeto de desenvolvimento sustentável terra nossa, Novo Progresso, Pará. *Revista Agroecossistemas*, v.10, n.2, p.353, 2018.

MOCHIUTTI, S.; FILHO, A. P. S. S.; MEIRELLES, P. R. L. Efeitos da frequência e época de queima sobre a produção e rendimentos das espécies de pastagem nativa de cerrado do Amapá. [s.l.: s.n.], 1997. Disponível em: [\[frequencia-e-epoca-de-rocada-sobre-a-producao-e-rendimentos-das-especies-de-uma-pastagem-nativa-de-cerrado-do-amapa\]\(https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/400468/efeito-da-frequencia-e-epoca-de-rocada-sobre-a-producao-e-rendimentos-das-especies-de-uma-pastagem-nativa-de-cerrado-do-amapa\). Acesso em: 16 junho 2019.](https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/400468/efeito-da-</p></div><div data-bbox=)

SILVA, D. M.; LOIOLA, P. P.; ROSATTI, N. B.; SILVA, I. A.; CIANCIARUSO, M. V.; BATALHA, M. A. Os efeitos dos regimes de fogo sobre a vegetação de cerrado no Parque Nacional das Emas, GO: considerações para a conservação da diversidade. *Bio Brasil Revista Científica*, n.2, p.26-39, 2011.

SILVA, E. D.; REBOITA, M. S. Estudo da precipitação no estado de Minas Gerais-MG. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.9, n.13, 2013.

SODRÉ, G. R. C.; DE SOUZA, E. B.; DE OLIVEIRA, J. V.; MORAES, B. C. Cálculo de risco e detecção de queimadas: uma análise na Amazônia oriental. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n.49, p.1-14, 2018.

TONIOLO, M. A. The role of land tenure in the occurrence of accidental fires in the amazon region: case studies from the national forest of Tapajós, Pará, Brazil. 232f. (Tese). Indiana University. Indiana, 2004.

URIARTE, M.; PINEDO-VASQUEZ, M.; DEFRIES, R. S.; FERNANDES, K.; GUTIERREZ-VELEZ, V.; BAETHGEN, W. E.; PADOCH, C. Depopulation of rural landscapes exacerbates fire activity in the western Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v.109, n.52, p.21546-21550, 2012.

WOLTER, K.; TIMLIN, M. S. El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). *International Journal of Climatology*, v.31, n.7, p.1074-1087, 2011.

Capítulo 2

ATRIBUTOS MORFOMÉTRICOS E ÍNDICES ESPECTRAIS APLICADOS AO MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS DO DELTA DO PARNAÍBA, PIAUÍ

João Victor Alves Amorim¹
Gustavo Souza Valladares²
Mirya Grazielle Torres Portela³
Marcos Gervasio Pereira⁴
Andrea Maciel Lima⁵

¹Me. em Geografia, Prof. do Colégio Técnico de Bom Jesus, UFPI, Bom Jesus-PI, amorim@ufpi.edu.br

²Dr. em Agronomia - Ciência do Solo, Prof. do curso de Geografia, UFPI, Teresina-PI, valladares@ufpi.edu.br

³Dra. em Agronomia – Produção Vegetal, Profa. do Instituto Federal do Piauí, IFPI, Cocal-PI, mirya.portela@ifpi.edu.br

⁴Dr. em Agronomia – Ciência do Solo, Prof. Titular Depto. de Solos, UFRRJ, Seropédica-RJ, mgervasiopereira01@gmail.com

⁵Doutoranda em Geografia, UFG, Goiânia-GO, andreamaciel@discente.ufg.br

Introdução

No Brasil, os investimentos para o mapeamento e classificação de solos têm decrescido gradativamente, tendo como uma das principais justificativas os custos elevados, a extensão das áreas a serem mapeadas e a dificuldade de acesso em alguns lugares aliando ainda aos problemas de precisão da informação, confiabilidade das interpretações qualitativas e dificuldade de extrapolação da informação para outras áreas. Como consequência, muitos dos levantamentos pedológicos são realizados apenas em escalas de reconhecimento e de nível exploratório e apenas 3% do território brasileiro é coberto por reconhecimentos de alta intensidade, semidetalhados e detalhados (SANTOS et al., 2013; IBGE, 2015).

A demanda por mapeamentos de solos em escalas mais detalhadas é necessária para embasar os estudos relacionados ao uso sustentável das terras, entre os diversos estudos envolvendo o meio ambiente, destacando os geográficos, agrônômicos, geológicos, biológicos e pedológicos. Determinados usos do solo contribuem significativamente para a contaminação dos recursos hídricos e, conseqüentemente, do ambiente, gerando prejuízos econômicos e sociais (NOWATZKI & SANTOS, 2014).

Um conjunto de novos métodos tem sido utilizado no intuito de contribuir com a cartografia pedológica, oferecendo ferramentas de apoio aos mapeamentos de solos em escalas de maior detalhe, para auxiliarem na

determinação de limites e unidades com maior exatidão. Através da interdisciplinaridade dos estudos dos solos com outros ramos do conhecimento, como por exemplo, a Geostatística e o Sensoriamento Remoto, tem-se uma evolução da pedologia onde os solos são tratados também de forma quantitativa (KER et al., 2017; NOVAIS, 2017).

Segundo Silveira (2010), a modelagem quantitativa e digital dos solos é designada de Pedometria. Essa técnica consiste na aplicação de métodos matemáticos e estatísticos para o estudo da gênese do solo assim como da sua caracterização temporo-espacial (McBRATNEY & MINASNY, 2013). A utilização da pedometria é capaz de aumentar a viabilidade de execução dos levantamentos de solos, tendo em vista a utilização de informações relacionadas a seus fatores de formação, dentre outras, para a classificação, objetivando o ganho de tempo e a otimização de recursos, assim como incrementar os trabalhos convencionais de pedologia, possibilitando que áreas de maior abrangência sejam mapeadas digitalmente (NOLASCO-CARVALHO et al., 2009).

Apesar de ser realizado há pouco mais de duas décadas, ainda não há um conhecimento sistematizado sobre a variabilidade espacial do solo, e não existe uma metodologia padrão para Mapeamento Digital de Solos (MDS). Dentro do possível, os procedimentos devem ser uniformizados. Todavia, ressalta-se a abordagem por Árvores de Decisão (AD) nas pesquisas em pedometria. Os estudos que

empregam essa técnica têm como objetivo utilizar uma abordagem quantitativa relacionando os fatores de formação e classes de solos de forma similar ao raciocínio do pedólogo (CRIVELANTI et al., 2009; GIASSON et al., 2011).

As ADs buscam aplicar técnicas robustas para a extração de padrões em grandes conjuntos de dados e tem sido empregadas por apresentar a vantagem de possibilitar a expressão das relações solo-paisagem de maneira explícita, o agrupamento e a busca por padrões, além de possibilitar o entendimento de como esses dados são interrelacionados (KHEIR et al., 2010; HÖFIG et al., 2014).

Diante disso, é essencial que se forneçam critérios sólidos e racionais que justifiquem a continuidade dos financiamentos de pesquisas de pedometria no Brasil, tendo em vista que, a informação do solo norteia os planos em importantes decisões, tais como a apropriação de áreas de elevada fragilidade ambiental, como zonas costeiras, por exemplo (ROSA, 2012).

As zonas costeiras abrigam um conjunto complexo de ecossistemas de alta relevância ambiental e desempenham importantes funções de cunho ecológico e socioeconômico. Caracterizam-se como ambientes de grande diversidade geológica, geomorfológica, pedológica e paisagística. Contudo, esse ambiente frágil apresenta elevadas taxas de crescimento urbano e concentração demográfica, o que o caracteriza como área de vulnerabilidade física e social (BARROS & MUEHE, 2010; MARANDOLA JÚNIOR et al., 2013).

A zona costeira do estado do Piauí apresenta paisagens compostas por praias, planícies fluviomarinhas, planícies fluviolacustres, dunas (fixas, semifixas, móveis e paleodunas), planícies de deflação eólica, além de ilhas deltaicas, submetidas a intervenções humanas que alteram a dinâmica natural desses sistemas ambientais. Dentre essas paisagens ressalta-se o Delta do Rio Parnaíba, situado na porção norte do litoral piauiense. Sua paisagem é constituída por diversos ecossistemas frágeis e materiais pouco consolidados, possuindo uma elevada beleza cênica, onde diversos processos erosivos e de deposição atuam sobre ela,

caracterizando, dessa forma, um ambiente altamente dinâmico (AMORIM et al., 2019).

Nesse sentido, para a conservação desse ambiente natural e sustentabilidade na exploração dos recursos naturais, são necessários estudos para investigar os solos, suas limitações e potencialidades, pois acredita-se que essas áreas, assim como outros ambientes costeiros em regiões tropicais do mundo, sejam importantes centros de manutenção ambiental e socioeconômica das sociedades.

Partindo do exposto, o objetivo do trabalho é realizar o mapeamento digital das classes de solo do Delta do Parnaíba - Piauí utilizando atributos morfométricos oriundos de modelos digitais de elevação (MDEs) e índices espectrais por meio do método de Árvores de Decisão.

Material e Métodos

Caracterização da área de estudo

O estado do Piauí apresenta uma linha de costa de 66 km. Apesar de ser considerada relativamente pequena em termos de extensão, a região costeira piauiense destaca-se como um ambiente que apresenta grande diversidade natural de ecossistemas, que se diferenciam uns dos outros por apresentar características únicas e particulares. O recorte espacial da área de estudo corresponde a área do Delta do Parnaíba, de aproximadamente 282 km², inserida nos limites do estado do Piauí, que integra a APA Delta do Parnaíba, criada por meio do Decreto s/n de 28 de agosto de 1996 (BRASIL, 1996), parte da RESEX Delta do Parnaíba criada através do Decreto s/n de 16 de novembro de 2000 (BRASIL, 2000) e abrange o município de Ilha Grande e parcialmente o município costeiro de Parnaíba.

A área apresenta destaque pela importância socioeconômica e ambiental tendo em vista a diversidade de ambientes e sistemas naturais (PORTELA et al., 2020) e que subsidiam atividades econômicas importantes, a exemplo da turística, extrativismo, dentre outras. Está regulamentada na Legislação Brasileira a partir da Lei Federal N° 9.985, de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Brasileiro de Unidades de Conservação (SNUC) (BRASIL, 2000) (Figura 1).

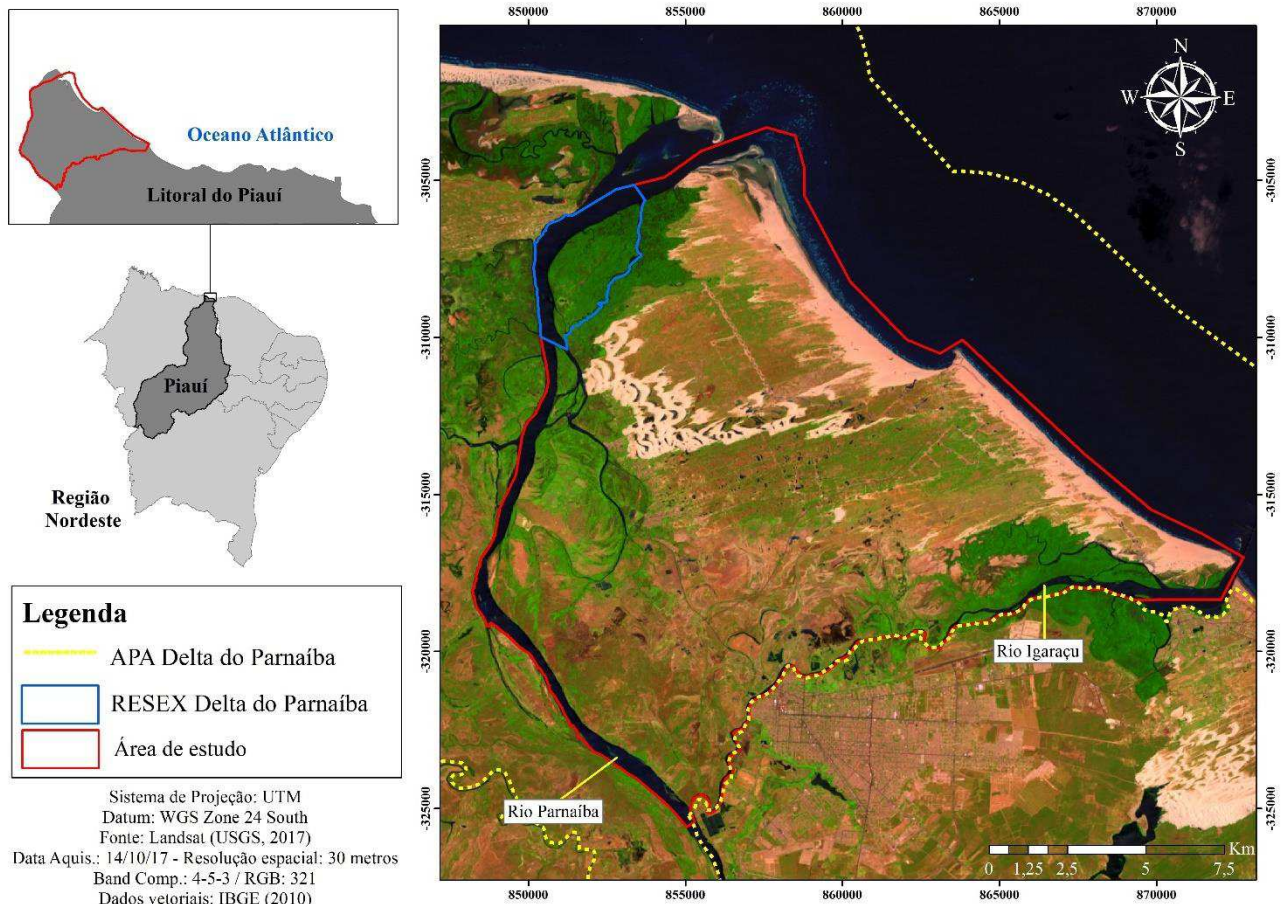


Figura 1. Localização da área de estudo.

Fonte: adaptado de IBGE (2010); U.S. Geological Survey (2017).

Com relação à climatologia, a área sofre influência de um clima do tipo Tropical-Equatorial, com chuvas distribuídas sazonalmente registrando máximas no outono, sendo possível identificar duas estações bem definidas, uma chuvosa durante os primeiros meses do ano, de janeiro a maio, e outra seca que ocorre no segundo semestre, de julho a dezembro (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007). Para Ferreira e Melo (2005), tais chuvas estão associadas a sistemas atmosféricos que atuam sobre a área, sendo, Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que, durante os meses de março a abril, estimula a formação de nuvens por convecção, causando consequente precipitação, Vórtices Ciclones de Altos Níveis (VCANs), Linhas de Instabilidade (LI), os Complexos Convectivos de Meso-escala (CCMs) e as Frentes Frias.

Para Cavalcanti (2000), os aspectos geológicos da planície costeira do estado do Piauí estão relacionados às coberturas da era Cenozóica e abrangem o período Quaternário. No período Quaternário, de acordo com RADAMBRASIL (1981), são encontrados os

depósitos sedimentares recentes, tais como do tipo aluvial, estes que são representados pelas áreas de acumulação de sedimentos quaternários de constituição litológica arenosa-argilosa mal selecionados, de granulometria fina a grossa, cuja topografia baixa e plana ocasiona frequentes inundações por ocasião das cheias, por essas características apresenta bom potencial para águas subterrâneas.

No trecho de ocorrência de sedimentos do período do Quaternário, de acordo com Santos Filho et al. (2010), pode ser observadas particularidades predominantes como uma área praiana com algumas formações rochosas graníticas (*beach rocks*) na localidade denominada Pedra do Sal, município de Parnaíba (PI). No mapeamento de Valladares e Cabral (2017) realizado em escala de 1:100.000, a área de estudo foi caracterizada em sete (7) unidades geológicas, sendo Delta e Canais Fluviais; Depósito Litorâneos de Praias Recentes; Depósitos Eólicos Litorâneos Móveis; Depósitos Eólicos Litorâneos Fixos; Depósitos fluvioaluvionares; Depósitos de Pântanos e Mangues; e Depósitos arenosos.

As unidades geomorfológicas que compõem a área em estudo compreendem os relevos de agradação. Esse tipo de relevo é aquele em que predominam os processos deposicionais, tanto do tipo continental como é o exemplo da planície fluvial, quanto do tipo litorâneo como é o caso da planície costeira, da planície fluvio-marinha, das planícies colúvio-alúvio-marinhas e as planícies flúvio-lagunares, além de dunas móveis, cordão arenoso e praias. Através do mapeamento realizado por Sousa (2015), em escala de 1:100.000 é possível identificar nove (9) unidades geomorfológicas na área do Delta do Parnaíba, sendo estas cordão arenoso; delta e canais fluviais; dunas estabilizadas; dunas móveis; paleodunas; praia; planície eólica; planície fluvio-marinha e; planície e terraço fluvial.

Quanto a pedologia, há ocorrência das ordens de solo na área de estudo de Cambissolos, Espodossolos, Gleissolos, Planossolos, Neossolos, Vertissolos e Organossolos, destacando maior nível de incidência para as subordens dos Neossolos Quartzarênicos e Gleissolos Háplicos (CABRAL et al., 2019; AMORIM, 2019).

Por ser uma unidade de conservação de uso sustentável, classificada pelo SNUC (2000), a área de estudo possui parte ocupada por espaços urbanos, atividades agrícolas e produção de energia eólica, com áreas de acesso restrito. Na região é observada uma grande biodiversidade vegetal traduzida nos vários tipos de vegetação que predominam na paisagem. Segundo Costa e Cavalcanti (2010), a vegetação presente na área é constituída em sua maioria de suas espécies lenhosas, caracterizadas por árvores espaçadas com coroas irregulares e aspecto secundário, interposto pela agricultura de subsistência.

A vegetação apresenta fisionomias de restinga frutíferas inundáveis e não inundáveis nucleados por espécies arbóreas, sendo estas demarcadas por áreas de depressão, resultante da atividade eólica sobre as dunas, inundáveis, no período chuvoso, bem como formações de campos e carnaubais (SANTOS-FILHO et al., 2010). Além disso, também se verifica a presença de vegetação de fisionomia secundária com interpenetração significativa de espécies típicas da Caatinga, únicas no mundo. Além de comportar manguezais com elevada biomassa vegetal (PORTELA et al., 2020).

Procedimentos metodológicos

Para elaboração do MDS da área foi necessário a obtenção de atributos preditivos para treinamento do modelo de AD. Com relação aos atributos, foram utilizados os referentes à morfometria (atributos topográficos) advindos do MDE da área e os provenientes dos produtos de sensoriamento remoto. O MDE foi gerado a partir de uma imagem SRTM da área e da extração de dados planialtimétricos vetoriais da folha topográfica SUDENE/DSG folha Parnaíba (SA 24 Y-A-IV), em escala 1:100.000. Em sistema de informação geográfica (SIG) foram geradas as variáveis hipsometria, declividade, curvatura, direção de fluxo, fluxo acumulado e índice de umidade topográfica.

A declividade foi gerada usando duas diferenças finitas locais nas direções x e y (HORN, 1981). As classes de declividade delimitadas foram de 0 a 3% (Plano), 3 a 8% (Suave Ondulado), 8 a 20% (Ondulado), 20 a 45% (Forte Ondulado), 45 a 75% (Montanhoso), acima de 75% (Escarpa).

A curvatura é resultado da combinação das classes de curvaturas horizontais (convergente, planar ou divergente) e verticais (côncavo, retilíneo ou convexo) (VALERIANO, 2008). Para a discretização da curvatura no histograma, foram utilizados valores superiores a 0,5 para representar segmentos vertentes côncavos-convergentes, inferior a -0,5 para convexos-divergentes, e entre -0,5 a 0,5 segmentos retilíneos-planares.

A direção de fluxo de água na rede de drenagem é uma grade regular definindo as direções de fluxo, tomando-se por base a linha de maior declividade do terreno. Possibilita a observação da direção do escoamento de água nas vertentes, além da visualização do relevo (RENNÓ et al., 2008).

O fluxo acumulado foi obtido utilizando a direção de fluxo previamente determinada e indica o grau de confluência do fluxo de água, podendo estar associado ao fator de comprimento de rampa aplicado em duas dimensões (GUEDES & SILVA, 2012). De acordo com Sobrinho et al. (2010), o fluxo acumulado representa a rede hidrográfica, sendo possível montar nova grade contendo os valores de acúmulo de água em cada pixel. Desse modo, cada pixel recebe um valor correspondente ao número de pixels que contribuem para que a água chegue até ele.

O índice de umidade topográfica, de acordo com Sirtoli (2008), é usado para caracterizar a distribuição espacial de zonas de saturação superficial e conteúdo de água nas

paisagens. Para Moore et al. (1993) este índice ainda demonstra os efeitos do relevo na localização e extensão das áreas de acumulação de água. Para Silveira et al. (2013) tem aplicação para a separação dos solos com caráter hidromórfico, que ocorrem em áreas de relevo plano, de outras classes de solos que ocorrem em áreas de relevo variando de plano a suave ondulado. É definido como uma função da declividade e da área de contribuição por unidade de largura ortogonal à direção do fluxo (CHAGAS, 2006) obtido através da Equação 1.

$$TWI = \ln (As/\tan\beta) \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que: As é a área de contribuição multiplicado pelo tamanho da célula do grid em m^2 ; β é a declividade da célula.

Com relação aos atributos provenientes de imagens orbitais, optou-se pela utilização das imagens LANDSAT 8 OLI/TIRS C1 Level-2 (U.S.G.S. Earth Explorer), adquirida em 14 de outubro de 2017. Foram utilizadas separadamente as bandas 2 (blue), 4 (red) e 6 (shortwave infrared) do sensor Operational Land Imager (OLI). Os produtos possuem resolução espacial de 30 metros, submetidas a ortorretificação e correções radiométricas e estão sob o sistema de coordenadas UTM Datum WGS 1984, zone 24 South.

De acordo com Barsi et al. (2014), a banda 2 é utilizada com maior eficácia em mapeamentos batimétricos, distinguindo solo de vegetação e vegetação decídua de vegetação arbórea. A banda 4 discrimina a vegetação através da absorção por clorofila da vegetação verde sadia, sendo útil também para delimitar os limites de classes de solos e tipos de rochas. A banda 6 discrimina o teor de umidade do solo e da vegetação, sendo sensível à turgidez ou quantidade de água nas plantas (JENSEN, 2009).

Foi empregada a banda 10 do Thermal Infrared Sensor (TIRS) do LANDSAT 8, órbita/ponto 219/062, banda termal, na faixa do infravermelho, com comprimento de onda de 10,6 a 11,2 μm , sem efetuar nenhuma transformação na imagem. A resolução espacial das bandas do sensor TIRS a bordo do satélite é de 100 metros, mas são reamostradas para 30 metros no produto de dados entregues.

Foram utilizados índices obtidos da relação entre diferentes bandas deste sensor. Os índices utilizados foram clay minerals (CLAY) obtido pela divisão da banda 6 (infravermelho próximo) (1,57 - 1,65 μm) pela banda 7

(infravermelho próximo) (2,11 - 2,29 μm) e o iron oxide (IRON) pela divisão da banda 4 (vermelho) (0,64 - 0,67 μm) pela banda 2 (azul) (0,45 - 0,51 μm) (CHAGAS et al., 2010), originalmente desenvolvidos para o sensor TM do LANDSAT e conforme as Equações 2 e 3.

$$CLAY = (BAND 6)/(BAND 7) \quad (\text{Eq. 2})$$

$$IRON = (BAND 4)/(BAND 2) \quad (\text{Eq. 3})$$

Também foram utilizados o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI). Para Chagas (2006), os índices de vegetação são formados a partir da combinação de vários valores espectrais que são somados, divididos ou multiplicados de modo a produzir um único valor que indica a quantidade ou vigor da vegetação dentro de um pixel. Nesse sentido, para a imagem do sensor OLI do LANDSAT 8, o índice NDVI foi obtido pela Equação 4.

$$NDVI = (BAND 6 - BAND 4)/(BAND 6 + BAND 4) \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que: BAND 6 = infravermelho próximo e BAND 4 = vermelho.

O NDWI foi concebido com a finalidade de delinear ambientes de águas abertas, automatizando a determinação do limiar entre água e terra (vegetação terrestre e solos). Nessa perspectiva, para realçar os corpos d'água, foi aplicada a equação proposta por Gao (1996), utilizando dados de reflectância das bandas correspondentes a 860 e 1240nm, respectivamente (Equação 5). O motivo dessa escolha está no padrão espectral da água. Na faixa próxima de 860nm a reflectância esperada da água é muito baixa e na faixa de 1240nm, a reflectância esperada é zero.

$$NDWI = (BAND 5 - BAND 6)/(BAND 5 + BAND 6) \quad (\text{Eq. 5})$$

Para se aplicar a Equação 5 em imagens adquiridas pelo LANDSAT 8, foram selecionadas as reflectâncias das bandas 5 (850-880nm) e 6 (1570-1650nm).

Após a etapa de geração dos atributos preditivos, ou variáveis preditivas, para o mapeamento, 119 pontos foram amostrados em campo. Destes, 98 foram utilizados para treinamento dos modelos e 21 para posterior validação do mapa. As amostras foram

estratificadas e sorteadas dentro de cada unidade de mapeamento estabelecida no mapa pedológico convencional de Cabral (2018). A divisão foi realizada de forma a manter ambos os conjuntos bem distribuídos em toda a área de

estudo e em proporções representativas de todas as unidades. A Figura 2 ilustra a localização dos pontos e as unidades de mapeamento do mapa pré-existente.

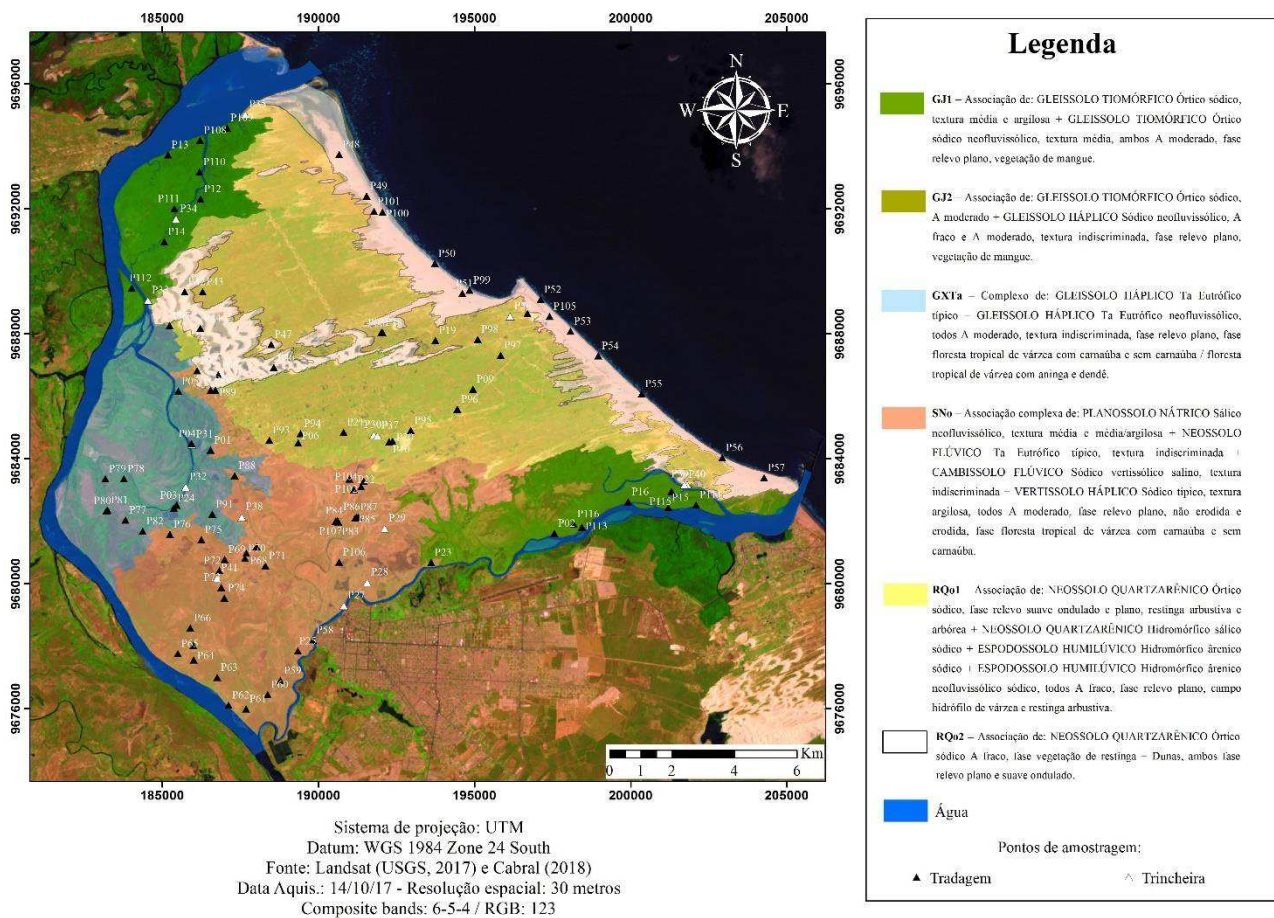


Figura 2. Localização dos pontos de amostragem de solos e unidades de mapeamento do mapa pedológico pré-existente. Fonte: adaptado de Cabral (2018); U.S. Geological Survey (2017).

Dessa forma foi determinada uma matriz de dados que consistiu na união de todos os atributos gerados, sempre utilizando as mesmas combinações de variáveis preditivas. A matriz foi elaborada para as classes de solo em segundo nível categórico de acordo com o

Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS) (SANTOS et al., 2018) (subordem). Na Tabela 1 é apresentado o detalhamento das matrizes de dados criadas para o mapeamento preditivo.

Tabela 1. Descrição da matriz de dados estabelecida para o MDS

Matriz	Variáveis preditivas	Classes
Classes de solo em segundo nível categórico (subordem)	Hipsometria, declividade, curvatura, direção de fluxo, fluxo acumulado, TWI, banda 2, banda 4, banda 6, banda termal, IRON, CLAY, NDVI e NDWI.	Gleissolo Melânico, Gleissolo Tiomófico, Gleissolo Háplico, Gleissolo Sálcio, Neossolo Quartzarênico, Neossolo Flúvico, Organossolo Tiomórfico, Cambissolo Flúvico, Planossolo Nátrico, Espodossolo Humilúvico, Vertissolo Háplico, Dunas Móveis e Praia.

Legenda: TWI = índice de umidade topográfica.

A base de dados foi exportada como tabela e convertida em um arquivo delimitado

por vírgula (CSV – MS-DOS) e depois reorganizadas para o formato Attribute-

Relation File Format (ARFF) que descreve uma lista de instâncias que compartilham um conjunto de atributos, para posterior uso no software Weka 3.8 (WITTEN & FRANCK, 2005).

No software Weka, para análises dos conjuntos de dados, foi verificado o desempenho do algoritmo classificador J48, correspondente ao método de AD. O resultado do processamento da matriz de dados foi utilizado para o mapeamento através da predição das classes de solo pelo algoritmo. Este gera automaticamente uma avaliação de acurácia.

Em todos os procedimentos realizados foi utilizado o método conhecido como K-fold Cross-Validation como técnica para a estratificação da base dados em conjunto de treinamento e teste (DIAS et al., 2016). Essa técnica tem se tornado um padrão para aplicações que utilizam métodos de mineração de dados. Ainda, segundo estudos avaliados pelos mesmos autores, sugere-se a adoção do número 10 (dez) como valor padrão para o número de partições dos dados (K).

A partir dos procedimentos descritos, para a matriz de dados um mapa pedológico digital foi gerado. O resultado foi exportado para arquivo de texto (.txt) e processado no software de conversão ADtoSIG (RUIZ et al., 2011). Este, converte o arquivo para uma base possível de ser interpretada em SIG. O arquivo de saída do ADtoSIG foi utilizado na ferramenta Raster Calculator do ArcGIS®. O mapa foi produzido a partir das regras condicionais estabelecidas pelo programa e dos arquivos em formado raster das variáveis preditivas. Nesse caso, a escolha de qual atributo utilizar foi determinada pelo algoritmo classificador durante a classificação.

A avaliação da acurácia dos mapas gerados por pedometria para a área de estudo foi realizada a partir da validação através dos 21 pontos classificados em campo para validação. Esses dados foram confrontados com os mapas preditos por meio de matrizes de erro e a partir dos resultados foram calculadas as medidas de acurácia de índice Kappa, exatidão global e exatidão do usuário e produtor.

A Exatidão Global (SILVEIRA, 2010) ou Qualidade Global (CENTENO, 2003) é definida computando o número de pixels corretamente classificados, conforme Equação 6.

$$EG = nc/nt \text{ (Eq. 6)}$$

Em que: EG = Exatidão Global; nc = número de pixels corretamente classificados; nt = número de pixels total da matriz.

Por meio deste método é possível verificar o percentual de concordância (C%) e o de discordância (D%), na qual serve como um parâmetro geral de avaliação entre os mapas. A Exatidão Global é considerada um parâmetro geral, pois não permite gerar maiores conclusões, como por exemplo, determinar qual grupo de classes ou associações de solo foi melhor classificado ou quais grupos encontram-se associados a uma superestimação e são responsáveis pela maior parcela de erros (SILVEIRA, 2010).

Em uma análise mais rigorosa devem-se levar em consideração os valores nas células marginais da matriz. No caso das linhas, os valores indicam o número de amostras que, pertencendo a uma determinada categoria, não foram incluídos nela (FERREIRA et al., 2007). Os Erros de Omissão são calculados conforme a Equação 7.

$$E_o = (X_{i+} - X_{ii})/X_{i+} \text{ (Eq. 7)}$$

Sendo: E_o = erros de omissão; X_{i+} = marginal da linha e; X_{ii} = diagonal daquela linha.

De igual forma as células nas diagonais das colunas expressam os Erros de Comissão (Equação 8), isto é, pixels que não se incluem em uma determinada categoria, pertencente realmente à outra:

$$E_{co} = (X_{+i} - X_{ii})/X_{+i} \text{ (Eq. 8)}$$

Onde: E_{co} = erros de comissão X_{+i} = marginal da coluna X_{ii} = diagonal daquela coluna.

Os erros de omissão e comissão enfocam o mesmo problema. A omissão se refere a uma definição imperfeita da categoria, e a comissão se refere a uma delimitação excessiva da categoria. Alguns autores enfocam-na como exatidão do usuário (consumidor) e exatidão do produtor (FERREIRA et al., 2007).

O cálculo do índice Kappa leva em conta o número total de acertos, os erros de omissão e os erros de inclusão e é efetuado conforme a Equação 9 (ELNAGGAR, 2007).

$$K = N \frac{\sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})}{\sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})} / N^2 - \text{ (Eq. 9)}$$

Onde: K é o índice Kappa; N é o número total de posições na matriz de erro; r é o número de linhas na matriz; x_{ii} são as entradas diagonais da matriz; x_{i+} e x_{+i} indicam a soma da linha i e a soma da coluna i da matriz, respectivamente.

Dessa maneira, o índice Kappa expressa o grau de concordância entre os dados estimados e os dados de referência, após a concordância devido ao acaso ter sido eliminada. Em

avaliações de mapeamentos, o índice Kappa geralmente varia de 0 a 1, sendo que zero (0) indica ausência de concordância, ou seja, a estimativa e a referência são estatisticamente independentes, e um (1) indica total concordância. Para classificação de imagens, de acordo com critérios qualitativos expressos em Landis e Koch (1977) a qualidade do índice Kappa pode ser classificada conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Qualidade de classificação segundo o índice Kappa

Coefficiente Kappa	Qualidade do mapeamento
Inferior a 0,00	Péssima ou pobre
0,01 a 0,20	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Boa
0,61 a 0,80	Muito boa
0,81 a 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

Resultados e Discussão

A partir do MDE foram gerados seis atributos morfométricos para a área de estudo, hipsometria, declividade, curvatura, direção de fluxo, fluxo acumulado e índice de umidade topográfica. Os valores variam, para a hipsometria, de 0 a 5 metros sob o nível do mar, estando as faixas de 10 a 15 e >15 metros limitadas às áreas de dunas móveis. Com relação à declividade, 63,5% da área apresenta relevo plano (0 a 3%). Através da análise da curvatura verifica-se que há um predomínio de segmentos retilíneo-planares, correspondendo a 94,74% da área. As áreas convexo-divergentes e côncavo-convergentes somadas correspondem a apenas 5,26%, apresentando-se nas faixas de dunas móveis.

A variável direção de fluxo mostra um predomínio das classes Norte (22,26%) e Oeste (19,47%) justificado pelo fato de a área estar situada no baixo curso do rio Parnaíba, desembocadura com o Oceano Atlântico, nível de base geral. No que concerne ao fluxo acumulado, locais com células de valores altos indicam áreas com alta viabilidade para ocorrência de drenagens. No Delta do Parnaíba, os valores mais altos são encontrados em áreas de ocorrência de solos hidromórficos e de caráter flúvico, à sudeste, formados sob forte influência de sedimentos de natureza aluvionar.

Para o índice de umidade topográfica observa-se valores elevados para áreas mais saturadas, áreas de baixada que acompanham a planície dos rios ou áreas que favorecem o acúmulo de água no solo, e menores para áreas

bem drenadas e de declividades superiores a 8% (campos de dunas móveis), com uma variação de -1,5 a 13,9. Vale ressaltar que, a equação para obtenção do índice de umidade topográfica é $\ln(a / \tan(B))$ em que, a é a área de captação específica, ou seja, a área de influxo de subida normalizada para uma medida de comprimento de contorno/fluxo acumulado, e B é o gradiente da inclinação, em radianos, na célula da grade (declividade). O TWI apresenta valores negativos quando a área de captação for menor que $\tan(B)$, uma vez que, o logaritmo natural de qualquer valor menor do que 1, será negativo. Para o Delta do Parnaíba, o fluxo acumulado e a declividade apresentaram valores zero para grande parte da área, justificando a variação dos valores obtidos para o índice supracitado.

A partir da imagem do sensor OLI do LANDSAT 8, foi possível gerar as seguintes variáveis preditivas: banda 2 – azul, banda 4 – vermelho, banda 6 – infravermelho médio, banda 10 – banda termal, CLAY, IRON, NDVI e NDWI. A banda 2 apresenta altos valores de reflectância na faixa de dunas móveis e nas áreas de cordão arenoso e praia, auxiliando na identificação de solos de textura arenosa e solos de caráter hidromórfico, representados pelos baixos valores dos números digitais.

A banda 4 mostra-se útil para discriminação da vegetação, pois é a banda vermelha de absorção por clorofila. Assim como a banda 2, a banda 4 apresenta altos valores de reflectância para áreas de solos arenosos. Já em locais em que a vegetação possui porte denso,

como florestas de mangue e áreas de vegetação paludosa, ocorre maior absorvância na faixa espectral do vermelho. A banda 6 (infravermelho de ondas curtas) analisada individualmente, também evidencia resultados satisfatórios para uma diferenciação dos campos de dunas com as áreas de cordão arenoso e praia, onde os valores mostram-se elevados. Através da interpretação dos baixos valores foi possível a delimitação das áreas de mangue. Apesar dos solos encontrados nesses locais apresentarem caráter semelhante, essas diferenciações foram úteis no treinamento do modelo de predição utilizado.

A banda termal do sensor TIRS permite, remotamente, a obtenção da estimativa da temperatura do solo por meio da transformação do número digital da imagem em radiância. Para o objeto de estudo, os valores de pixel variam de 22,9 a 37,5 e mostram-se efetivos na delimitação das áreas de Planície Flúvio-Marinha (valores entre 24,1 e 25,4), sendo possível encontrar associações de solos hidromórficos (Gleissolo Tiomórfico + Gleissolo Melânico + Gleissolo Sálico + Organossolo Tiomórfico), todos de textura argilosa ou indiscriminada. A imagem também auxiliou na identificação de áreas de depósitos fluvioaluvionares (valores entre 31,2 e 37,5), representando associações principalmente de solos originados de sedimentos aluviais de textura indiscriminada (Planossolo Nátrico + Cambissolo Flúvico + Neossolo Flúvico + Vertissolo Háptico).

A CLAY apresenta valores digitais com variação 0,43 a 3,0. Valores mais elevados estão associados a presença de argilominerais presentes nos solos de áreas de planície flúvio-marinha e terraço fluvial, sendo possível correlacionar com os solos hidromórficos. Os valores mais baixos representam solos com maior presença de minerais primários, principalmente, as areias constituídas por quartzo encontrado nas áreas de dunas móveis, cordão arenoso e praia.

O IRON varia de -22,2 a 34,1, sendo possível identificar valores mais elevados em áreas de dunas móveis e de depósitos fluvioaluvionares, com associações de solos de textura arenosa e aluviais de textura indiscriminada, que apresentam quantidades consideráveis de minerais primários. Os valores mais baixos indicam áreas de depósitos de pântanos e mangues, sugerindo a ocorrência de solos hidromórficos. Valores semelhantes são verificados para as áreas de dunas estabilizadas

e paleodunas. Nessas locais há o predomínio de espécies vegetais herbáceas e/ou arbustivas, e é comum encontrar corpos d'água devido à baixa posição no relevo e proximidade do lençol freático à superfície, podendo ocorrer Neossolos Quartzarênicos e com forte restrição à drenagem, isto é, presença de hidromorfismo. Situação do relevo que provoca e redução dos óxidos de ferro e manganês para suas formas iônicas mais solúveis.

Para o NDVI, os valores digitais dos pixels entre -1 e -0,10 indicam corpos d'água. Os pixels com valores -0,09 a 0,15 indicam áreas com baixa resposta da vegetação. Essas áreas correspondem a Dunas Móveis, Cordão arenoso e praia, constituídos predominantemente por materiais arenosos pouco consolidados. Entre 0,15 a 0,30 representa as áreas onde há presença de vegetação rasteira herbácea e/ou arbustiva, estando associado a ela, principalmente Neossolos Quartzarênicos. Os valores entre 0,3 a 0,4 classificou as áreas de campos naturais abertos com a presença de Neossolos Flúvicos. 0,4 a 0,6 indicam áreas com predomínio de vegetação de porte mais arbustivo/arbóreo em que é possível encontrar associações de Planossolos Nátricos + Cambissolos Flúvicos. Os valores de 0,6 a 1,0 indicam as áreas de planícies flúvio-marinha, com vegetação arbórea densa de mangue e vegetação paludosa e ocorrência de solos hidromórficos.

O NDWI está altamente correlacionado com o conteúdo de água na cobertura vegetal e permite-nos acompanhar mudanças na biomassa e avaliar o estresse hídrico da vegetação. Para a área de estudo a variação é de -0,08 a 0,87, indicando a presença de áreas de grande acumulação de água, sendo possível encontrar nesses locais solos hidromórficos, tanto Gleissolos em áreas de planície flúvio-marinha (intervalo entre 0,06 e 0,18), quanto Neossolos Flúvicos em áreas de terraço fluvial (intervalo entre 0,18 a 0,26). Os valores entre 0,26 a 0,34 indicam áreas de depósitos fluvioaluvionares com vegetação do tipo floresta tropical de várzea com a presença de Carnaúbas (*Copernicia prunifera*), onde há ocorrência de Planossolos Nátricos e Cambissolos Flúvicos. Entre 0,34 a 0,45 foi possível classificar a planície eólica, indicando a ocorrência de solos de textura arenosa (Neossolo Quartzarênico e Espodossolo Humilúvico). Vale ressaltar que a imagem orbital foi obtida no mês de outubro, coincidindo com o período seco (pouca

Com base na matriz de confusão gerada automaticamente pelo programa após o processamento, observa-se que, das 14 células previamente classificadas como Gleissolo Tiomórfico, 13 são classificadas corretamente (92,8%), representando a classe com maior porcentagem de acerto. No geral, a maioria das células classificadas previamente como

O mapa pedológico digital da matriz 1 gerado, sendo este validado por meio de matriz de erros que confronta as classes previstas pelo modelo com as classes reais identificadas em

Gleissolo no primeiro nível categórico, após o processamento são classificadas também como Gleissolo, porém com diferenças no segundo nível. A exceção para essa afirmativa se dá apenas na classificação do Gleissolo Melânico e Gleissolo Sáfico que apresentam pontos classificados como Neossolo Flúvico.

campo nos 21 pontos pré-selecionados para esta validação. A Figura 4 ilustra o mapa pedológico do Delta do Parnaíba gerado através da matriz de dados 1.

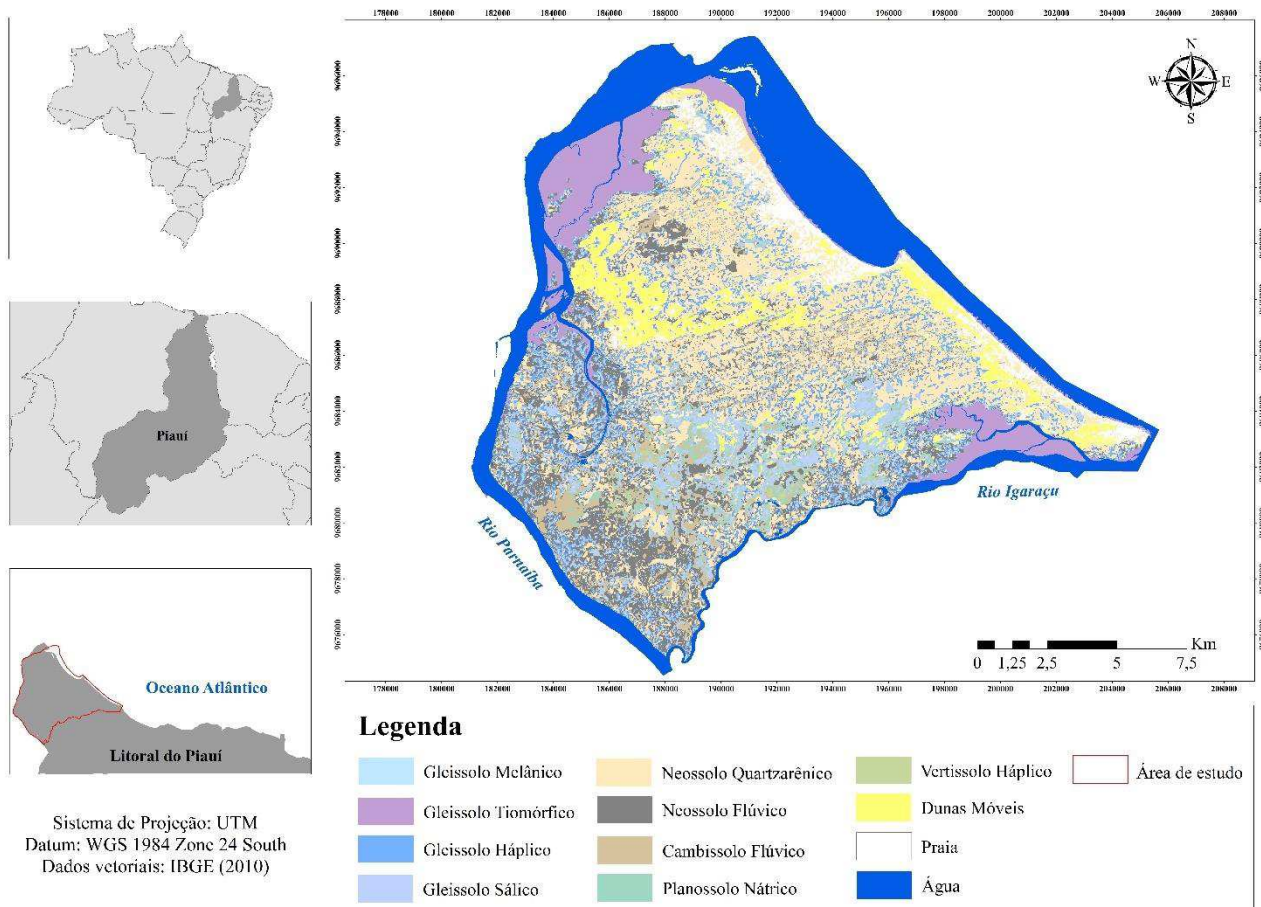


Figura 4. Mapa pedológico digital do Delta do Parnaíba (PI).
Fonte: adaptado de IBGE (2010).

As classes previstas com maior expressão no mapa são os Neossolos Quartzarênicos com textura arenosa, que abrangem cerca de 70,23 km² (30,23%) concentrados principalmente nas áreas de planície eólica com predomínio de vegetação arbustiva densa, e os Neossolos Flúvicos de textura indiscriminada (33,56 km², 14,44%) distribuídos nas áreas de planície e terraço fluvial.

Os Gleissolos (Tiomórficos, Háplicos, Sáficos e Melânico) que se concentram no norte da área, nas áreas de mangue e vegetação paludosa, também representam juntos área

significativa (74,44 km², 32,04%). As áreas de Cambissolos Flúvicos apresentam expressão relativamente baixa, estendendo-se por aproximadamente 14,90 km², 6,41%.

As classes previstas que ocupam menor área são os Planossolos Nátricos (6,96 km², 3%), as Praias (12,95 km², 5,57%) e os Vertissolos Háplicos (0,74%).

Quando validado com o conjunto de validação, por meio da matriz de erros (Tabela 4), a exatidão global é de 42,87% e o índice Kappa de 0,35, indicando concordância considerável segundo critério Landis e Koch

(1977), e evidenciando um valor superior ao gerado pelo processamento no Weka. Cabe destacar que, conforme Ten Caten (2011), o valor médio do índice Kappa entre os estudos realizados no país é de 0,47. Esse valor é similar ao reportado na literatura internacional, como em Hengl e Rossiter (2003), por exemplo, de 0,39 para áreas planas. Scull et al. (2003) chegou índices Kappa que alcançaram 0,44 para terrenos montanhosos e 0,52 para terrenos aplainados.

Valladares (2012) encontrou valores de acurácia similares (Kappa 0,49) ao aplicar uma metodologia para mapeamento digital de solos, com base na distribuição espacial de atributos dos solos, originários de sedimentos do Grupo Barreiras, nos tabuleiros costeiros da região do Baixo Acaraú, Ceará. Ten Caten et al. (2011), para mapeamento de classes de solos na microrregião de Santa Maria (RS), resultou em valores de exatidão de 37,3% e 48,5%. Crivelenti et al. (2009), por sua vez, utilizando o método AD no MDS da folha topográfica de Dois

Córregos (SP), chegaram a um índice Kappa de 0,43.

As classes Gleissolo Háptico e Vertissolo Háptico apresentam valor zero para exatidão do produtor (%), isso significa que nenhum dos pontos classificados em campo como pertencentes a estas classes foi predito de maneira correta. Por outro lado, os Gleissolos Tiomórficos, Neossolos Flúvicos e os Planossolos Nátricos apresentam os maiores valores, sendo 100, 100 e 50%, respectivamente.

Em se tratando da exatidão do usuário (%), as classes de solo Gleissolo Tiomórfico, Neossolo Flúvico e classe Praia apresentam os melhores índices (100, 66 e 50%, respectivamente). Os piores foram identificados nas classes dos Neossolos Quartzarênicos, Gleissolos Hápticos e Vertissolos Hápticos (25, 0 e 0%). Vale ressaltar que, após o processamento do mapa as classes Organossolo Tiomórfico e Espodossolo Humilúvico não são representadas no mapa digital por não terem pontos classificados corretamente no modelo.

Tabela 4. Matriz de confusão do mapeamento digital (pontos classificados em campo)

	Exatidão Global = 42,87%									Índice Kappa: 0,35		
	GJ	GX	GS	RQ	RY	SN	VX	DM	P	Total	EU (%)	E _o (%)
GJ	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	100	0
GX	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	100
GS	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3	33,3	66,7
RQ	0	0	0	1	0	1	0	1	1	4	25	75
RY	0	0	1	0	2	0	0	0	0	3	66,6	33,4
SN	0	0	1	1	0	1	0	0	0	3	33,3	66,7
VX	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	100
DM	0	0	0	1	0	0	0	1	1	3	33,3	66,7
P	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	50	50
Total	2	1	4	4	2	2	0	3	3	21		
EP (%)	100	0	25	25	100	50	-	33,3	33,3			
E_{co} (%)	0	100	75	75	0	50	-	66,7	66,7			

Conclusão

O método de AD e o algoritmo classificador utilizado, J48, apresentou resultados satisfatórios na escala de mapeamento empregada, demonstrando grande potencial de apoio à cartografia pedológica, uma vez que, o próprio algoritmo seleciona e define a prioridade de cada atributo durante a classificação.

Os atributos oriundos de índices espectrais mostraram-se mais efetivos na predição das classes de solo da área de estudo quando em comparação com os provenientes da morfometria. Esse resultado pode ser explicado

pela resolução espacial do MDE SRTM utilizado para geração de tais atributos. A aplicação de modelos de elevação em escalas mais detalhadas, para a área de estudo, poderá vir a melhorar a efetividade da classificação em propostas futuras.

Embora a metodologia utilizada neste trabalho apresente limitações relacionadas à geomorfologia da área, foi possível alcançar resultados satisfatórios, com valores de acurácia próximos ao padrão encontrado em áreas com a mesma característica. O estudo configura-se como importante instrumento de aperfeiçoamento das pesquisas em Pedometria

desenvolvidos no país, principalmente em áreas costeiras.

Referências

AMORIM, J. V. A. Pedometria aplicada ao mapeamento de solos do Delta do Parnaíba – Piauí. 129f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Piauí. Teresina, 2019.

AMORIM, J. V. A.; VALLADARES, G. S.; SILVA, F. J. L. T.; LEAL, J. M. Uso da banda termal do TM/LANDSAT 5 e NDVI no mapeamento digital de solos do Delta do Parnaíba – Piauí. *Revista de Geociências do Nordeste*, v.5, p.17-29, 2019.

BARROS, F. M. L.; MUEHE, D. Avaliação local da vulnerabilidade e riscos de inundação na zona costeira da Região dos Lagos, Rio de Janeiro. *Quaternary and Environmental Geosciences*, v.1, n.2, p.55-66, 2010.

BARSI, J. A.; LEE, K.; KVARAN, G.; MARKHAM, B. L.; PEDELTY, J. A. The spectral response of the LANDSAT-8 operational land imager. *Remote Sensing*, v.6, n.10, p.10232-10251, 2014.

BRASIL. Decreto s/n de 28 de agosto de 1996. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental Delta do Parnaíba, nos Estados do Piauí, Maranhão, e Ceará, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/anterior%20a%202000/1996/dnn4368.htm. Acesso em: 14 de novembro de 2020.

BRASIL. Decreto s/n de 16 de novembro de 2000. Cria a Reserva Extrativista Marinha do Delta do Parnaíba, no município de Ilha Grande de Santa Isabel, Estado do Piauí, e nos municípios de Araióses e Água Doce, Estado do Maranhão, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/dn9084.htm. Acesso em: 14 de novembro de 2020.

BRASIL. Lei n 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art.225, §18, incisos I, II, III e IV da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providencias. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 14 de outubro de 2020.

CABRAL, L. J. R. S. Levantamento pedológico da Planície do Delta do Parnaíba, PI. 138f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal do Piauí. Teresina, 2018.

CABRAL, L. J. R. S.; VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; PINHEIRO JÚNIOR, C. R.; LIMA, A. M.; FROTA, J. C. O.; AMORIM, J. V. A. Classificação dos solos da Planície do Delta do Parnaíba, PI. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.12, n.04, p.1466-1483, 2019.

CAVALCANTI, A. P. B. Impactos e condições ambientais da zona costeira do Estado do Piauí. 356f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2000.

CENTENO, J. A. S. Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais. Departamento de Geomática da Universidade Federal do Paraná: Curitiba, 2003. 210p.

CHAGAS, C. S. Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de mar de morros. 223f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2006.

CHAGAS, C. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; VIEIRA, C. A. O.; SCHAEFER, C. E. G. R.; CARVALHO JÚNIOR, W. Atributos topográficos e dados do LANDSAT 7 no mapeamento digital de solos com uso de redes neurais. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.45, n.5, p.497-507, 2010.

COSTA, J. L. P. O.; CAVALCANTI, A. P. B. Fitogeografia da planície deltaica do Rio Parnaíba, Piauí/Maranhão–Brasil: análise da distribuição das espécies e interferência antrópica. *Revista Eletrônica de Geografia*, v.2, n.4, p.84-92, 2010.

CRIVELANTI, R. C.; COELHO, R. M.; ADAMI, S. F.; OLIVEIRA, S. R. M. Mineração de dados para inferência de relações solo-paisagem em mapeamentos digitais de solo. *Revista Agropecuária Brasileira*, v.44, n.12, p.1707-1715, 2009.

DIAS, L. M.; COELHO, R. M.; VALLADARES, G. S.; CUNHA DE ASSIS, A. C.; FERREIRA, E. P.; SILVA, R. C. Predição de classes de solo por mineração de dados em área da bacia sedimentar do São Francisco. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.51, n.9, p.1396-1404, 2016.

ELNAGGAR, A. A. Development of predictive mapping techniques for soil survey and salinity mapping. 162f. Tese (PhD). Oregon State University. Corvallis, 2007.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. da S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.1, n.1, p.15-28, 2005.

FERREIRA, E.; DANTAS A. A. A.; MORAIS, A. R. Exatidão na classificação de fragmentos de

- matas em imagem do satélite CBERS-CCD, no município de Lavras, MG. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. Anais...Florianópolis, 2007, p.887-894.
- FROTA, J. C. O. Potencial de expansão urbana na planície costeira do estado do Piauí. 148f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal do Piauí. Teresina, 2017.
- GAO, B. C. NDWI – A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, v.58, p.257-266, 1996.
- GIASSON, E.; SARMENTO, C. E.; WEBER, E.; FLORES, C. A.; HASENACK, H. Decision trees for digital soil mapping on subtropical basaltic steeplands. *Scientia Agrícola*, v.68, n.2, p.167-174, 2011.
- GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D. Comparison between hydrographically conditioned digital elevation models in the morphometric characterization of watersheds. *Eng. Agríc.*, v.32, n.5, p.932-943, 2012.
- HÖFIG, P.; GIASSON, E.; VENDRAME, P. R. S. Mapeamento digital de solos com base na extrapolação de mapas entre áreas fisiograficamente semelhantes. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.49, n.12, p.958-966, 2014.
- HORN, B. K. P. Hill shading and the reflectance map. *Proceedings of the Institute of Electrical and Electronic Engineers*, v.69, p.14-47, 1981.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Brasileiro de 2010. Bases cartográficas: malhas digitais. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2010/. Acesso em: 17 de novembro de 2020.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual de Técnico de Pedologia. Série Manuais Técnicos em Geociências. 3. ed. Manuais Técnicos em Geociências. n. 4. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 430p.
- JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598p.
- KER, J. C.; CURI, N.; NOVAIS, R. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. Pedologia: solos dos biomas brasileiros. Viçosa: SBCS, 2017, 597p.
- KHEIR, R. B.; GREVE, M. H.; ABDALLAH, C.; DALGAARD, T. Spatial soil zinc content distribution from terrain parameters: a GIS-based decision-tree model in Lebanon. *Environmental Pollution*, v.158, n.2, p.520-528, 2010.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v.33, p.159-174, 1977.
- MARANDOLA JÚNIOR, E.; MARQUES, C.; PAULA, L. T.; CASSANELI, L. B. Crescimento urbano e áreas de risco no litoral norte de São Paulo. *Revista Brasileira de Estudos de População*, v.30, n.1, p.35-56, 2013.
- McBRANTNEY, A. B.; MINASNY, B. Pedometria: motivação, história e aplicações (palestra). In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 34, Florianópolis, SC, 2013.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206p.
- MOORE, I. D.; GESSLER, P. E.; NIELSEN, G. A.; PETERSON G. A. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society American Journal*, v.57, p.443-452, 1993.
- NOLASCO-CARVALHO, C. C.; FRANCA-ROCHA, W.; UCHOA, J. M. Mapa digital de solos: uma proposta metodológica usando inferência fuzzy. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.1, p.46-55, 2009.
- NOVAIS, J. J. Mapeamento digital de solos da microbacia do Ribeirão Extrema, DF, a partir de imagens multitemporais ASTER e biblioteca espectral. 211f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Programa de Pós-graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Universidade de Brasília. Brasília, 2017.
- NOWATZKI, A.; SANTOS, L. J. C. Mapeamento digital de solos por pedometria com base em atributos topográficos da bacia hidrográfica do rio Pequeno-Paraná. *RA'EGA*, n.1, v.32, p.185-211, 2014.
- PORTELA, M. G. T.; ESPINDOLA, G. M.; VALLADARES, G. S.; AMORIM, J. V. A.; FROTA, J. C. O. Vegetation biomass and carbon stocks in the Parnaíba River Delta, NE Brazil. *Wetlands Ecol Manage*, v.28, n.1, p.607-622, 2020.
- RADAMBRASIL. SA.23 São Luís e parte da folha SA 24 Fortaleza: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Ministério das Minas e Energia. Levantamento de Recursos Naturais v.25. Rio de Janeiro, 1981. 639p.
- RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazônia,

- Remote Sensing of Environment, v.112, n.9, p.3469-3481, 2008.
- ROSA, A. S. Funções de predição espacial de propriedades do solo. 201f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Centro de Ciências Rurais. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2012.
- RUIZ, L. F. C.; TEN CATEN, A.; DALMOLIN, R. S. D. ADtoSIG Software de Conversão. Universidade Federal de Santa Maria, v.1, 2011. CDROM.
- SANTOS, H. G.; AGLIO, M.L.D.; DART, R. O.; BREFFIN, M. L. M. S.; SOUZA, J. S.; MENDONÇA, L. R. Distribuição Espacial dos Níveis de Levantamento de Solos no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 34, 2013, Florianópolis. Anais...Florianópolis: Epagri e SBSC, 2013.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. 5. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2018. 592p.
- SANTOS-FILHO, F. S.; ALMEIDA JUNIOR, E. B. DE; SOARES, C. J. DOS R. S.; ZICKEL, C. S. Fisionomias das restingas do delta do Parnaíba, Nordeste, Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física, v.3, n.3, p.218-227, 2010.
- SCULL, P.; FRANKLIN, J.; CHADWICK, O. A.; MCARTHUR, D. Predictive soil mapping: a review. Progress in Physical Geography, v.27, n.2, p.171-197, 2003.
- SILVEIRA, C. T.; OKA-FIORI, C.; SANTOS, L. J. C.; SIRTOLI, A. E.; SILVA, C. R.; BOTELHO, M. F. Soil prediction using artificial neural networks and topographic attributes. Geoderma, v.195, p.165-172, 2013.
- SILVEIRA, C. T. Análise digital do relevo na predição de unidades preliminares de mapeamento de solos: Integração de atributos topográficos em sistemas de informações geográficas e redes neurais artificiais. 153f. Tese (Doutorado em Geografia). Departamento de Geografia. Setor de Ciências da Terra. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.
- SIRTOLI, A. E.; SILVEIRA, C. T.; MONTOVANI, L. E.; SIRTOLI, A. R. A.; OKA-FIORI, C. Atributos do relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com solos. Scientia Agraria, v.9, n.3, p.317-329, 2008.
- SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. Eng. Agríc., v.30, n.1, p.46-57, 2010.
- SOUSA, R. S. Planície Costeira do Estado do Piauí: mapeamento das unidades de paisagem, uso e cobertura da terra e vulnerabilidade ambiental. 138f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós Graduação em Geografia. Universidade Federal do Piauí. Teresina, 2015.
- TEN CATEN, A. Mapeamento digital de solos: metodologias para atender a demanda por informações espacial em solos. 108f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2011.
- TEN CATEN, A.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A.; MENDONÇA-SANTOS, M. de L. Extrapolação das relações solo-paisagem a partir de uma área de referência. Ciência Rural, v.41, n.5, p.812-816, 2011.
- USGS. United States Geological Survey. LANDSAT 8 OLI/TIRS scene LC08_L1TP_219062_20171014_20171024_01_T, C1 Level-2, USGS, Sioux Falls, 10/14/2017. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 17 de novembro de 2020.
- VALERIANO, M. M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). Geomorfologia, conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p.72-104.
- VALLADARES, G. S. Geoestatística no mapeamento digital de solos dos tabuleiros costeiros no litoral norte do estado do Ceará. Revista Equador, v.1, n.1, p.26-43, 2012.
- VALLADARES, G. S.; CABRAL, L. J. R. S. Mapeamento geológico da Planície do Delta do Parnaíba-PI. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 27, 2017, João Pessoa. Anais...João Pessoa, 2017.
- WITTEN, I. H., FRANK, E. Data mining: practical machine learning tools and techniques. 2. ed. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2005. 558p.

Capítulo 3

ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO DA REGIÃO DO MÉDIO CURSO DO RIO PARAÍBA

Paulo Roberto Megna Francisco¹
Djail Santos²
George do Nascimento Ribeiro³
Rubens Barrichello Gomes Barbosa⁴
Nayanne Maria Gonçalves Leite⁵

¹Doutor em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

²Dr. Prof. Titular, UFPB, Areia-PB, santosdj@cca.ufpb.br

³Dr. Prof. Universidade Federal de Campina Grande, Sumé-PB, george@ufcg.edu.br

⁴Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, rubens.barbosa@ufv.br

⁵Mestranda em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfªÁgua, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé-PB, nayannegl@hotmail.com

Introdução

O Brasil por ser um país continental e possuir condições adequadas para o desenvolvimento agrícola, e devido a sua grande extensão territorial, é comum que ocorra adversidades climáticas que podem afetar direta ou indiretamente a produção agrícola (MAPA, 2008). O clima exerce grande influência sobre o ambiente, atuando como fator de interações entre componentes bióticos e abióticos. No Nordeste do Brasil, em especial na região semiárida, que frequentemente enfrenta os problemas da seca e estiagens prolongadas dentro do período chuvoso, estas condições se tornam ainda mais graves (NOBRE et al., 2004). A seca é hoje a que causa maior impacto, e as deficiências hídricas associadas aos períodos de longa estiagem constituem uma das principais causas das quebras de safras (MAPA, 2008). A produção agrícola no semiárido é fortemente dependente da precipitação pluviométrica, e, por conseguinte, as suas variações provocam graves prejuízos na agricultura (MENEZES et al., 2008).

A Paraíba tem, como características climáticas marcantes, as irregularidades, tanto espacial quanto temporal, do seu regime de chuvas. Essas condições climáticas interferem diretamente na produção de alimentos, fazendo com que haja a necessidade de se aumentar a produção e produtividade das culturas (MENEZES et al., 2010).

Diante das adversidades climáticas que ocorrem constantemente e da interferência negativa que essas causam na produção agrícola, instituições de pesquisas passaram a

partir da década de 70 a desenvolver mecanismos que permitissem indicar, com maior margem de segurança, o local e a data mais apropriada para plantar determinada cultura, como também o tipo de cultivar mais adequada para cada região (MAPA, 2008).

Dentre os principais mecanismos criados, pode ser citado o zoneamento agrícola de risco climático que considera o balanço hídrico, e o risco quantificado através de análises probabilísticas e frequenciais no tipo de solo, clima local, e ciclo fenológico da planta, com o objetivo de quantificar o risco de perda das lavouras com base no histórico de ocorrência de eventos climáticos adversos, principalmente a seca, onde publica recomendações por município, tipo de solo e ciclo da cultivar (MAPA, 2008).

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático contém os parâmetros edafoclimáticos utilizados para cada cultura na região estudada e leva em consideração a análise de séries climáticas históricas de no mínimo 15 anos correlacionadas ao ciclo de maturação fisiológica dos cultivares e ao tipo de solo conforme sua capacidade de retenção de água, de modo a minimizar os riscos e evitar que adversidades climáticas coincidam com a fase mais sensível das culturas (MAPA, 2008). Francisco et al. (2011) e Francisco e Santos (2017) utilizaram a metodologia para os municípios de Picuí e São João do Cariri, respectivamente e obtiveram bons resultados no mapeamento e na distribuição das áreas indicadas e não indicadas ao cultivo.

De acordo com Zhao e Yang (2018) e Maluf et al. (1995), o zoneamento agrícola constitui um importante subsídio às atividades que dependem direta ou indiretamente do meio ambiente, pois possibilita o conhecimento de áreas com potencial agrícola para estabelecimento de culturas, minimizando riscos causados por adversidades. Para Monteiro (2009) e Assad (2009), o zoneamento determina a aptidão ou risco agrícola das regiões de um país, estado ou município, definindo desenvolvimento de melhores políticas agrícolas, financiamento, e maior produção. Permite definir em cada região, a aptidão para o cultivo de determinada espécie de interesse agrícola, considerando as exigências agroclimáticas, agro edáficas dos cultivos e as informações micro e macroeconômicas.

Para que haja uma redução dos riscos para a agricultura e consequente diminuição das perdas para os agricultores, torna-se imprescindível identificar, quantificar e mapear as áreas mais favoráveis ao plantio das culturas de sequeiro (MACIEL et al., 2009).

Com o advento da informática, o uso de geotecnologias, do Sistema de Informações Geográficas, a evolução dos sistemas computacionais para estudos de análise ambiental, tem proporcionado excelentes resultados no processo de automação da maioria dos trabalhos executados de forma

convencional e tem permitido o processamento de um grande volume de informações relevantes para tomadas de decisão (CARVALHO et al., 2009; CÂMARA & MEDEIROS, 1996; FERNANDES et al., 1998). Neste contexto, o sistema de informação geográfica é uma tecnologia que abrange cada vez mais projetos ambientais, sendo um agente facilitador na tomada de decisão (FRANCISCO et al., 2011).

Este trabalho objetiva mapear a aptidão agrícola de risco climático para a região do médio curso do rio Paraíba objetivando a exploração racional e como consequência, seu desenvolvimento sustentável, visando oferecer meios para o planejamento e consequentemente, seu crescimento econômico.

Material e Métodos

A área de estudo compreende a bacia do Médio Curso do Rio Paraíba, com área de 3.760,65 km² localizada entre o Planalto da Borborema ao centro sul do Estado da Paraíba, divisa ao sul com Pernambuco (PARAÍBA, 2006) (Figura 1) formada total e/ou parcialmente pelos municípios de Alcantil, Aroeiras, Boa Vista, Boqueirão, Barra de São Miguel, Barra de Santana, Campina Grande, Caturité, Fagundes, Gado Bravo, Itatuba, Montadas, Natuba, Pocinhos, Puxinanã, Queimadas, Riacho de Santo Antônio, Santa Cecília do Umbuzeiro e Umbuzeiro.

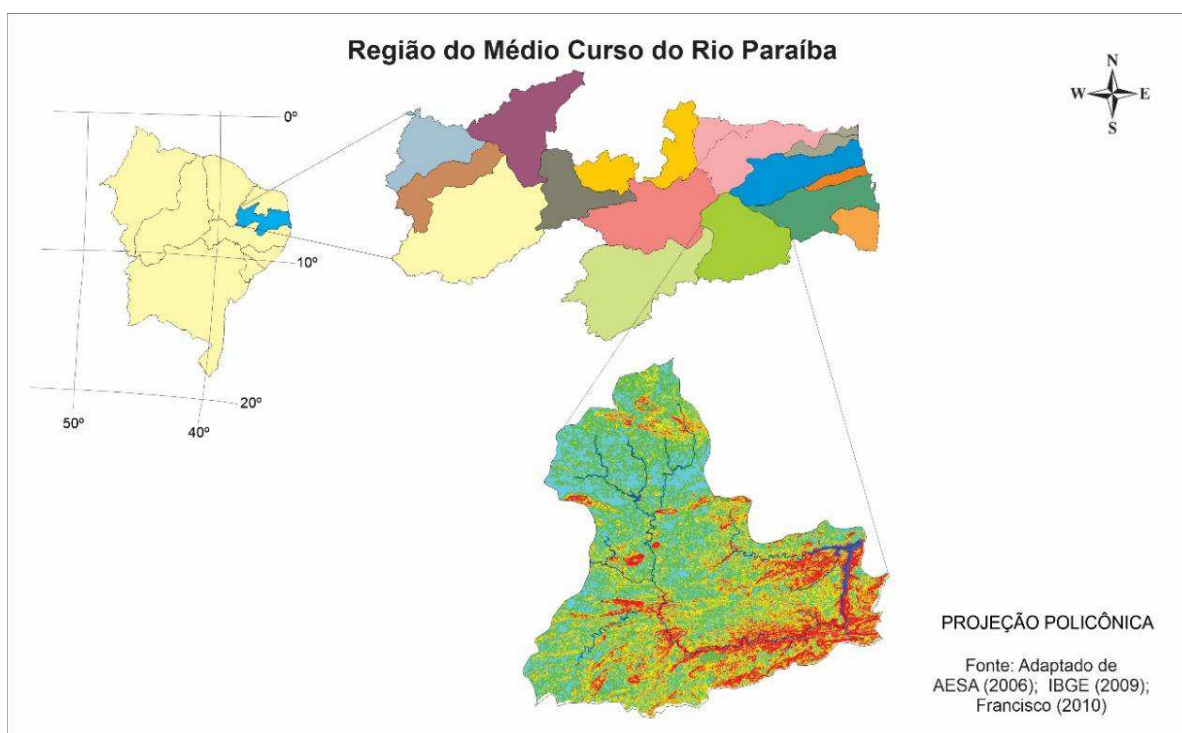


Figura 1. Localização e declividade da área de estudo.
Fonte: Adaptado de Francisco (2010); PARAÍBA (2006); IBGE (2009).

Conforme Francisco (2010), de acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Bsh - Semiárido quente nos contrafortes do Planalto da Borborema; e do tipo As' - Tropical Quente e Úmido com chuvas de outono-inverno, com precipitação entre 400 a 700 mm.ano⁻¹ e

temperatura amena (<26°C), devido ao efeito da altitude (100 a 700m) onde as chuvas da região sofrem influência das massas Atlânticas de sudeste e do norte. De acordo com Francisco et al. (2016) esta região apresenta em torno de 2.500 a 2.800 horas anuais de insolação.

Tabela 1. Dados de precipitação média mensal e anual de postos da área de estudo, para um período mínimo de trinta anos de observação em mm

Município / Posto	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Aroeiras	41,2	41,8	79,7	93,4	72,7	83,7	85,1	41,2	19,6	7,6	8,3	26,4	600,9
Alcantil	74,0	95,4	144,2	150,3	131,7	142,8	127,8	77,8	38,8	16,7	22,9	32,1	1.054,5
Barra de Santana	20,8	43,7	80,8	100,4	55,3	60,5	57,7	23,5	13,7	7,6	5,8	13,1	483,0
Barra de São Miguel	33,1	55,4	84,5	86,1	44,2	45,0	32,0	13,6	6,9	5,6	3,2	14,9	424,6
Boa Vista	26,0	35,2	82,3	69,4	58,7	53,0	45,9	19,2	5,5	6,6	4,3	9,4	416,3
Boqueirão	41,5	49,7	74,6	86,5	51,8	62,5	53,3	24,2	12,0	5,3	8,8	14,0	484,2
Campina Grande	55,3	47,7	91,8	141,8	104,7	112,7	154,0	58,8	48,7	17,4	13,2	29,3	875,4
Caturité	102,5	109,7	163,2	162,4	107,8	53,7	34,5	15,3	2,6	9,5	14,1	25,0	800,2
Fagundes	44,7	61,6	114,3	122,1	120,9	142,9	149,2	77,4	41,0	15,6	13,7	26,7	930,3
Gado Bravo	32,8	49,8	89,6	115,1	82,7	85,1	94,1	39,7	26,5	9,3	7,1	19,1	650,9
Itatuba	48,4	55,9	82,2	69,2	94,5	123,6	90,0	51,1	20,6	5,1	9,0	16,5	666,0
Montadas	47,9	40,1	40,5	64,6	61,4	96,4	80,2	42,7	20,3	8,6	8,3	8,6	519,5
Natuba	62,1	77,1	97,0	112,9	137,5	192,9	157,8	108,2	56,0	24,5	26,5	25,4	1.077,9
Pocinhos	20,0	35,2	64,3	68,9	51,5	51,4	48,7	18,7	9,8	5,2	3,5	8,1	385,3
Puxinanã	35,2	54,9	61,2	75,0	80,1	121,5	98,9	67,4	29,8	8,6	7,2	17,8	657,7
Queimadas	22,2	41,3	80,9	78,4	62,5	69,7	60,7	29,1	10,2	5,8	5,7	12,2	478,7
Riacho de Santo Antônio	33,4	46,5	76,7	85,0	36,6	39,8	32,8	14,9	6,2	4,4	4,9	16,3	397,4
Santa Cecília	30,5	50,2	88,5	106,4	78,1	88,0	91,2	42,6	22,0	8,8	8,1	16,7	631,1
Umbuzeiro	39,0	48,2	82,1	97,0	115,8	136,2	123,9	69,5	34,0	10,9	13,5	23,0	793,1

Fonte: Francisco et al. (2018).

De acordo com Francisco (2010) a vegetação representativa da área de estudo é do tipo caatinga hiperxerófila. Os solos predominantes na área de estudo, conforme PARAÍBA (1978), são os Brunos Não Cálcicos e os solos Litólicos Eutróficos, distribuídos por toda a área da bacia, como também os Vertisols, com maior ocorrência no centro da bacia, mais próximos ao Açude Epitácio Pessoa, e os Solonetz Solodizado na região de Campina Grande, estes reclassificados para o novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos por Campos e Queiroz (2006) como Luvisolos Crômicos órtico típico, Neossolos Litólicos

Eutróficos típico, e como Vertissolo Cromado Órtico típico, Planossolo Nátrico Órtico típico, respectivamente (Figura 2). Conforme Francisco et al. (2015), estas diferem pela diversidade geológica, pedológica e geomorfológica; atendendo também a uma diversidade de características de solo, relacionadas à morfologia, cor, textura, estrutura, declividade e pedregosidade e outras características, justificada pelo fato de que, no semiárido o tipo de solo determina a dinâmica da água quanto à drenagem, retenção ou disponibilidade, condicionando, por conseguinte os sistemas de produção agrícola.

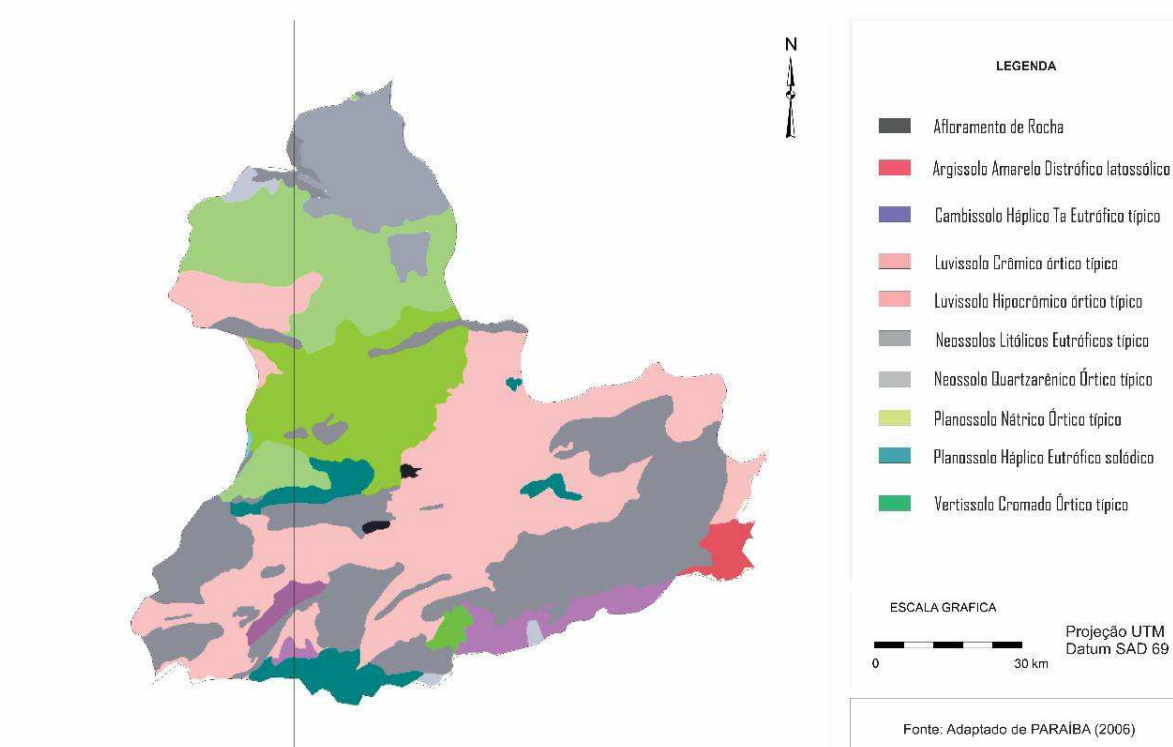


Figura 2. Solos da área de estudo. Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2006).

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado arquivo digital fornecido pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs, 2020) da região do médio curso do rio Paraíba e importado para o programa SPRING 5.4 na base de dados na projeção UTM/SAD69 de Francisco (2010) e atualizadas por Francisco et al. (2014), onde foram elaborados os mapas e calculados as suas respectivas áreas.

Através das informações contidas na metodologia fornecida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, e na metodologia de trabalho baseada na proposta de Francisco et al. (2011) onde através do Relatório do Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978), consta a descrição dos polígonos de solos e suas respectivas classes de capacidade de uso que contém as chaves de interpretações em relação aos solos, foi possível classificar e elaborar o mapa de Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a região em estudo.

Foram adotados os parâmetros exigidos pelo MAPA conforme as especificações e recomendações contidas na Instrução Normativa nº 2, de 9 de outubro de 2008 sobre as características dos solos, considerados aptos ao plantio das culturas recomendadas, que são agrupados em três categorias quanto à sua

capacidade de retenção de água assim descritos: do Tipo 1: com teor de argila maior que 10% e menor ou igual a 15; do Tipo 2: com solos com teor de argila entre 15 e 35% e menos de 70% areia; do Tipo 3: com solos com teor de argila maior que 35%; e Área Proibida: sendo expressamente proibido o plantio de qualquer cultura que esteja em solos que apresentem teor de argila inferior a 10% nos primeiros 50 cm de solo; em solos que apresentem profundidade inferior a 50 cm; em solos que se encontra em áreas com declividade superior a 45%; e em solos muito pedregosos, isto é, solos nos quais calhaus e matações ocupam mais de 15% da massa e/ou da superfície do terreno.

Para facilitar a interpretação das recomendações e orientações do MAPA, foram obtidas através das portarias disponíveis no site das culturas zoneadas para os municípios, foi adotado períodos de semeadura (Tabela 2), e, de forma simplificada foi elaborada tabelas resumo.

As culturas zoneadas pelo MAPA (2020) e estudadas neste trabalho são a do algodão herbáceo algodão (*Gossypium hirsutum* L. r *latifolium* Hutch), milho (*Zea Mays* L.), amendoim (*Arachis hypogaea* L.) e do milho de 1.a safra consorciado com braquiária (*Brachiaria spp*).

Tabela 2. Períodos indicados para sementeira

Períodos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Datas	1 a 10	11 a 20	21 a 31	1 a 10	11 a 20	21 a 28	1 a 10	11 a 20	21 a 31	1 a 10	11 a 20	21 a 30
Meses	Janeiro			Fevereiro			Março			Abril		
Períodos	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Datas	1 a 10	11 a 20	21 a 31	1 a 10	11 a 20	21 a 30	1 a 10	11 a 20	21 a 31	1 a 10	11 a 20	21 a 31
Meses	Maio			Junho			Julho			Agosto		
Períodos	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Datas	1 a 10	11 a 20	21 a 30	1 a 10	11 a 20	21 a 31	1 a 10	11 a 20	21 a 30	1 a 10	11 a 20	21 a 31
Meses	Setembro			Outubro			Novembro			Dezembro		

Fonte: MAPA (2019).

Resultados e Discussão

O mapa de zoneamento de risco

climático (Figura 3) e Tabela 3 apresentam a distribuição espacial na área de estudo.

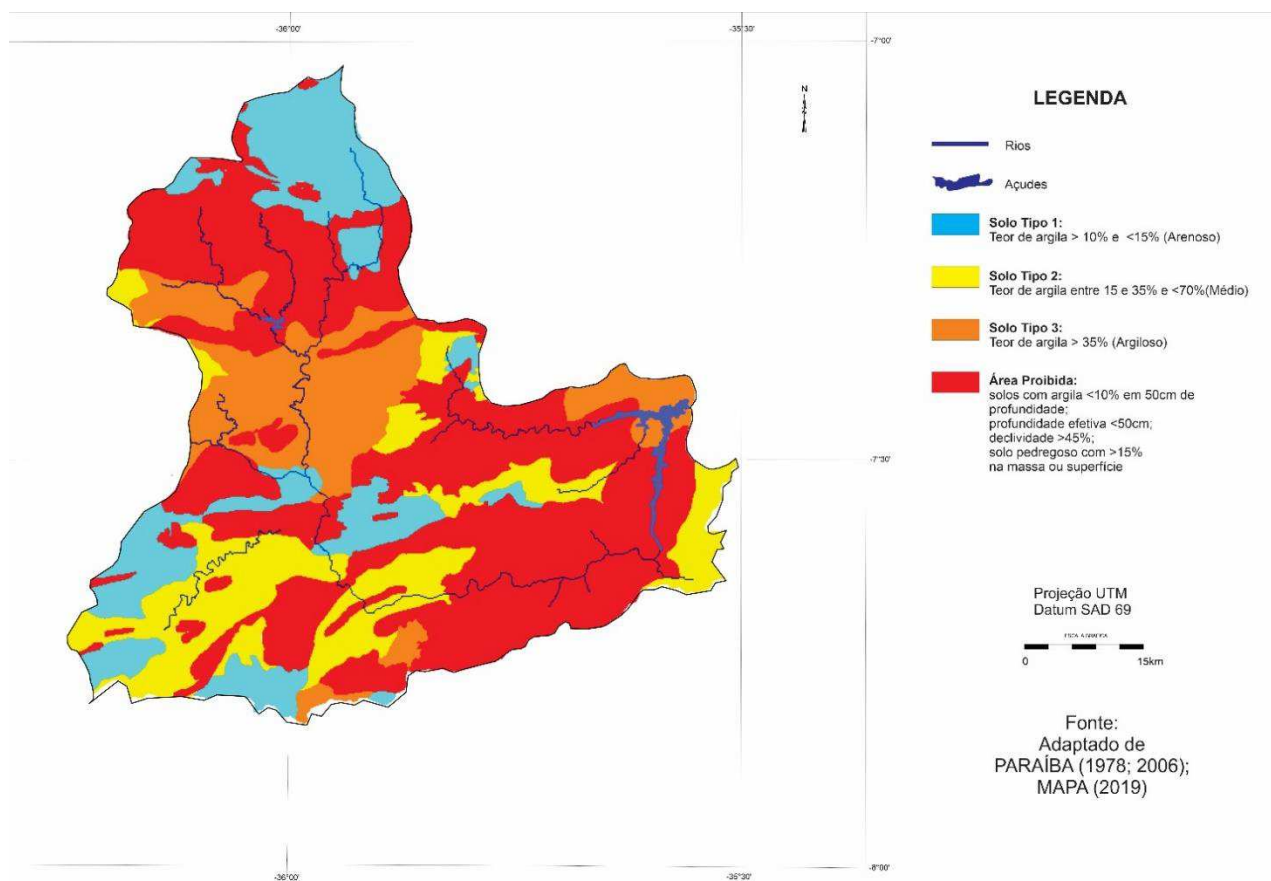


Figura 3. Zoneamento de risco climático da área de estudo. Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); MAPA (2019).

Tabela 3. Distribuição das classes de risco climático

	Classes de risco climático	km ²	%
Tipo 1	Com teor de argila maior que 10% e menor ou igual a 15%	640,41	17,03
Tipo 2	Com solos com teor de argila entre 15 e 35% e menos de 70% areia	711,35	18,92
Tipo 3	Com solos com teor de argila maior que 35%	642,84	17,09
Área Proibida	Sendo expressamente proibido o plantio de qualquer cultura que esteja em solos que apresentem teor de argila inferior a 10% nos primeiros 50 cm de solo; em solos que apresentem profundidade inferior a 50 cm; em solos que se encontra em áreas com declividade superior a 45%; e em solos muito pedregosos, isto é, solos nos quais calhaus e matacões ocupam mais de 15% da massa e/ou da superfície do terreno	1.766,05	46,96
Total		3.760,65	100,00

Identifica-se 640,41 km² de terras do tipo 1 representando 17,03% da área total da bacia (Tabela 3) distribuídas na região norte, central e sudoeste (Figura 3). São áreas compostas pelo Neossolo Quartzarênico Órtico típico e pelo Planossolo Nátrico eutrófico solódico (Figura 3).

Para o Neossolo Quartzarênico Órtico típico Cavalcante et al. (2005) enfatizam que, as principais limitações à sua utilização agrícola, são a muito baixa fertilidade natural, baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, determinada pela sua textura arenosa, que inclusive dificulta as práticas de adubação que visam a ser feitas. Não se prestam, portanto, para a maioria das culturas regionais, exceto para algumas culturas perenes muito adaptadas, mesmo assim, com adubações. Os Neossolos Quartzarênicos são essencialmente quartzosos, desprovidos de materiais primários alteráveis, sem contato lítico dentro de 50 cm de profundidade, apresentando textura areia ou areia franca em todos os horizontes até no mínimo, a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo ou até contato lítico (JACOMINE, 2009).

Para o Planossolo Háplico Eutrófico

solódico conforme BRASIL (1972), estes são pouco profundos e de acordo com Cavalcante et al. (2005), estes apresentam importantes limitações ao uso agrícola, os elevados teores em sódio trocável e más condições físicas nos horizontes subsuperficiais, principalmente do Bt. O aproveitamento dos solos da região é feito com pecuária extensiva, usando-se para isto a própria vegetação natural.

EMBRAPA (2009) afirma que o alto risco da agricultura de sequeiro e obtenção de baixas produtividades das culturas exploradas, ocorrendo deficiência hídrica no estágio crítico da cultura, em função dos menores valores de armazenamento de água no solo. Conforme o Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2013), verifica que na prática, ocorrem em algumas áreas de plantio temporário de pequenas lavouras, onde o agricultor corre o risco de perder as culturas relacionadas devido à irregularidade das precipitações no período de condução das lavouras.

Nas tabelas resumo (Tabelas 4 a 7) constam os períodos de semeadura das culturas para cada grupo, levando em consideração os tipos de solos encontrados na área de estudo.

Tabela 4. Período de semeadura da cultura do algodão herbáceo para cada grupo e tipo de solo

Municípios	Grupo I			Grupo II			Grupo III		
	Períodos de semeadura			Períodos de semeadura			Períodos de semeadura		
	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3
Alcantil	6 a 14	5 a 15	5 a 15	6 a 12	5 a 13	5 a 13	6 a 11	5 a 11	5 a 11
Aroeiras	5 a 15	5 a 15	5 a 15	6 a 13	5 a 13	5 a 13	5 a 11	5 a 11	5 a 11
Boa Vista	8 a 13	5 a 14	5 a 14	7 a 11	5 a 12	5 a 12	6 a 10	5 a 11	5 a 11
Boqueirão	8 a 13	5 a 14	5 a 15	6 a 11	5 a 12	5 a 13	6 a 11	5 a 11	5 a 11
Barra de São Miguel	8 a 13	5 a 14	5 a 15	6 a 11	5 a 12	5 a 13	6 a 11	5 a 11	5 a 11
Barra de Santana	6 a 14	5 a 15	5 a 15	6 a 13	5 a 13	5 a 13	6 a 11	5 a 11	5 a 11
Campina Grande	6 a 14	5 a 15	5 a 15	6 a 12	5 a 13	5 a 13	6 a 11	5 a 11	5 a 11
Caturité	6 a 14	5 a 14	5 a 15	6 a 12	5 a 13	5 a 13	6 a 11	5 a 11	5 a 11
Fagundes	6 a 14	5 a 15	5 a 15	6 a 13	5 a 13	5 a 13	6 a 11	5 a 11	5 a 11
Gado Bravo	6 a 15	5 a 15	5 a 15	6 a 13	5 a 13	5 a 13	6 a 11	5 a 11	5 a 11
Itatuba	5 a 15	5 a 15	5 a 15	5 a 13	5 a 13	5 a 13	5 a 11	5 a 11	5 a 11
Montadas	6 a 14	5 a 14	5 a 15	6 a 12	5 a 13	5 a 13	6 a 11	5 a 11	5 a 11
Natuba	5 a 15	5 a 15	5 a 15	5 a 13	5 a 13	5 a 13	5 a 11	5 a 11	5 a 11
Pocinhos	6 a 13	5 a 14	5 a 15	6 a 11	5 a 12	5 a 13	6 a 11	5 a 11	5 a 11
Puxinanã	6 a 14	5 a 14	5 a 15	6 a 12	5 a 13	5 a 13	6 a 11	5 a 11	5 a 11
Queimadas	6 a 14	5 a 15	5 a 15	6 a 12	5 a 13	5 a 13	6 a 11	5 a 11	5 a 11
Riacho de Santo Antônio	8 a 14	5 a 14	5 a 15	6 a 12	5 a 13	5 a 13	6 a 11	5 a 11	5 a 11
Santa Cecília	6 a 15	5 a 15	5 a 15	6 a 13	5 a 13	5 a 13	6 a 11	5 a 11	5 a 11
Umbuzeiro	*	6 a 12	5 a 13	*	6 a 10	5 a 10	*	*	5 a 10

Fonte: Adaptado de MAPA (2019). Obs. * Não recomendado.

Tabela 5. Período de semeadura da cultura do amendoim para cada grupo e tipo de solo

Municípios	Grupo I			Grupo II			Grupo III		
	Períodos de semeadura			Períodos de semeadura			Períodos de semeadura		
	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3
Alcantil	8 a 15	7 a 16	6 a 16	7 a 13	6 a 14	5 a 15	7 a 12	5 a 13	5 a 14
Aroeiras	6 a 16	5 a 17	5 a 17	5 a 15	5 a 15	5 a 16	5 a 11	5 a 14	5 a 15
Boa Vista	10 a 14	8 a 14	5 a 15	10 a 12	6 a 13	5 a 13	7 a 11	5 a 13	5 a 13
Boqueirão	9 a 14	8 a 15	5 a 16	8 a 12	6 a 13	5 a 15	7 a 11	5 a 12	5 a 13
Barra de São Miguel	9 a 14	8 a 15	6 a 15	8 a 12	7 a 13	5 a 15	7 a 11	6 a 12	5 a 13
Barra de Santana	8 a 15	6 a 15	5 a 17	7 a 13	5 a 13	5 a 15	7 a 13	5 a 13	5 a 14
Campina Grande	7 a 15	5 a 16	5 a 16	6 a 13	5 a 14	5 a 15	5 a 12	5 a 12	5 a 13
Caturité	9 a 14	8 a 15	5 a 15	7 a 13	6 a 13	5 a 14	7 a 12	5 a 12	5 a 13
Fagundes	6 a 15	5 a 15	5 a 16	6 a 14	5 a 14	5 a 15	5 a 13	5 a 14	5 a 14
Gado Bravo	7 a 16	6 a 16	5 a 17	7 a 14	5 a 15	5 a 15	5 a 13	5 a 14	5 a 14
Itatuba	6 a 14	5 a 15	5 a 15	5 a 14	5 a 15	5 a 16	5 a 14	5 a 14	5 a 15
Montadas	7 a 14	5 a 15	5 a 15	5 a 16	6 a 13	5 a 14	5 a 12	5 a 13	5 a 13
Natuba	6 a 17	5 a 17	5 a 18	5 a 15	5 a 15	5 a 16	5 a 14	5 a 15	5 a 15
Pocinhos	9 a 14	5 a 15	5 a 15	7 a 12	5 a 13	5 a 14	7 a 11	5 a 12	5 a 13
Puxinanã	7 a 14	5 a 15	5 a 16	6 a 13	5 a 13	5 a 14	7 a 12	5 a 13	5 a 13
Queimadas	7 a 15	6 a 16	5 a 17	7 a 13	5 a 14	5 a 15	5 a 12	5 a 13	5 a 14
Riacho de Santo Antônio	9 a 14	8 a 15	6 a 16	8 a 13	6 a 13	5 a 14	7 a 12	5 a 12	5 a 13
Santa Cecília	7 a 15	6 a 16	5 a 17	7 a 14	5 a 15	5 a 15	5 a 13	5 a 14	5 a 14
Umbuzeiro	*	11 a 13	6 a 14	*	*	5 a 11	*	*	6 a 10

Fonte: Adaptado de MAPA (2019). Obs. * Não recomendado.

Tabela 6. Período de semeadura da cultura do milho para cada grupo e tipo de solo

Municípios	Grupo I			Grupo II			Grupo III		
	Períodos de semeadura			Períodos de semeadura			Períodos de semeadura		
	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3
Alcantil	9 a 14	6 a 15	5 a 16	7 a 12	5 a 13	3 a 14	5 a 10	4 a 11	3 a 12
Aroeiras	9 a 14	6 a 15	5 a 16	5 a 13	4 a 14	3 a 14	4 a 11	3 a 12	2 a 13
Boa Vista	11 a 12	6 a 13	4 a 14	10	7 a 11	3 a 12	*	5 a 9	2 a 10
Boqueirão	10 a 13	7 a 14	5 a 15	9 a 11	5 a 12	3 a 13	8 a 9	5 a 10	3 a 11
Barra de São Miguel	10 a 13	5 a 14	4 a 15	8 a 12	4 a 13	3 a 13	5 a 10	4 a 11	2 a 12
Barra de Santana	10 a 14	7 a 15	5 a 16	8 a 12	4 a 14	5 a 15	7 a 10	4 a 11	3 a 12
Campina Grande	10 a 13	6 a 14	4 a 15	9 a 11	5 a 12	3 a 13	8 a 10	4 a 10	2 a 11
Caturité	10 a 13	7 a 14	5 a 15	9 a 11	5 a 12	3 a 13	8 a 9	5 a 10	2 a 11
Fagundes	9 a 14	6 a 14	5 a 16	7 a 12	5 a 13	3 a 14	5 a 10	4 a 11	2 a 12
Gado Bravo	9 a 14	6 a 15	5 a 16	8 a 12	5 a 13	4 a 14	5 a 11	4 a 12	3 a 12
Itatuba	6 a 14	5 a 15	5 a 16	5 a 12	4 a 13	3 a 14	4 a 11	3 a 12	2 a 13
Montadas	11 a 12	6 a 13	5 a 14	10	5 a 12	3 a 11	9	5 a 10	2 a 11
Natuba	6 a 14	5 a 15	5 a 17	5 a 13	4 a 14	3 a 15	4 a 12	3 a 12	2 a 13
Pocinhos	11 a 12	6 a 13	4 a 14	10	7 a 11	3 a 12	*	6 a 9	2 a 10
Puxinanã	11 a 12	6 a 14	4 a 14	9 a 11	5 a 12	3 a 13	9	5 a 10	2 a 11
Queimadas	10 a 14	6 a 14	5 a 15	8 a 12	5 a 13	3 a 15	7 a 10	4 a 11	3 a 12
Riacho de Santo Antônio	9 a 14	6 a 12	5 a 13	7 a 12	5 a 13	3 a 14	5 a 10	4 a 11	2 a 12
Santa Cecília	9 a 14	6 a 15	5 a 16	7 a 12	5 a 13	4 a 14	5 a 11	4 a 12	3 a 13
Umbuzeiro	*	4 a 12	3 a 13	*	3 a 11	2 a 12	*	2 a 9	2 a 10

Fonte: Adaptado de MAPA (2019). Obs. * Não recomendado.

Tabela 7. Período de semeadura da cultura do milho 1.a safra consorciado com a braquiária para cada grupo e tipo de solo

Municípios	Grupo I			Grupo II			Grupo III		
	Períodos de semeadura			Períodos de semeadura			Períodos de semeadura		
	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3
Alcantil	10 a 14	9 a 15	7 a 15	9 a 12	8 a 13	7 a 13	8 a 11	7 a 11	7 a 12
Aroeiras	8 a 15	7 a 16	7 a 16	8 a 14	7 a 14	5 a 15	8 a 12	7 a 13	6 a 13
Boa Vista	11 a 13	11 a 14	9 a 14	10 a 11	9 a 12	9 a 12	9	8 a 10	7 a 10
Boqueirão	11 a 13	10 a 14	9 a 14	9 a 12	9 a 12	8 a 13	8 a 10	7 a 11	7 a 11
Barra de São Miguel	11 a 13	10 a 14	9 a 14	10 a 11	9 a 12	8 a 13	9 a 10	8 a 10	7 a 11
Barra de Santana	9 a 14	7 a 15	7 a 15	8 a 13	7 a 13	7 a 14	8 a 11	7 a 12	7 a 12
Campina Grande	9 a 14	7 a 15	7 a 15	8 a 12	7 a 13	5 a 13	8 a 11	7 a 11	6 a 12
Caturité	10 a 14	9 a 14	7 a 15	9 a 11	8 a 13	7 a 13	8 a 10	7 a 11	7 a 11
Fagundes	9 a 14	7 a 15	7 a 16	8 a 13	7 a 14	5 a 14	8 a 11	7 a 12	6 a 12
Gado Bravo	9 a 15	7 a 15	7 a 16	8 a 13	7 a 14	7 a 14	8 a 12	7 a 12	7 a 13
Itatuba	8 a 15	7 a 16	7 a 16	8 a 14	5 a 14	5 a 15	8 a 12	5 a 13	6 a 13
Montadas	10 a 14	7 a 14	7 a 14	9 a 12	8 a 13	5 a 13	8 a 10	6 a 11	6 a 11
Natuba	8 a 15	7 a 16	5 a 17	8 a 14	5 a 15	5 a 15	8 a 12	6 a 13	6 a 14
Pocinhos	11 a 13	9 a 14	7 a 14	9 a 11	9 a 12	7 a 13	8 a 10	6 a 10	6 a 11
Puxinanã	10 a 14	7 a 14	7 a 15	9 a 12	8 a 13	5 a 13	8 a 10	7 a 11	6 a 11
Queimadas	9 a 14	7 a 15	7 a 15	8 a 13	7 a 13	7 a 14	8 a 11	7 a 11	5 a 6
Riacho de Santo Antônio	10 a 14	10 a 14	7 a 15	9 a 12	8 a 13	8 a 13	8 a 10	7 a 11	7 a 11
Santa Cecília	9 a 15	7 a 15	7 a 16	8 a 13	7 a 14	7 a 14	9 a 11	7 a 12	7 a 13
Umbuzeiro	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Fonte: Adaptado de MAPA (2019). Obs. * Não recomendado.

Ficam indicadas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático para o solo do tipo 1, todas as culturas atendidas as indicações e recomendações da região de adaptação para a maioria dos municípios integrantes da bacia em estudo, com exceção para o município de Umbuzeiro, onde não se identifica para o solo tipo 1 recomendação para todos os 3 grupos de culturas. Observa-se ainda que ocorre algumas restrições para o solo tipo 1 (arenoso) para o amendoim referente ao grupo III para as áreas dos municípios de Boa Vista, Montadas, Pocinhos e Puxinanã ambos localizados ao norte da bacia onde ocorrem os Neossolos Quartzarênicos e região com menor pluviosidade média anual de 385mm (Tabela 1). Para os períodos indicados para a semeadura, observa-se que para a maioria das culturas recomendadas inicia-se no 5.º decênio (fevereiro) estendendo-se até o final do mês de maio (15.º decênio) isto devido a capacidade maior de percolação destes solos.

Identifica-se áreas de terras do tipo 2 que perfazem um total de 711,35 km², representando 18,92% da área total distribuídas no terço inferior da bacia (Tabela 3 e Figura 3). Áreas estas compostas pelos Luvisolos Crômicos Órtico típico, que conforme Cavalcante et al. (2005), no caso de utilização agrícola, faz-se necessária,

principalmente, a escolha de áreas de menor declividade, tomando algumas medidas como o controle da erosão, considerando-se também que a limitação pela falta d'água é forte. Esta classe também contempla e Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico em área do localizada ao sudeste divisa com Pernambuco, que de acordo com Francisco (2010), nesta região, são bem profundos. Conforme Cavalcante et al. (2005) no estado da Paraíba estes solos são usados para culturas de subsistência (milho, feijão, fava) e algodão herbáceo, em geral consorciados. Com relação às propriedades químicas do Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico, deve ressaltar que apesar de possuírem fertilidade alta, geralmente apresentam baixos teores de matéria orgânica e nitrogênio.

Ficam indicadas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático para o solo do tipo 2, todas as culturas atendidas as indicações e recomendações da região de adaptação para a maioria dos municípios integrantes da bacia em estudo, com exceção para o município de Umbuzeiro, onde não se identifica para o solo tipo 2 recomendação para todos os 3 grupos de culturas.

Identifica-se áreas de terras do tipo 3 que perfazem um total de 642,84 km², representando 17,09% da área total distribuídas no terço superior entre os

municípios de Barra de Santana, Boqueirão, Caturité, Queimadas e Boa Vista, e ao sul em Santa Cecília compostas pelo Vertissolo Cromado Órtico típico, e ao extremo leste da bacia em Itatuba onde ocorrem o Luvissoilo Hipocrômico Órtico típico com caráter planossólico, que de acordo com Jacomine (2009) são solos com permeabilidade lenta ou muito lenta, para Francisco (2010) são solos descritos como imperfeitamente drenados em BRASIL (1972). Para Cavalcante et al. (2005) estes são solos imperfeitamente drenados são normalmente pouco profundos e apresentam horizontes subsuperficiais com má condição física, associados a elevados teores de sódio trocável. De acordo com Cavalcante et al. (2005), os Vertissolos são solos muito susceptíveis à salinização. São facilmente erodíveis e em alguns locais são muito rasos e não se prestam para irrigação. Apesar da fertilidade ser alta, de um modo geral, estes solos possuem baixos teores de matéria orgânica e nitrogênio. A principal limitação ao uso agrícola dos mesmos é a falta d'água, que é muito forte, em face do clima ter um longo período seco, com forte evaporação.

Ficam indicadas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático para o solo do tipo 3, as culturas do milho, algodão herbáceo e amendoim para todos os municípios da área, com exceção da cultura do milho 1.a safra consorciado com a braquiária para o município de Umbuzeiro, para todos os 3 grupos de culturas onde ocorrem os Neossolos Litólicos Eutróficos localizados em região com maior declividade. Para os períodos indicados para a semeadura, observa-se que para a maioria das culturas recomendadas estão centrados no 5.º decênio (fevereiro) e estendendo-se até o final do mês de maio (15.º decênio) em alguns municípios estendendo-se até o 18.º decênio e, portanto, com menor ocorrência do risco de perdas.

O consórcio do milho com a braquiária é possível graças ao diferencial de tempo e espaço no acúmulo de biomassa entre as espécies. A associação entre o sistema plantio direto e o consórcio entre culturas anuais e pastagens é uma das opções que apresenta maiores benefícios, como maior reciclagem de nutrientes, acúmulo de palha na superfície, melhoria da parte física do solo, pela ação conjunta dos sistemas radiculares e pela incorporação e acúmulo de matéria orgânica, além de ser mais sustentável em relação ao cultivo convencional (MAPA, 2019d).

As áreas identificadas como Proibidas perfazem um total de 1.766,05 km², representando 46,96% da área distribuídas pela bacia. São áreas compostas pelos Neossolos Litólicos Eutróficos, que conforme Cavalcante et al. (2005), apresentam baixas condições para um aproveitamento agrícola racional, tendo em vista as limitações fortes existentes, provocadas pelo relevo forte ondulado, pedregosidade, rochosidade e reduzida profundidade dos solos. Área estas constituída também pelos Luvissoilo Hipocrômico Órtico típico com caráter planossólico que conforme Cavalcante et al. (2005), a limitação ao uso agrícola destes solos decorre da falta d'água que é muito forte. Também concorrem para isto a forte susceptibilidade à erosão, grande pedregosidade e pequena profundidade dos solos. Francisco et al. (2011) afirmam que se relaciona esta inaptidão, principalmente, com as condições climáticas e/ou condições edáficas exigidas por estas culturas, em função das características dos solos e seus atributos, de seus graus de limitações e/ou do clima.

O MAPA (2019a) afirma que o algodão (*Gossypium hirsutum* L. r *latifolium* Hutch) necessita para seu crescimento, desenvolvimento e boa produtividade, de condições adequadas de temperatura, umidade do solo e luminosidade. Temperaturas entre 18 e 30°C, com mínimas superiores a 14°C e máximas inferiores a 35°C proporcionam boas condições para a germinação. Dependendo do clima e da duração do ciclo, o algodoeiro necessita de 700 a 1.300mm de precipitação pluvial para seu bom desenvolvimento

O Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento afirma que o milho (*Zea mays* L) é um dos cereais mais cultivados do mundo. A sua importância se dá devido a sua grande adaptação às diferentes condições ambientais, onde vários fatores contribuem para a produtividade do milho, sendo os mais importantes a disponibilidade de água. Para a obtenção de boas produtividades a cultura requer temperaturas entre 24 e 30°C, radiação solar elevada e necessita de um mínimo de 400 a 600mm de precipitação pluvial durante o ciclo (MAPA, 2019b).

No caso do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) adapta-se a uma larga faixa de climas, desde os equatoriais até os temperados. A cultura desenvolve-se melhor, com produtividade mais elevada, em climas quentes. Temperaturas de 30°C, ou ligeiramente superiores, são as mais benéficas para a

germinação, desenvolvimento inicial das plantas e, também, na formação do óleo. Em cultivo de sequeiro, o amendoim necessita de precipitação pluvial acima de 500 mm, bem distribuída ao longo do período total de crescimento, e de umidade suficiente nos dois primeiros meses do período vegetativo, sem deficiência hídrica no solo (MAPA, 2019c).

Dos resultados obtidos neste trabalho para as culturas indicadas, estão de conformidade com os encontrados por Silva e Rao (2006) para a cultura do amendoim; algodão herbáceo por Amorim Neto et al. (2001) e Silva et al. (2005); milho por Sans et al. (2002).

Por este trabalho observa-se que alguns grupos de culturas e semanas de semeadura indicadas podem proporcionar melhores opções aos agricultores em cada município conforme a localização e o tipo de solo que ocorre na área.

Conclusão

Neste trabalho não se levou em conta as áreas de preservação permanente, de acordo com a Lei 12.651, de 25 de maio de 2012 devido estar diretamente relacionada ao nível imposto pela escala do levantamento de solo, base deste trabalho.

A metodologia utilizada mostrou-se adequada para o mapeamento das áreas de risco a produção agrícola em região semiárida e de transição.

Identificou-se 640,41 km² de terras do tipo 1 representando 17,03% da área total da bacia; do tipo 2 com 711,35 km² (18,92%); do tipo 3 com 642,84 km² (17,09%); Proibidas em 1.766,05 km² (46,96%).

As maiores limitações observadas são devidas as condições de exigências hídricas das culturas e de alguma forma aos solos predominantes na área.

Referências

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. João Pessoa, 2011. Disponível em: <<http://geo.aesa.pb.gov.br>>. Acesso em: 9 de abril 2020.

AMORIM NETO, M. DA S.; ARAÚJO, A. E. DE; CARAMORI, P. H.; GONÇALVES, S. L.; WREGGE, M. S.; LAZZAROTTO, C.; LAMAS, F. M.; SANS, L. M. A. Zoneamento agroecológico e definição da época de semeadura do algodoeiro no Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.9, n.3, p.422-428, 2001.

ASSAD, E. D. Metodologias para zoneamento de riscos climáticos no Brasil. In: Congresso

Brasileiro de Agrometeorologia, 11, Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, 2, 1999, Florianópolis. Anais...Florianópolis: SBA, 1999. p.79-85.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro. Convênio MA/CONTA/USAID/BRASIL, 1972. (Boletins DPFS-EPE-MA, 15 - Pedologia, 8).

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. DE. Geoprocessamento para projetos ambientais. INPE. São José dos Campos, 1996. 39p.

CAMPOS, M. C. C.; QUEIROZ, S. B. Reclassificação dos perfis descritos no Levantamento Exploratório - Reconhecimento de solos do estado da Paraíba. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.6 n.1, p.45-50, 2006.

CARVALHO, C. C. N.; ROCHA, W. F.; UCHA, J. M. Mapa digital de solos: Uma proposta metodológica usando inferência fuzzy. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.1, p.46-55, 2009.

CAVALCANTE, F. DE S.; DANTAS, J. S.; SANTOS, D.; CAMPOS, M. C. C. Considerações sobre a utilização dos principais solos no estado da Paraíba. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, v.4, n.8, p.1-10, 2005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar do estado da Paraíba. (Org.) MANZATTO, C. V. et al. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 55p.

Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPS-2010/14408/1/ZonCana.pdf>. Acesso em: 12 de maio de 2020.

FERNANDES, M. F.; BARBOSA, M. P.; SILVA, M. J. DA. O uso de um sistema de informações geográficas na determinação da aptidão agrícola das terras de parte do setor leste da bacia do Rio Seridó, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.2, n.2, p.195-198, 1998.

FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE; SANTOS, D. Tecnologia da geoinformação aplicada no mapeamento das terras à mecanização agrícola. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.29, n.1, p.45-51, 2014.

Agrícolas do Brasil, Monitoramento Agrometeorológico e Previsão de Safras. 2002. SILVA, L. C.; RAO, T. V. R. Avaliação de métodos para estimativa de coeficientes da cultura de amendoim. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.1, 2006. SILVA, M. T.; AMARAL, J. A. B. DO; BELTRÃO, N. E. DE M.; NASCIMENTO, M. G. DO. Definição da época de semeadura para o algodão herbáceo (*Gossypium Hirsutum L. R. Latifolium Hutch*) no

estado da Paraíba, segundo o zoneamento de risco climático. EMBRAPA. Zoneamento de Riscos Agrícolas do Brasil, Monitoramento Agrometeorológico e Previsão de Safras. 2005a. ZHAO, J.; YANG, X. Distribution of high-yield and high-yield-stability zones for maize yield potential in the main growing regions in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.248, p.511-517, 2018.

Capítulo 4

RECUPERAÇÃO DE ÓLEO UTILIZANDO UM SISTEMA ASP (ÁLCALI - SURFACTANTE - POLÍMERO) EM ROCHA ARENÍTICA DA FORMAÇÃO DE BOTUCATU

Helton Gomes Alves¹
Adson Alexandre Quirino da Silveira²
Alcides de Oliveira Wanderley Neto³
Marcos Allyson Felipe Rodrigues⁴
Tereza Neuma de Castro Dantas⁵

¹Doutorando em Eng. Química, UFRN, Natal-RN, helton.02@hotmail.com

² Doutorando em Eng. de Petróleo, UFRN, Natal-RN, adson.alexandre@gmail.com

³Dr. Prof. Associado ao Instituto de Química, UFRN, Natal-RN, alcideswanderley@hotmail.com

⁴Dr. Prof. Associado ao Departamento de Eng. de Petróleo, UFRN, Natal-RN, marcos.allyson@gmail.com

⁵Dra. Profa. Aposentada, UFRN, Natal-RN, terezaneuma1011@yahoo.com.br

Introdução

Com o intuito de minimizar os efeitos decorrentes da perda de energia primária em um reservatório de petróleo, ou fornecer possibilidade de incremento no fator de recuperação de hidrocarbonetos para os casos onde a energia primária não é suficiente, é possível aplicar diferentes métodos especiais de recuperação de petróleo (*Enhanced Oil Recovery-EOR*), através da adição de energia no sistema e/ou tratamento do fluido ainda *in situ* (MATTE, 2011). Os métodos especiais, normalmente, são mais caros, entretanto, interferem não só no aumento da diferença de pressão entre reservatório e superfície, mas também altera as características dos reservatórios e/ou dos fluidos, incrementa a eficiência do processo e acelera o processo produtivo. Geralmente os métodos especiais são aplicados em campos maduros, após a recuperação primária ou secundária, contudo, nem sempre são empregados em ordens cronológicas, são aplicados de acordo com as características do reservatório, juntamente com a avaliação econômica (ROSA et al., 2006; SOUZA, 2017; VIANA, 2018).

Romero e FejoI (2015) classificam os métodos especiais de recuperação em: (i) térmicos, têm como mecanismo a redução da viscosidade do óleo através do aumento da temperatura do óleo no reservatório, facilitando o escoamento no meio poroso. Os mais comuns são os de injeção de água quente, injeção cíclica

ou contínua de vapor, drenagem gravitacional assistida por vapor (SAGD), injeção de combustão *in situ* (o combustível é o óleo do reservatório e o comburente o ar injetado) e o aquecimento eletromagnético; (ii) químicos, que consistem na adição de um componente químico no fluido deslocante, com o objetivo de gerar propriedades ou condições interfaciais mais favoráveis ao deslocamento do óleo. Dentre eles tem-se injeção de solução polimérica, solução alcalina, ASP (álcali, surfactante e polímero), injeção de solução micelar e injeção de espumas; (iii) miscíveis ou solventes, tem como principal mecanismo a redução da tensão interfacial entre o fluido deslocante e o deslocado, através da miscibilidade. São os métodos associados a injeção de gases como os hidrocarbonetos gasosos (pobre ou enriquecido), injeção de bancos de GLP - Gás liquefeito de Petróleo, injeção do gás Nitrogênio (N₂), injeção de dióxido de carbono (CO₂) e solventes orgânicos; e (iv) outros métodos, como a utilização de microrganismos, Toe-to-Heel Air Injection (THAI), Vapour Extraction (VAPEX), estimulação sísmica, dentre outros.

De acordo com Viana (2018), os métodos especiais mais utilizados na recuperação de petróleo são os de injeção de gás (51%) e os térmicos (41%), sendo os químicos (8%) com menor expressão. Como já mencionado os métodos químicos consistem em processos em que se almejam uma interação química entre os

fluidos injetados e o óleo aprisionado, objetivando alterar as características como mobilidade, miscibilidade, molhabilidade e tensões interfaciais, visando reduzir a saturação do óleo residual (LOMBARDI et al., 2006). Viana (2018) também ressalta que os métodos químicos são denominados de acordo com o aditivo químico utilizado na solução deslocante. Entre os tipos mais comuns estão, injeção de solução polimérica (COSTA, 2014; BARROS, 2016; SHIRAN & SKAUGE, 2017; REGO et al., 2017; CHAUDHURI & VISHNUDAS, 2018; VIK et al., 2018; FERREIRA, 2019; JUÁREZ-MOREJÓN et al., 2019), injeção de solução surfactante (IGLAUER et al., 2010; SANTA, 2011; LU et al., 2012; CURBELO et al., 2017; ADENIYI & OLAFUYI, 2018; CARPENTER, 2018; CHENG et al., 2018; UPAMALI et al., 2018; SANTANNA, et al., 2018; CASTRO DANTAS et al., 2014, 2017, 2018, 2019; DE CASTRO DANTAS et al., 2019; NEVES et al., 2020) e injeção de solução contendo Álcali, Surfactante e Polímero - ASP (SHARMA et al., 2015; WANG et al., 2016; PANTHI et al., 2016; SHARMA et al., 2016; AITKULOV & MOHANTY, 2016; MURAYRI et al., 2017; AITKULOV & MOHANTY, 2018; SHARMA et al., 2018; HONGYAN et al., 2018; VIANA, 2018; ZHONG et al., 2018; HUANG et al., 2019).

O processo de recuperação de óleo utilizando a tecnologia ASP consiste na injeção de bancos de uma solução aquosa contendo um agente alcalino, um surfactante e um polímero, juntos ou separados. O método foi desenvolvido no início dos anos 80 e vem sendo utilizado para recuperar óleo residual. Pois, apresenta uma boa sinergia entre os três agentes químicos, no entanto, a eficiência do método depende das propriedades termofísicas do reservatório e do procedimento adotado (BORGES, 2008; SHENG, 2011; VIANA, 2018). O processo busca reduzir as forças capilares, melhorar a eficiência de deslocamento, aumentar a área de contato entre os fluidos e controlar a razão de mobilidade. De acordo com a literatura o incremento do fator de recuperação (óleo incremental dividido por OOIP) pode chegar a mais de 20% (CHEN et al., 2012; VOLOKITIN et al., 2012; HUMPHRY et al., 2013; JING et al., 2013; SHARMA et al., 2015; MURAYRI et al., 2017; AITKULOV & MOHANTY, 2018; VIANA, 2018; ZHONG et al., 2018; ZHONG et al., 2019).

Neste processo cada agente químico desempenha um papel fundamental, a principal

função do polímero é aumentar a viscosidade do fluido deslocante, contribuindo na correção da razão de mobilidade entre os fluidos deslocante e deslocado, e assim, gerar um aumento na eficiência de varrido do fluido injetado, o surfactante atua na redução mais efetiva da tensão interfacial (IFT) e contribui para a estabilidade da emulsão formada, e o agente alcalino promove a emulsificação do óleo aprisionado, pode alterar a molhabilidade da superfície da rocha, aumenta o pH e reduz a adsorção do surfactante e do polímero na rocha arenítica (SHENG, 2011; SOUZA, 2017; HUANG et al., 2019). No entanto, a solução de polímero e a solução de surfactante podem impor restrições uma à outra.

Em aplicações do método, normalmente, antes do banco principal ASP, tem-se um pré-banco (*pré-flush*) e depois um pós-banco (*protection slug* ou *polymer drive*) com intuito de evitar incompatibilidade entre os fluidos e favorecer o escoamento por todo o reservatório (SHARMA et al., 2015). O pré flush de alcali-surfactante tem a função de reduzir a tensão interfacial, através da inversão da molhabilidade da rocha, o banco de polímero tem o objetivo de formar uma frente de avanço uniforme, no intuito de aumentar a eficiência de varrido e o banco de água é utilizada como fluido deslocante (SHARMA et al., 2015; VIANA, 2018). Todavia, na literatura, não existe uma regra na ordem de injeção dos respectivos bancos, sendo possível a inserção de um pó banco de polímero de menor concentração com a finalidade de proteger o banco principal de polímero de possíveis incompatibilidade.

Mediante o exposto, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar a recuperação avançada de óleo em rocha arenítica, utilizando um sistema ASP.

Material e Métodos

Obtenção e caracterização dos plugs de arenito

Os plugs (50mm de comprimento e 40mm de diâmetro) de arenito da formação Botucatu, geograficamente localizado no Estado do Paraná, foram confeccionados no Laboratório de Engenharia de reservatórios (LabRes-UFRN). Inicialmente a amostra da rocha foi perfurada utilizando uma perfuratriz (Figura 1.a) munida com uma serra copo diamantada de 190mm de comprimento e 44mm de diâmetro. Em seguida foi realizado um

faciamento (Figura 1.b) nas extremidades dos mesmos, no intuito de determinar o



(A)

comprimento e garantir a uniformidade das bases.



(B)

Figura 1. Equipamentos utilizados na confecção dos plugs.

Posteriormente os plugs foram submetidos ao processo de limpeza (Figura 2.a), calcinação (2.b) e identificação (2.c). No processo de calcinação foi utilizada uma mufla com a temperatura de 700°C, com uma rampa

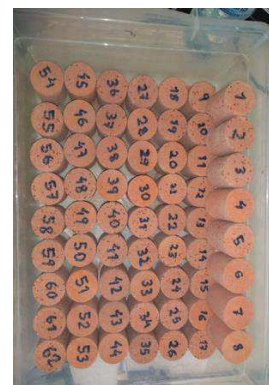
de aquecimento de 10°C/min, durante 6 horas, no intuito de eliminar todo material orgânico, além da evaporação de toda umidade contida nos poros da rocha.



(A)



(B)



(C)

Figura 2. Imagens dos plugs nos processos de limpeza, Calcinação e Identificação.

Obtenção e caracterização do sistema ASP

O sistema ASP de composição 84,5% da fase aquosa (0,6% de polímero AH 912 SH + 83,9% de solução de 1,5% de Na_2CO_3), 0,5% da fase oleosa (querosene) e 15% do cotensoativo/tensoativo (Butan⁻¹-ol/OCS), foi obtido no Laboratório de Tecnologia de Tensoativos (LTT -UFRN), através de uma ordem de pesagem utilizada por Viana (2018). Utilizando quatro etapas de preparo, 1- Inicialmente pesou-se o surfactante, o cotensoativo, a fase oleosa (querosene) e somente parte da fase aquosa, a água destilada (na ausência do álcali e do polímero); 2 - com o auxílio de um agitador magnético homogeneizou-se e rapidamente formou-se a micro emulsão (Aspecto transparente); 3 - adicionou-se o polímero e deixou-se em agitação por 6 horas, em torno de 700 rpm,

garantindo sua total solubilização; 4- acrescentou-se a massa do álcali e após 15 minutos de agitação o preparo foi finalizado.

Determinação do diâmetro de partícula

Para a determinação do diâmetro de partícula foi utilizado o equipamento ZetaPlus, Marca Instrutécnica. Este equipamento utiliza a técnica de espectroscopia de correlação de fóton (PCS) para fazer as medidas de diâmetro de gota (SOUZA, 2013).

Determinação da tensão superficial

Para a determinação da tensão superficial foi utilizado o tensiômetro SensaDyne, modelo QC6000. O método utilizado foi o da bolha, que se baseia na profundidade de imersão e na pressão máxima de bolhas de nitrogênio expelidas por dois tubos,

respectivamente, de maior e menor diâmetro, imersos no fluido que se deseja determinar a tensão superficial (BARROS, 2016).

Determinação do pH e condutividade

Para a determinação do pH e condutividade as medidas foram realizadas utilizando um medidor de pH (Tecnal) e um condutímetro (Digimed, dm31), respectivamente.

Ensaio de EOR (Enhanced Oil Recovery)

O ensaio de recuperação avaliou a eficiência de recuperação de um óleo leve em rocha arenítica, através de um sistema de confinamento para testes hidrostático em meios porosos, adaptado de um equipamento de permeabilidade relativas, o SRP 350 da empresa Vinci Technologies AS (Figura 3).

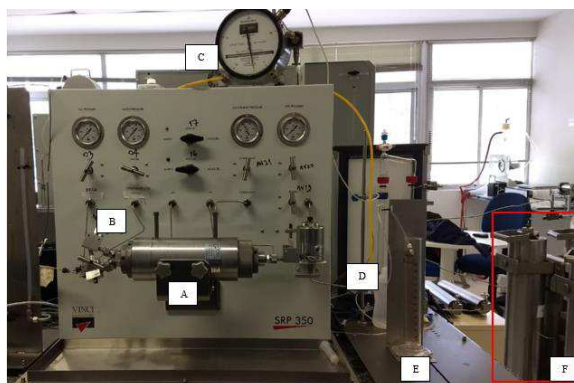


Figura 3. Sistema de confinamento para testes hidrostático em meios porosos: (A) holder; (B) linhas de injeção de fluidos; (C) gasômetro; (D) linha de saída de fluidos; (E) coletor de fluidos; (F) células de injeção de fluidos.

A metodologia utilizada para obter os resultados foi adaptada de Souza (2017) e Viana (2018), descritas: 1 – Montar todo o equipamento, utilizando o plug e fazendo todas as conexões necessárias; 2 – Aplicar a pressão de confinamento de 2000 psi; 3 – Injeção de solução de KCl 2% em peso (salmoura) a vazão constante de 4 mL/min a uma pressão de 2000 psi. Essa etapa é denominada de saturação do plug com salmoura; 4 – Injeção de petróleo a vazão constante de 1 mL/min a uma pressão 2600 psi, com o objetivo de saturar o plug com óleo; 5 – Injeção de salmoura, com o intuito de simular a etapa de recuperação de óleo pelo

método convencional; 6 – Corresponde a injeção do sistema ASP, simulando a etapa de recuperação avançada.

Para as duas últimas etapas foram injetados três volumes porosos dos fluidos deslocantes a uma vazão constante de 0,5 mL/min. Os fluidos que saem do *core holder* são coletados em provetas de 250 mL e os volumes de óleo recuperados em ambas as etapas são quantificados para calcular o percentual de óleo recuperado pelos dois métodos. Na Tabela 1 estão apresentadas as características do plug e do óleo utilizado no experimento de EOR.

Tabela 1. Características petrofísica do plug 32 e do óleo de Ubarana

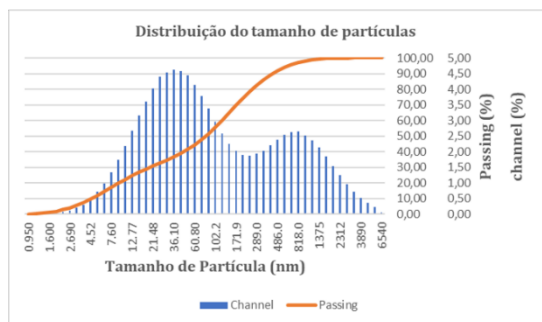
Petrofísica do plug 32		Óleo de Ubarana	
Porosidade	0,30	Massa específica g/cm ³ (20°C)	0,8582
Permeabilidade (mD)	35,88	°API	33,23
Volume poroso mL	16,29		

Resultados e Discussão

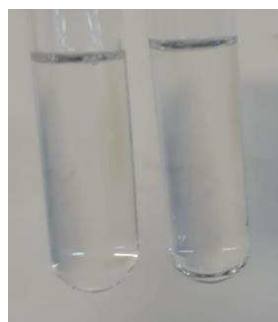
O sistema ASP formulado apresenta uma variação de diâmetro (Figura 4.a) com um valor médio de 550 nm, que de acordo com Viana (2018), essa variação demonstra o dinamismo das formações das micelas gerado pelas

repulsões eletrostáticas das cabeças aniônicas do tensoativo e pelo movimento browniano das moléculas; aparência límpida (Figura 4.b) e estável ao longo do tempo; pH de 10,52 e tensão superficial de 38,36 mN/m onde todos os

parâmetros obtidos apresentam valores semelhantes aos obtidos por Viana (2018).



(a)



(b)

Figura 4. Distribuição do tamanho de partícula do sistema ASP (a) e Aparência do sistema ASP (b).

Após as etapas de saturação do plug é possível obter o valor do volume da água irreduzível de 2,2 mL, a saturação inicial de água (S_{wi}) e a saturação inicial do óleo (S_{oi}). Como pode ser observado na Tabela 2, o somatório da saturação do óleo e da água apresenta um valor inferior a 1, devido, provavelmente, a presença de gás nitrogênio, utilizado nos experimentos

de porosidade ou gás hélio utilizado nos experimentos de permeabilidade; ressaltando-se que existe a possibilidade de haver espaços porosos que podem ser ocupados apenas por fluidos na fase gasosa. Na Tabela 2 estão apresentados os resultados obtidos no ensaio de EOR.

Tabela 2. Valores dos resultados obtidos no ensaio de EOR

Plug	Etapas de Saturação		Recuperação Convencional			Recuperação Avançada		
	S_{wi}	S_{oi}	$S_{w,r}$	$S_{o,r}$	%OOIPc	$S_{w,ra}$	$S_{o,ra}$	%OOIP _T
32	13,50%	82,87%	56,47%	39,90%	51,85%	43,40%	15,35%	81,48%

Após a etapa de saturação constata-se que o volume de salmoura utilizado é suficiente para que a saturação do óleo permaneça constante. Este fenômeno ocorre devido a diferença entre a razão de mobilidade entre os fluidos envolvidos, acarretando a formação dos caminhos preferenciais (ALMEIDA, 2017); resultado que pode ser corroborado pelo volume de água que é coletado na proveta quando a etapa é finalizada (Figura 7.a). Após a aplicação da recuperação convencional foi possível obter os valores da saturação residual de água ($S_{w,r}$) e o percentual de recuperação convencional de óleo *in place* (%OOIPc), com base nos valores obtidos de saturação de óleo inicial (S_{oi}) e saturação de óleo residual ($S_{or,s}$), os quais podem ser observado na Tabela 1.

O percentual de óleo *in place* recuperado com a injeção da salmoura é de 51,85%, o qual apresenta características análogas às das literaturas consultadas. Souza (2013) obteve um %OOIPc entre 57,5% e 61,5 % ao estudar recuperação de óleo leve em rocha arenítica,

Soares (2016) obteve um %OOIPc entre 45 e 66% ao estudar recuperação de óleo leve em rochas carbonáticas e Viana (2018) obteve um %OOIPc entre 51 e 71% ao estudar a recuperação de óleo médio.

No processo de recuperação avançada com o sistema ASP, constata-se problemas de injetividade, ou seja, não foi possível injetar o volume total especificado, problema mensurado através do aumento excessivo da pressão no sistema de injeção. Problemas semelhantes foram observados por Almeida (2015) ao estudar a injeção de solução ASP em reservatórios maduros de óleo médio. Entretanto, obteve-se um percentual total de recuperação de 81,48%, gerando um incremento de 29,63% na recuperação convencional.

A Figura 7 apresenta-se os volumes dos fluidos coletados durante as etapas de recuperação convencional e avançada, respectivamente.



Figura 7. Volume de fluidos coletados nas etapas de recuperação: (a)Convencional e (b)Avançada.

Conclusão

Foi possível obter o sistema ASP de aparência límpida, estável e com uma distribuição de tamanho de partículas com média 51,87 nm devido a presença do polímero.

A etapa de recuperação com a salmoura obteve um percentual de recuperação de 51,87% e a aplicação do sistema ASP na recuperação avançada forneceu um incremento de 29,63%, mesmo constatando-se problemas de injetividade.

Referências

ALMEIDA, L. L. Estudo comparativo da injeção de solução polimérica e ASP em reservatórios maduros de óleo médio. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Petróleo). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2015.

ADENIYI, A. T.; OLAFUYI, O. A. Silica based surfactants for enhanced oil recovery. In: Annual International Conference and Exhibition, 08, 2018, Lagos. Anais...Lagos, 2018.

AITKULOV, A.; MOHANTY, K. K. Timing of asp injection for viscous oil recovery. In: SPE Improved Oil Recovery Conference, 04, 2016, Tulsa. Anais...Tulsa, 2016.

AITKULOV, A.; DAO, E.; MOHANTY, K. K. Asp flood after a polymer flood vs. asp flood after a water flood. In: SPE Improved Oil Recovery Conference, 04, 2018, Tulsa. Anais...Tulsa, 2018.

BARROS, A. T. Q. Preparo, caracterização e aplicação de sistemas poliméricos nanoemulsionados com ênfase em recuperação avançada de petróleo. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2016.

CASTRO DANTAS, T. N.; SOARES, A. P. J.; WANDERLEY NETO, A. O.; DANTAS NETO, A. A. Implementing new microemulsion systems in wettability inversion and oil recovery from

carbonate reservoirs. *Energy Fuels*, v.28, n.11, p.6749–6759, 2014.

CASTRO DANTAS, T. N.; DE SOUZA, T. T. C.; DANTAS NETO, A. A.; MOURA, M. C. P. D. A.; DE BARROS NETO, E. L. Experimental study of nanofluids applied in EOR processes. *J. Surfactants Deterg*, v.20, n.5, p.1095–1104, 2017.

CASTRO DANTAS, T. N.; SANTANNA, V. C.; SOUZA, T. T. C.; LUCAS, C. R. S.; DANTAS NETO, A. A. Microemulsions and nanoemulsions applied to well stimulation and enhanced oil recovery. *Brazilian Journal of Petroleum and Gas*, v.12, n.4, p.25-265, 2018.

CASTRO DANTAS, T. N.; SANTANNA, V.; SOUZA, T.; LUCAS, C. R. S.; NETO, A. D.; AUM, P. T. P. Microemulsions and nanoemulsions applied to well stimulation and enhanced oil recovery (EOR). *Braz J. Pet. Gas*, v.12, n.4, p.251-265, 2019.

CARPENTER, C. Soaking flowback with surfactant improves oil recovery in unconventional reservoirs. *Journal of Petroleum Technology*, v.70, n.10, 2018.

CHAUDHURI, A.; VISHNUDAS, R. A systematic numerical modeling study of various polymer injection conditions on immiscible and miscible viscous fingering and oil recovery in a five-spot setup. *Fuel*, v.232, p.431-443, 2018.

CHEN, G.; TIAN, Y.; ZHAO, X.; LI, X. Optimization of the asp flooding injection pattern for sub-layers in daqing oil field. *Shiyou Xuebao. Acta Petrolei Sinica*, v.33, p.459–464, 2012.

CHENG, X.; KLEPPE, J.; TORSÆTER, O. Simulation study of effects of surfactant properties on surfactant-enhanced oil recovery in fractured reservoirs. In: SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition, 04, 2018, Dammam. Anais...Dammam, 2018.

COSTA, S. E. D. Recuperação avançada do petróleo em meio poroso através de soluções poliméricas. Monografia (Graduação em

- Engenharia Química). Departamento de Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2014.
- CURBELO, F. D. S.; GARNICA, A. I. C.; CASTRO DANTAS, T. N.; BARROS NETO, E. L. Synergism study of mixtures of ionic and nonionic surfactants in enhanced oil recovery adsorption. *Brazilian Journal of Petroleum and Gas*, v.11, n.2, p.091-097, 2017.
- DE CASTRO DANTAS, T. N.; DE OLIVEIRA, A. C.; DE SOUZA, T. T. C.; LUCAS, C. R. S.; ARAÚJO, E. A.; AUM, P. T. P. Experimental study of the effects of acid microemulsion flooding to enhancement of oil recovery in carbonate reservoirs. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, v.10, p.1127-1135, 2020.
- FERREIRA, V. H. S. Injection scheme to reduce retention and improve economics of polymer enhanced oil recovery. In: *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, 10, 2019, Calgary. Anais... Calgary, 2019.
- IGLAUER, I.; FU, Y. F.; SHULER, P.; TANG, Y. C.; GODDARDLLL, W. A. New surfactant classes for enhanced oil recovery and their tertiary oil recovery potential. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v.71, n.1, p.23-29, 2010.
- HONGYAN, C.; JIE, C.; JIAN, F.; HEXIN, L.; QING, W.; WENLI, L. Asp flooding: A solution for chemical enhanced oil recovery in high temperature, low salinity reservoir. In: *SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition*, 04, 2018, Dammam. Anais... Dammam, 2018.
- HUANG, W.; DONG, Y.; ZHAO, J.; LIU, X.; FAN, Y.; BAI, H.; HAO, J. A/SP alternating flooding, a modified asp flooding technology. In: *SPE Russian Petroleum Technology Conference*, 10, 2019, Moscow. Anais... Moscow, 2019.
- HUMPHRY, K. J.; LEE, V. D.; SOUTHWICK, J. G.; INEKE, E. M.; BATENBURG, D. W. Microemulsion flow in porous media: Implications for alkaline-surfactant-polymer flooding. In: *SPE Enhanced Oil Recovery Conference*, 07, 2013, Kuala Lumpur. Anais... Kuala Lumpur, 2013.
- JING, G.; TANG, S.; LI, X.; YU, T.; GAI, Y. The scaling conditions for asp flooding oil field in the fourth plant of daqing oil field. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, v.1, n.3, p.175-178, 2013.
- JUÁREZ-MOREJÓN, J. L.; BERTIN, H.; OMARI, A.; HAMON, G.; COTTIN, C.; MOREL, D.; ROMERO, C.; BOURDAROT, G. A new approach to polymer flooding: Effects of early polymer injection and wettability on final oil recovery. *SPE Journal*, v.24, n.01, 2019.
- LU, J.; GOUDARZI, A.; CHEN, P.; KIM, D. H.; BRITTON, C.; DELSHAD, M.; MOHANTY, K. K.; POPE, G. A. Surfactant enhanced oil recovery from naturally fractured reservoirs. In: *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, 10, 2012, San Antonio. Anais... San Antonio, 2012.
- MATTE, A. Métodos especiais de recuperação avançada de petróleo utilizando injeção de dióxido de carbono gasoso e seus processos derivados. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- MURAYRI, M. T.; KAMAL, D. S.; SUNIGA, P.; FORTENBERRY, R.; BRITTON, C.; POPE, G. A.; LIYANAGE, P. J.; JANG, S. H.; UPAMALI, K. A. N. Improving asp performance in carbonate reservoir rocks using hybrid-alkali. In: *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, 10, 2017, San Antonio. Anais... San Antonio, 2017.
- NEVES, A. M.; SANTANNA, V. C.; BARILLAS, J. L. M.; CASTRO DANTAS, T. N. Ionic surfactants applied in enhanced oil recovery: adsorption, imbibition, and zeta potential approaches. *Braz. J. Chem. Eng.*, v.37, p.263-269, 2020.
- REGO, V. E.; BOTECHIA, D. S. F. B. Heavy oil recovery by polymer flooding and hot water injection using numerical simulation. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. v.153, p.187-196, 2017.
- ROMERO, O.; FEJOLI, R. Utilização de espuma como mecanismo de controle da mobilidade em rochas-reservatório. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, v.31, n.4, p.218-227, 2015.
- ROSA, A. J.; CARVALHO, R. S.; XAVIER, J. A. D. Engenharia de reservatórios de petróleo. Rio de Janeiro, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2006. 808p.
- SHIRAN, B. S.; SKAUGE, A. Wettability and oil recovery by polymer and polymer particles. In: *SPE Asia Pacific Enhanced Oil Recovery Conference*, 08, 2017, Kuala Lumpur. Anais... Kuala Lumpur, 2017.
- SANTA, M.; ALVAREZ, J.; BUCSH, S.; BIRNBRICH, P.; SPINDLER, C.; BRODT, G. Sustainable surfactants in enhanced oil recovery. In: *SPE Enhanced Oil Recovery Conference*, 07, 2011, Kuala Lumpur. Anais... Kuala Lumpur, 2011.

- SANTANNA, V. C.; DANTAS, T. N. C.; NEVES, A. M.; LIMA, J. R. D.; PESSOA, C. N. Recovery of Oil in Limestone with Cationic Surfactant: Investigation of the Adsorption, Wettability, and Spontaneous Imbibition. *Journal of Petroleum Science and Technology*, v.8, n.3, p.72-80, 2018.
- SHARMA, H.; DUFOUR, S.; ARACHCHILAGE, G. W. P. P.; WEERASOORIYA, U.; POPE, G. A.; MOHANTY, K. Alternative álcalis for asp flooding in na hydrite containing oil reservoirs. *Fuel*. v.140, p.407-420, 2015.
- SHARMA, H.; WEERASOORIYA, U.; POPE, G. A.; MOHANTY, K. K. Ammonia-based asp floods incarbonate cores containing gypsum. *Fuel*, v.184, p.62-370, 2016.
- SHARMA, H.; PANTHI, K.; MOHRANTY, K. K. Surfactant-less alkali-cosolvent-polymer floods for an acidic crude oil. *Fuel*, v.215, p.484-491, 2018.
- SOUZA, T. T. C. Nanoemulsões aplicadas à recuperação avançada de petróleo. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Programa de Pós Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2013.
- SOUZA, T. T. C. Análise técnico-econômica de métodos de injeção de microemulsão na recuperação avançada de petróleo. 139f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2017.
- UPAMALI, K. A. N.; LIYANAGE, P. J.; JANG, S. H.; SHOOK, E.; WEERASOORIYA, U. P.; POPE, G. A. New surfactants and cosolventes increase oil recovery and reduce cost. *SPE Journal*, v.23, n.06, 2018.
- VIANA, F. F. Microemulsões e nanoemusões com constituintes álcali-surfactante-polímero aplicados na EOR. 209f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2018.
- VIK, B.; KEDIR, A.; KIPPE, V.; SANDENGEN, K.; SKAUGE, T.; SOLBAKKEN, J.; ZHU, D. Viscous oil recovery by polymer injection; impactof in-situ polymer rheology on water front stabilization. In: SPE Europec featured at 80th EAGE Conference and Exhibition, 06, 2018, Copenhagen. Anais... Copenhagen, 2018.
- VOLOKITIN, Y.; SAKHIBGAREEV, R. S. M.; NURIEVA, O. Chemical and analyticalwork in support of west salym field enhanced oil recovery project (asp). In: SPE Russian Oil and Gas Exploration and Production Technical Conference and Exhibition, 10, 2012, Moscow. Anais... Moscow, 2012.
- WANG, Z.; YU, T.; LIN, X.; WANG, X.; SU, L. Chemicals loss and the effect on formationdamage in reservoirs with asp flooding enhanced oil recovery. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, v.33, p.1381-1389, 2016.
- ZHONG, H.; YANG, T.; YIN, H.; FU, C.; LU, J. The role of chemicals loss in sandstone formation in asp flooding enhanced oil recovery. In: SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 07, 2018, Dallas. Anais... Dallas, 2018.

Capítulo 5

APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DO MEXILHÃO (*Mytella charruana*) COMO FONTE ALTERNATIVA DE NUTRIENTES NA CULTURA DO MILHO (*Zea mays L.*)

Cheila Ciane de Almeida Paula¹

Gabriel Leite da Silva²

Silvana Gomes dos Santos³

¹Tecnóloga em Agroecologia, IFPA/Campus Bragança, cheilaciane@gmail.com

²Tecnólogo em Agroecologia, IFPA/Campus Bragança, gleite018@gmail.com

³Docente EBTT/IFPA/Campus Bragança, Doutora em Agronomia-Ciência do Solo (UFRRJ), Engenheira Agrônoma (UFRRJ), silvana.santos@ifpa.edu.br

Introdução

O volume de lixo gerado atualmente está relacionado com o mau gerenciamento de resíduos, o avanço significativo do aumento populacional e com o consumo exagerado pela sociedade moderna capitalista. E esses acúmulos de resíduos têm ocasionado um desequilíbrio onde a relação sociedade-natureza entra em crise ao longo da história, e consequentemente os recursos naturais vem se degradando e diminuindo a capacidade de recuperação do meio natural (GOUVEIA, 2012). De acordo com França et al. (2009), nesta sociedade da comunicação, da tecnologia, muito mais das máquinas, do que de pessoas, tudo é fabricado para durar o menor tempo possível, para logo necessitar de novos produtos, e o planeta se torna um imenso depósito de resíduos.

Segundo a política Nacional de Resíduos Sólidos, os resíduos devem ter uma destinação ambiental adequada. Utilizando do processo de reciclagem, compostagem, recuperação, aproveitamento energético ou outras destinações necessárias, de maneira que evite danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais prejudiciais (BRASIL, 2012). Uma das principais vantagens do uso de resíduos na agricultura é o seu potencial nutricional que contribui com a fertilização dos solos (PIRES et al., 2008).

O mexilhão (*Mytella charruana*) popularmente conhecido na região bragantina como sururu, componente significativo na culinária paraense, e na renda das famílias que sobrevivem ou fazem renda extra a partir do seu

beneficiamento (ARAÚJO, 2015). Essa cadeia produtiva gera grandes quantidades de resíduos onde são destinados em locais inapropriados. Segundo Barbosa (2009), tais resíduos têm amplo potencial de utilização na agricultura e ciclagem de nutrientes uma vez que, possui em sua composição matéria orgânica, fonte de nitrogênio (N), fósforo (P) e carbonato de cálcio (CaCO₃).

Nessa perspectiva, a agroecologia surge como um mecanismo de suma importância na execução de estratégias viáveis na produção agrícola, que venha reduzir o uso de insumo externo, objetivando o equilíbrio ambiental do agroecossistema, preservando ou restabelecendo a biodiversidade (AQUINO, 2007).

Portanto objetivo deste trabalho é avaliar o potencial de uso do resíduo de mexilhão do município de Bragança-PA como fonte de nutrientes para a cultura do milho.

Material e Métodos

O trabalho foi conduzido no Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Pará, Campus Bragança, localizado no município de Bragança/Pará, situado a 41 metros de altitude, na localização 01°03' 20.21' de latitude e 46°47' 05.69" de longitude, e segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018) apresenta temperatura mínima de 29°C e máxima de 31,7°C.

O estudo foi realizado em duas etapas, sendo a primeira compreendida entre o processo de coleta e processamento dos resíduos, e a segunda, o ensaio experimental. Na

primeira etapa foi realizado o processo de coleta de mexilhão em três residências do Município de Bragança-PA.

Utilizou-se a metodologia adaptada a partir de Barbosa (2009) e Araújo et al. (2007) onde as cascas de mexilhão foram coletadas a partir de resíduos domésticos, os mesmos foram lavados em água corrente para retirada de impurezas de outros tipos de materiais e colocados ao sol para retirada de umidade por um período de 15 dias. Em seguida, as cascas foram trituradas com uso do triturador forrageiro utilizando peneira de 5mm. Logo após o processo trituração dos resíduos de mexilhão, os mesmos foram embalados em sacos plásticos e pesados em diferentes quantidades de 100, 300 e 500g.

Foram coletadas amostras de solo compostas na profundidade de 0 a 20 cm no campo experimental do Instituto Federal Ciência e Tecnologia do Pará, Campus Bragança, para a realização da caracterização química do solo. A análise foi realizada no Laboratório de Análises de Solo e Tecido Vegetal do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Campus Barbacena. No ensaio com as plantas foram utilizados sacos de polietileno no tamanho 15 x 20 cm contendo 1 kg de substrato obtido a partir da mistura de resíduo de mexilhão e solo. O preparo do substrato foi feito através da incorporação das concentrações de resíduo de mexilhão 20 dias antes do plantio, nas proporções, 10% (100g de resíduo + 900g de solo), 30% (300g de resíduo + 700g de solo), 50% (500g de resíduo + 500g de solo) e 0% de resíduo, tratamento controle (1000 g de solo). Essas diferentes misturas foram enviadas para caracterização química em laboratório para obtenção dos teores nutricionais.

Na segunda etapa do estudo foi realizado o ensaio experimental com o milho crioulo em casa de vegetação, dessa maneira, adotou-se o delineamento inteiramente casualizados com 4 tratamentos (os resíduos nas proporções 0, 10, 30 e 50%) e 4 repetições, sendo uma planta por recipiente, totalizando 16 plantas.

O milho crioulo foi semeado nos diferentes tratamentos, sendo 3 sementes por cova. Após 7 dias foi deixado apenas uma planta por recipiente para que se evitasse competição entre elas. A semeadura ocorreu após os 20 dias de reação do substrato. A irrigação foi realizada

manualmente com auxílio de um copo medidor com 50 mL de água para umedecer todos os tratamentos de forma uniforme, fornecendo assim, 50 mL de água planta dia⁻¹.

Foi avaliado o desenvolvimento inicial das plantas aos 22 dias após o plantio, através dos parâmetros número de folhas, comprimento e largura da folha mais expandida, espessura do colmo, altura da planta, massa seca da parte aérea e raiz. A altura das plantas de milho foi determinada a partir da base do colmo até o ápice da folha mais nova com uma régua de 30 cm. O colmo da planta foi medido com paquímetro para maior precisão dos resultados. A massa fresca da parte aérea e do sistema radicular foi obtida através de uma balança analítica digital, em seguida os materiais foram armazenados separadamente em envelopes de papel e mantidos em estufa de circulação de ar forçada a 65°C até alcançar a massa constante para a determinação da massa seca da parte aérea e da raiz, assim como descrito no estudo de Gomes et al. (2019).

Foi utilizado o software de estatística SISVAR para análise de variância e teste Tukey com nível de significância a 5%.

Resultados e Discussão

Análise química do solo e substratos

Os pH's das amostras compostas de resíduos de mexilhão apresentam valores maiores em relação ao controle (Tabela 1), dentro da faixa da neutralidade com pH 7,0, decorrente das quantidades de carbonato de cálcio (CaCO₃) que faz parte da composição estrutural desse molusco. Com a aplicação do resíduo ao solo nas proporções de 10, 30 e 50% monitoradas durante o experimento separadamente, observa-se a elevação do pH de 5,0 para um pH neutro de 7,0. Deste modo, esse adubo orgânico alternativo mostra-se como uma considerável fonte de cálcio, cooperando para o melhoramento e correção da acidez do solo.

Nesse sentido, Barbosa (2009) observou que o uso do resíduo do mexilhão proporcionou 60% da capacidade corretiva de acidez do solo, em equivalência ao uso do calcário com poder reativo de neutralização de 100%. Além disso, verificou que o resíduo ainda forneceu os nutrientes nitrogênio (N) e fósforo (P₂O₅) nas concentrações de 24 kg ha⁻¹ e 21 kg ha⁻¹, respectivamente, mostrando a eficiência do uso

do resíduo de mexilhão triturado como corretivo de acidez do solo e nutrição das plantas.

Sedrez (2010) caracterizou as cinzas obtidas da incineração das conchas do mexilhão e observou que há uma elevada concentração de cálcio, sendo que 75,1% do cálcio presente é na forma de carbonato de cálcio e o restante (24,9%) como hidróxido de cálcio, mostrando ser um insumo agrícola com uso potencial na elevação do pH dos solos.

Os níveis de cálcio Ca apresentado na (Tabela 1) está relacionado com a neutralidade do pH do solo com uso dos resíduos de mexilhão, onde destaca-se que a utilização do resíduo eleva o cálcio em proporções acima de 100%, o que decorre na redução de 32,1% de H+Al. Tendo em vista que, o mexilhão possui altos teores de carbonato de cálcio presente em sua composição e com o tempo é decomposto e liberado ao solo, observa-se que com 10% de resíduo já se obteve incrementos consideráveis nos teores nutricionais.

Tabela 1. Caracterização química dos tratamentos após o período de reação de 50 dias em comparação ao resíduo do mexilhão triturado e o solo controle

Tratamentos	pH	M.O	P resina	K	Ca	M g	H+Al	Al	Som a base	CT C	Sat. bas e	N
	CaCl ₂											
100% de resíduos de mexilhão	7,1	25	31	6,0	185	7	10	0	198	208	95	0,65
10% de resíduos de mexilhã	7,0	23	27	1,2	38	3	10	0	42	52	81	0,15
30% de resíduos de mexilhão	7,0	18	10	1,2	43	6	10	0	50	60	83	0,20
50% de resíduos de mexilhão	7,1	23	11	1,3	39	5	9	0	45	54	83	0,36
Solo (0% de resíduo de mexilhão)	5,0	21	41	1,0	9	4	28	2	14	42	33	0,07

*pH= Potencial Hidrogeniônico, P= Fósforo, K= Potássio, Ca= Cálcio, Mg= Magnésio, M.O= Matéria orgânica, Al= alumínio, H+Al= Acidez Potencial, CTC= Capacidade de Troca Cátions.

Segundo Barros et al. (2014), a cultura do milho tolera solos com pH entre 5 a 8, no entanto, solos com teores de pH 5 apresentam proporções de ferro e alumínio que são tóxicos para as plantas inibindo seu desenvolvimento. Elevando o pH do solo aumenta a disponibilidade de nutrientes para a planta melhorando o desenvolvimento das raízes. Para a correção do solo é comum a utilização de calcário sendo que o principal componente do calcário é o carbonato de cálcio (CaCO₃) que também está presente no mexilhão, sendo o mexilhão uma alternativa para o pequeno produtor para o processo de calagem no solo.

A soma das bases, que está relacionada ao somatório dos nutrientes do solo, ou seja, as bases (K, Ca, Mg e Na) apresentam resultados importantes, pois de acordo com a Tabela 2, eleva de forma significativa em mais de 100%, tornado o solo melhor com a utilização do resíduo. Outro ponto importante é a saturação de bases, que está relacionada ao percentual de

cargas no solo ocupada pelas bases (V%) em relação a (H+Al) que causam acidez do solo e toxicidade as plantas (RONQUIM, 2010).

Observa-se o aumento de 50% com o uso do resíduo de mexilhão em relação ao controle, chegando o substrato a apresentar V% de 83. De acordo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, através do manual de recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará faixa de saturação de bases considerada adequada para a cultura do milho encontra-se entre 50 a 60% (CRAVO, 2007), desta forma o solo controle (V%=33) encontra-se impróprio para o cultivo do milho como observa-se na Tabela 2. No entanto, todos os tratamentos onde ocorre a adição de resíduo de mexilhão mostra-se eficiente chegando até 83%, estando de acordo com a faixa adequada para o bom desenvolvimento da cultura. Ao passo que, a quantidade de mexilhão foi aumentada percentualmente nas proporções 10, 30 e 50% onde verifica-se que ocorre uma

redução considerável no P. Observa-se que o uso de 10% de Resíduos de Mexilhão (*Mytella charruana*) é mais viável a sua utilização. A redução de P associada ao aumento do resíduo pode estar relacionada à imobilização desse nutriente pela microbiota do solo, como fonte de energia para decomposição do resíduo, no entanto, são necessários estudos mais específicos para comprovar tal hipótese.

Os teores de N dos substratos apresentam-se elevados em mais de 400% quando se adiciona a proporção de 50% de resíduo com 50% de solo em relação ao tratamento com apenas solo (Tabela 2). O nitrogênio é um nutriente que necessita de uma atenção especial no manejo do solo, devido sua alta mobilidade que favorece a sua perda especialmente em solos arenosos, através da lixiviação, dessa maneira, o uso de uma fonte orgânica que apresenta uma taxa de liberação lenta, se configura como uma prática

agroecológica que apresenta vários benefícios ambientais e econômicos (GALVÃO et al., 2008).

Depois do nitrogênio, o potássio é um elemento absorvido em maior quantidade pela cultura do milho, sendo que 30% são exportados para os grãos (COELHO, 2007). Com a utilização do resíduo de mexilhão o potássio apresenta uma elevação de mais de 100% em relação ao tratamento controle, mostrando-se eficaz.

Desempenho do milho crioulo adubado com resíduos de mexilhão

Não se observa diferença significativa estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% para análise dos dados de crescimento do milho (Tabela 2). No entanto, foi realizada uma análise do percentual de incremento, e verifica-se diferenças positivas de até 90,4% quando utilizado o resíduo de mexilhão (Tabela 3).

Tabela 2. Desenvolvimento inicial de milho crioulo em solo com uso de resíduo de mexilhão como fonte de nutriente. Valores médios de 4 repetições

Concentração de resíduo de mexilhão no solo	DC	Altura	NF	F	F	CR	SPA	SR
0	4,9	2,35	5,25	4,30	1,55	7,25	0,33	0,51
10	6,5	4,475	5,00	0,00	2,37	19,25	0,48	0,40
30	5,8	3,75	5,25	7,00	1,75	24,00	0,35	0,39
50	5,9	4,25	4,66	5,70	1,82	19,83	0,36	0,40
CV%	20.80	51.17	14.22	3.60	4.42	16.05	41.84	40.60

*DC= diâmetro do colmo, NF= número de folhas, CF= comprimento das folhas, LF= largura das folhas, CR= comprimento da raiz, MSPA= massa seca da parte aérea, MSR= massa seca da raiz.

Tabela 3. Percentual de incremento nos parâmetros de desenvolvimento inicial do milho crioulo cultivados em solo com uso de resíduo de mexilhão em relação ao tratamento controle (solo). Valores médios de 4 repetições

Concentração de resíduo de mexilhão no solo (%)	DC	Altura	NF	CF	LF	CR	MSPA	MSR
10	33,50	90,43	-4,76	23,51	53,23	11,59	47,95	-21,0
30	-10,65	-16,20	5,00	-9,85	-26,32	24,68	-27,44	-1,60
50	1,70	13,33	-11,11	-4,91	4,29	-17,36	4,23	1,25

*DC= diâmetro do colmo, NF= Número de folhas, CF= Comprimento das folhas, LG= largura das folhas, CR, Comprimento da raiz, MSPA= Massa seca da parte aérea, MSR= Massa seca da raiz.

Com relação a variável diâmetro do colmo (DC), o uso de 10% de resíduos de mexilhão proporciona um aumento de 33,5% em relação ao controle (Tabela 3), mostrando maior desempenho. O DC é fundamental característica morfológica, tendo a maior capacidade da planta em armazenar fotoassimilados que irão contribuir com o

enchimento dos grãos, proporcionando maior produtividade (KAPPES et al., 2013).

No entanto, mesmo com elevado percentual de incremento, não há diferença significativa (Tabela 2), possivelmente pela utilização de semente crioula, tendo em vista a sua ampla variabilidade genética. Contudo, houve um diferencial, o que seria necessário um

novo experimento com maior número de repetições para melhor assegurar os resultados do uso do resíduo.

Quanto a variável altura da planta, o tratamento que apresenta melhor resultado é o com 10% de resíduos de mexilhão, isso de acordo com a tabela de percentual de incrementos dos dados, onde observa-se um aumento de 90,4% com relação ao solo controle. Tais resultados podem ser concedidos ao efeito da disponibilidade de nutrientes sobre esta característica da planta, onde se observa na Tabela 1 da análise química que, com apenas 10% de resíduos de mexilhão, eleva o pH do solo e aumenta a saturação das bases, mostrando ser uma alternativa bastante viável.

Com relação às variáveis comprimento e largura das folhas, a utilização do resíduo na concentração de 10% apresenta maior desempenho. Na Tabela 4 pode-se observar um aumento do comprimento da folha mais desenvolvida do milho em 23,5%, e na largura de 53,2%, ambas com relação ao controle. Segundo Vieira Junior (2010), a área foliar está inteiramente relacionada com as taxas de fotossintéticos e transpiração das plantas de milho, haja vista que, relaciona a capacidade da planta em capturar as radiações e trocas gasosas com o ambiente.

Desse modo, plantas que se mostram com área foliar elevada no estágio inicial podem indicar maior produtividade no final do ciclo. Vale ressaltar que, as plantas do T1 apresentam folhas basais amareladas no momento da coleta, indicativo de deficiência de N, já que o solo cultivado apresenta baixos teores de N (Tabela 1), sendo este capaz de ser remobilizado pela planta para as folhas mais jovens.

A aplicação de resíduos de mexilhão a 10% proporciona um aumento de 11,5% na variável CR com relação à testemunha, de acordo com a Tabela 3 do percentual de incremento. As raízes apresentam papel importante no sistema funcional e estrutural da planta, seu comprimento pode atingir até 3m, mas existem fatores limitantes para esse crescimento, como pH, umidade, compactação do solo onde influenciam na profundidade da raiz. Com a correção do solo ocorre a elevação do pH, o que torna disponível os níveis de N, P, K, Ca e Mg (CAIRES et al., 2002).

Desta forma o resíduo de mexilhão torna-se extremamente importante como

corretivo agrícola e fonte de nutriente, podendo observar seu efeito na elevação do pH do solo e disponibilidade de nutrientes, o que reflete diretamente no melhor desenvolvimento das culturas.

Conclusão

A aplicação de resíduos de mexilhão na menor concentração avaliada (10%) demonstrou incremento no desenvolvimento inicial do milho.

A utilização de resíduos de mexilhão na agricultura poderá minimizar os impactos causados pelo mesmo, além de propor uma alternativa economicamente viável e com destinação adequada para os resíduos, como importante fonte de corretivo agrícola e nutrientes. Sendo assim, uma estratégia agroecológica para o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar.

Referências

- AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de. Agricultura orgânica em áreas urbanas e periurbanas com base na agroecologia, Ambiente & Sociedade, v.10, n.1, p.137-150, 2007.
- ARAUJO, Z. T. S. Processo participativo da mulher na cadeia produtiva do mexilhão *Mytella charruana* (D'Orbigny, 1846) na comunidade Vila Nova Bragança-PA. 87f. Dissertação (Mestrado em biologia ambiental). Universidade Federal do Pará. Bragança, 2015.
- ARAÚJO, F. J. F. D. Aproveitamento de resíduos de caranguejo Uçá gerados pelas barracas da praia do futuro como fonte alternativa de adubo orgânico em cultura de feijão Caupi. 144f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2007.
- BARBOSA, D. B. P. Utilização do resíduo moído de mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei* Dunker, 1857) como corretivo da acidez do solo e fonte de nutrientes para as plantas. 145f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.
- BARROS, J. F. C.; CALADO, J. G. A cultura do milho. Universidade de Évora. Évora, 2014. 14p. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10174/10804>, Acesso em: 08/05/2018.
- BRASIL. Congresso. Câmara dos Deputados. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política

Nacional de Resíduos Sólidos. 2. ed. Brasília, 2012. 73p.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, n.4, 2002.

COELHO, A. M. Nutrição e adubação. *Embrapa Milho e Sorgo*. ALICE, 2007. 7p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/490410/1/Circ78.pdf>. Acesso em: 25/05/2018.

DA SILVA GALVÃO, S. R.; SALCEDO, I. H.; DE OLIVEIRA, F. F. Acumulação de nutrientes em solos arenosos adubados com esterco bovino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, n.1, p.99-105, 2008.

FRANÇA, R. G.; RUARO, E. C. R. Diagnóstico da disposição final dos resíduos sólidos urbanos na região da Associação dos Municípios do Alto Irani (AMAI), Santa Catarina. *Ciência & Saúde Coletiva*, v.14, p.2191-2197, 2009.

GOMES, L. A.; da SILVA, F. D. A.; PEREIRA, F. H. F.; JUNIOR, J. E. C.; NOBREGA, J. S. Crescimento inicial do milho sob aplicação de esterco bovino. *Revista Ambientale*, v.11, n.2, p.12-21, 2019.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. *Ciência & Saúde Coletiva*, v.17, p.1503-1510, 2012.

INMET. Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática, 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>. Acesso em: 10/05/2018.

KAPPES, C.; ORIVALDO, A. R. F.; ANDRADE, J. A. C. Produtividade do milho em condições de diferentes manejos do solo e de doses de nitrogênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, n.5, p.1310-1321, 2013.

PIRES, A. M. M.; MATTIAZZO, M. E. Avaliação da viabilidade do uso de resíduos na agricultura. *Embrapa Meio Ambiente-Circular Técnica*. INFOTECA-E, Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2008. 9p.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. *Campinas: Embrapa, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, v.8. 2010. 26p. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/882598> Acesso em: 23/05/2018.

SEDREZ, G. C. R. Cinza da concha do Mexilhão: um novo olhar sobre o descarte de resíduo. 47f. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2010.

SILVA CRAVO, M. da; VIÉGAS, I. de J. M.; BRASIL, E. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará. *EMBRAPA Amazônia Oriental, Belém, PA (Brasil)*, 2007. 102p. Disponível em: <https://www.ebah.com.br/content/ABAAAgdYUAC/livro-adubacao-estado#>. Acesso em: 25/05/2018.

SOUZA, S. E.; BRITO, F. B. C.; FONSECA, A. V.; BEBÉ, V. F. Crescimento de milho em latossolo com aplicação de água residuária de suinocultura. *Enciclopédia Biosfera*, v.13, n.23, p.369-376, 2016.

Capítulo 6

PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS E ÍNDICE SPAD EM CULTIVO DE BATATA DOCE IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA

Raucha Carolina de Oliveira¹
Patrícia Ferreira da Silva²
Rigoberto Moreira de Matos³
José Dantas Neto⁴
Luciano Marcelo Fallé Saboya⁵

¹Mestranda em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, rauchaoliveira@gmail.com

²Pós-doutoranda em Engenharia e Gestão dos Recursos Naturais, UFCG, Campina Grande-PB, patrycyafs@yahoo.com.br

³Doutor em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, rigobertomoreira@gmail.com

⁴Professor Doutor, UAEA, UFCG, Campina Grande-PB, zedantas1955@gmail.com

⁵Professor Doutor, UAEA, UFCG, Campina Grande-PB, lsaboya@hotmail.com

Introdução

A batata doce (*Ipomoea batatas* L.) é considerada um alimento energético rico em vitaminas do complexo A e B, comumente consumida na forma cozida, assada e frita, sendo utilizada amplamente como matéria-prima para processos industriais, na obtenção de doces e farinhas (SILVEIRA et al., 2008).

Em 2019, o Brasil produziu 805.4 toneladas de batata doce em 57.3 hectares. Dentre as regiões brasileiras produtoras, atualmente a região Nordeste se destaca com produção anual de 317.3 toneladas. Entretanto a região Nordeste apresenta a produtividade mais baixa entre as regiões brasileiras com 11,5 kg/ha, muito abaixo do rendimento nacional de 14,05 kg/ha. A baixa produtividade que a batata doce apresenta no Nordeste pode ser influenciada pela baixa fertilidade dos solos e do manejo hídrico deficiente (IBGE, 2020).

A produtividade agrícola é influenciada também pelo aproveitamento da radiação disponível pelos pigmentos fotossintéticos. Os principais pigmentos fotossintéticos são as clorofilas a, b e os carotenoides, uma vez que são responsáveis pela captura da energia luminosa para a conversão em energia química e absorção de luz na transferência da energia radiante para os centros de reação (SILVA et al., 2014; TAIZ et al., 2016).

A irrigação com águas residuárias apresenta-se como uma opção viável para o fornecimento de água além de fornecer um aporte de nutrientes para as culturas,

principalmente o nitrogênio que é considerado o nutriente mais limitante para a obtenção de altas produtividades, uma vez que participa de maneira direta no processo de fotossíntese e é essencial ao crescimento do compartimento vegetativo da planta. O índice SPAD é uma importante ferramenta capaz de indicar a necessidade da aplicação do nitrogênio (ZUFFO et al., 2012).

O conhecimento do estado nutricional e da absorção de nutrientes pela planta facilita o estudo da fertilidade do solo, auxiliando no manejo da adubação e obtenção de maiores índices de produtividade da batata doce.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos da irrigação com água residuária tratada nos pigmentos fotossintéticos e índice SPAD em cultivo de batata doce, visando à ampliação dos conhecimentos sobre nutrição e reuso de água na irrigação de hortaliças tuberosas.

Material e Métodos

Este trabalho foi conduzido no período de agosto à dezembro de 2017, em casa de vegetação pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizada no município de Campina Grande-PB, nas coordenadas geográficas: 7° 12' 88" S, 35° 54' 40" W e altitude média de 532 m. A estufa utilizada no experimento possuía 15 m de comprimento, 10 m de largura e 3 m de pé

direito, coberta com telha de fibra e laterais com tela tipo sombrite.

O solo utilizado foi classificado como Neossolo, sendo de classe textural franco argilo-arenosa, cujas características físicas e químicas

na profundidade de 0,0-0,2 m encontram-se na Tabela 1, conforme metodologia da EMBRAPA (2013).

Tabela 1. Características físicas, químicas e físico-hídricas do solo utilizado no experimento

Fertilidade do solo											
pH	P	K	Na	H + Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	M.O	
	-----	-----	-----cmol _c /dm ³ -----								g/k
										g	
4,3	6,89	112,0	1,70	5,48	0,2	0,87	0,77	3,6	9,11	25,0	
Areia	Silte	Argila	AD	GF	DS	DP	PT	Umidade			
-----gkg ⁻¹ -----			gkg ⁻¹	kg/dm ₃	g/cm ³	kg/dm ₃	m ³ /m ³	-----	gkg ⁻¹ -----		
659	101		0	1000	1,38	2,63	0,48	1,52		75	
	240										

AD: Argila dispersa; GF: Grau de flocculação; DS: Densidade do solo; DP: Densidade partícula; PT: Porosidade total.

As características químicas e de fertilidade do adubo orgânico (húmus de minhoca) utilizado na pesquisa, se encontra na

Tabela 2, conforme metodologia por recomendada por Alcarde (1982) e Kiehl (1985).

Tabela 2. Características do adubo orgânico (húmus de minhoca) utilizado no experimento

pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m	MO
	--- mg dm ⁻³ ---		----- cmol _c dm ³ -----							--- % ---		g kg ⁻¹
7,7	1658,0	2356,0	4,4	14,3	9,3	0,0	0,0	34,1	34,1	100,0	0,0	234,1

As características da análise dos parâmetros físico-químicos das três qualidades de água utilizadas no estudo encontram-se na

Tabela 3, conforme metodologia de metodologia de Silva e Oliveira (2001).

Tabela 3. Parâmetros da qualidade de água da cisterna (T1), Wetland (T2) e Wetland + UASB (T3)

Parâmetros	T1	T2	T3
Potencial Hidrogeniônico (pH)	7,71	8,09	8,09
Condutividade Elétrica (dS m ⁻¹)	0,246	7,69	8,31
Cálcio (meq L ⁻¹)	0,92	3,59	2,86
Magnésio (meq L ⁻¹)	0,4	4,07	4,34
Sódio (meq L ⁻¹)	0,25	5	5,7
Potássio (meq L ⁻¹)	0,07	0,36	0,43
Carbonatos (meq L ⁻¹)	0	1,12	5,28
Bicarbonatos (meq L ⁻¹)	1,57	2,42	2,15
Cloretos (meq L ⁻¹)	0,72	8,25	6,85
Sulfatos (meq L ⁻¹)	Presença	Presença	Presença
Relação de Adsorção de Sódio (RAS)	0,31	3,31	3,22
Classe de Água	C1S1	C4S1	C4S1

Na região central da estufa, foi instalado um termo higrômetro digital para aquisição automática de dados diários de temperatura e

umidade relativa do ar máxima, mínima e média, coletados sempre às oito horas da manhã (Figura 1).

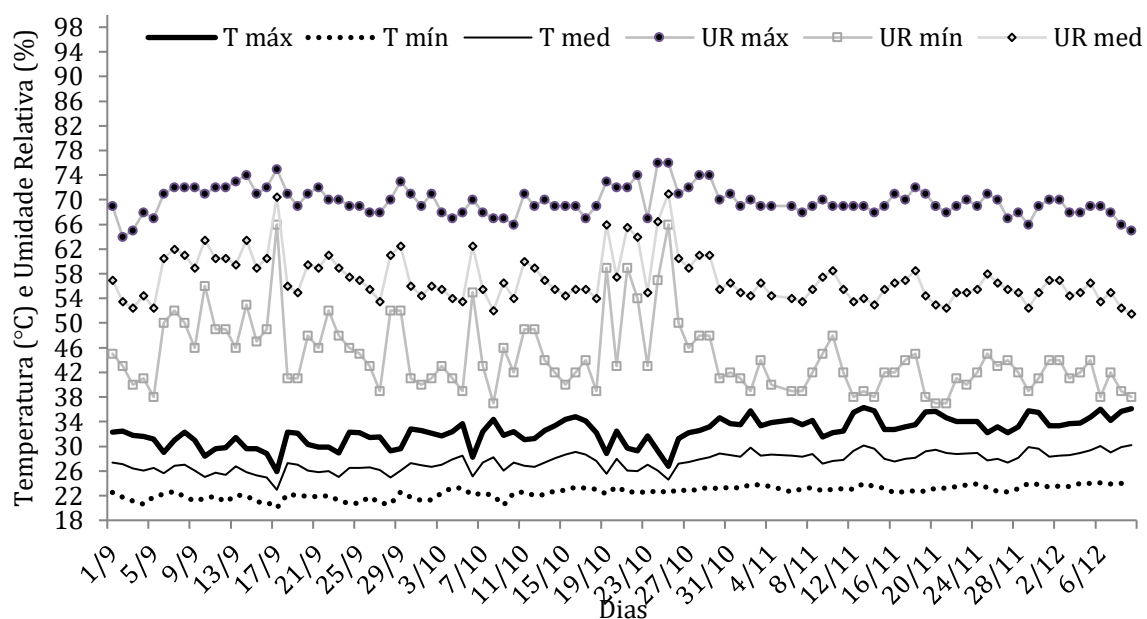


Figura 2. Temperatura e umidade relativa do ar máxima, mínima e média durante o período experimental.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 3x2, sendo o primeiro fator constituído de três qualidades de água para irrigação (T1 = Água da cisterna, T2 = Tratada por Wetland; T3 = Tradada por UASB+Wetland), o segundo fator duas cultivares de batata doce (Granfina e Campina), com cinco repetições, totalizando 30 unidades experimentais. Os tratamentos foram dispostos em 30 vasos de 11 L, espaçados 0,5 m entre plantas e 1,0 m entre linhas, correspondendo a unidade experimental.

Os vasos foram completados com cerca de 16,7 L de solo e 3 kg de adubo orgânico (Tabela 3), cada vaso possuía um orifício na parte inferior, sobre o orifício foi adicionada uma camada de 1 cm de brita nº 1, recoberta com manta geotêxtil para facilitar a drenagem.

Todos os tratamentos foram adubados com nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), segundo recomendações de Novais et al. (1991), conforme o resultado da análise de solo. Como fonte de N foi aplicado 0,65 g vaso⁻¹ de ureia, para o P 5,48 g vaso⁻¹ de superfosfato simples e para o K 0,4872 g vaso⁻¹ de cloreto de potássio, misturados ao solo por ocasião do enchimento dos vasos.

As águas utilizadas para irrigação foram provenientes de água da cisterna, e de reuso tratada por Wetland e UASB. A água de chuva estava armazenada em uma cisterna localizada na Universidade Federal de Campina Grande-PB, já a água de reuso foi oriunda dos sistemas de tratamento de efluentes Wetland e UASB, instalados no Campus. Estes sistemas de Francisco et al. (2020)

tratamento de água residuária para reuso na agricultura irrigada receberam efluente bruto do riacho Bodocongó, que atravessa o Campus sede da UFCG de Campina Grande, com água drenada dos esgotos domésticos dos bairros de Monte Santo e Bodocongó.

O sistema Wetland foi instalado com dispositivos de alimentação de distribuição e saída. O tanque foi construído em alvenaria, com cinco metros de comprimento por dois metros de largura e 0,65 m de profundidade, com substrato de areia e o tipo de vegetação era *Typhasp*, que foi obtido da lagoa de estabilização, alimentada pelo riacho onde está localizada a Estação de Tratamento de Efluente-ETE. No reator anaeróbio de manta de lodo (UASB), o efluente entra pelo fundo e prossegue em fluxo ascendente até o topo do reator, atravessando três etapas, o leito de lodo, onde há grande concentração de biomassa ativa, logo após uma biomassa menos densa, denominada manta de lodo e finalmente passa por um separador.

As cultivares de batata doce utilizadas foram obtidas de pequenos olericultores da mesorregião do alto sertão paraibano, conhecidas como cultivar Campina e Granfina, de coloração externa rosada e branca, respectivamente. Essas cultivares tem amplo cultivo no estado da Paraíba, são plantas vigorosas, de porte rasteiro, cor da folha verde intenso, raízes uniformes e com início da colheita entre 90 a 130 dias. O plantio foi realizado utilizando-se uma rama com 10 gemas por vaso.

Foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento, com emissores do tipo autocompensantes com vazão nominal de 2,3 L h⁻¹, acoplados às linhas de irrigação de polietileno de 16mm, pressurizados por três conjunto motobombas centrífugas individuais, uma para cada tratamento, de 0,5 CV, operando manualmente, em diferentes horários de início e término de cada de aplicação. Para evitar a entrada de partículas em suspensão no sistema, foi utilizado filtro de tela de 1", com capacidade para 5 m³ h⁻¹ de vazão e malha de 120 mesh. No início de cada linha lateral foi instalado registros e hidrômetros, para controle e totalização do volume de água aplicado por linha de irrigação.

Cada vaso foi considerado como lisímetro de drenagem, facilitando o manejo diário da irrigação, possibilitando a determinação da evapotranspiração da cultura (ETc), através do balanço hídrico médio de entrada e saída de água, durante todo o ciclo da cultura.

Aos 110 dias após o transplante (DAT) foram analisadas clorofila a e b, carotenoides e total, Índice SPAD.

No início da floração, foram coletadas as folhas completamente expandidas (4ª folha), na região mediana da batata doce, para a determinação dos pigmentos cloroplastídicos (clorofila a, b, total e carotenoides). As folhas foram imediatamente acondicionadas em envelopes de alumínio, armazenadas em recipientes térmicos com isolamento contendo gelo químico e transportadas imediatamente para o laboratório. Em seguida, com o auxílio de um vazador circular, foram retirados círculos de tecido vegetal do terço médio das folhas,

procedendo-se à pesagem de cada material. Posteriormente, o material foi macerado e colocado em recipientes de vidro, adicionando-se 6 ml de acetona 80%, conforme metodologia de Lichtenthaler (1987).

Os recipientes ficaram sob refrigeração (8°C) por 24 horas e, posteriormente, foram medidos com auxílio do espectrofotômetro (ARNON, 1945). As leituras de absorbâncias foram obtidas por espectrofotometria nos comprimentos de onda de 470 nm (A470), 647 nm (A647) e 663 nm (A663), utilizando-se acetona a 80% como branco. Na quantificação da clorofila a, b, total e carotenoides, foram utilizadas as equações descritas por Lichtenthaler (1987).

O índice SPAD foi determinado com o auxílio do SPAD-502 as leituras foram realizadas em três pontos a cada lado da nervura central da folha, na face adaxial da folha (LINDER, 1975).

As variáveis foram analisadas estatisticamente pelo teste F, desdobrando-se as análises sempre que a interação foi significativa. Os fatores qualitativos relativos a duas cultivares e as qualidades de água foram analisados estatisticamente por meio de teste de comparação de médias (Tukey) com auxílio do programa computacional Sisvar (FERREIRA, 2011).

Resultados e Discussão

O resumo da análise de variância para clorofila a (CA), clorofila b (CB), carotenoides (CN), clorofila total (CT) e índice SPAD em função do tipo de água e da cultivar utilizado no cultivo da batata doce aos 110 dias após o plantio, encontra-se na Tabela 4.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para (CA), (CB), (CN), (CT) e índice SPAD para o cultivo da batata doce em função do tipo de água e da cultivar aos 110 dias após o plantio

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio				
		CA	CB	CN	CT	SPAD
Tipos de Água (A)	2	0,06 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,0006 ^{ns}	0,55 ^{ns}	17,25 ^{ns}
Cultivares (C)	1	0,24 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,18 ^{ns}	390,96 ^{**}
Interação (A)*(C)	2	0,02 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,04 ^{ns}	4,78 ^{ns}
Bloco	4	0,06	0,07	0,001	0,54	11,59
Resíduo	20	0,11	0,9	0,2	3,91	14,7
CV%	-	16,6	22,19	23,97	29,6	8,93
Média Geral	-	1,04	0,45	0,24	1,49	42,92

ns - não significativo a (p < 0,05) pelo teste F, ** e * - significativos a (p < 0,01 e p < 0,05), respectivamente, pelo teste F.

A partir da análise de variância, não se verifica efeito significativo dos tipos de água (A) em nível de ($p < 0,01$; $p < 0,05$) pelo teste F em nenhuma das variáveis analisadas.

Para o fator cultivares (C) verifica-se efeito significativo ao nível de ($p < 0,01$) para o índice SPAD. Já para as variáveis clorofila a (CA), clorofila b (B), carotenoides (CN) e clorofila total (CT) não ocorre efeito significativo em nível de ($p < 0,01$; $p < 0,05$) pelo teste F (Tabela 4).

Quanto à interação entre os fatores tipos de água (A) e cultivares (C) não se verifica efeito

significativo em nível de ($p < 0,01$; $p < 0,05$) pelo teste F em nenhuma das variáveis analisadas no presente estudo (Tabela 4).

Observa-se diferenças estatísticas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey para o Índice SPAD. As médias para índice SPAD em função dos tipos de cultivares encontram-se na Figura 2. A maior média para o índice SPAD apresenta-se na cultivar Granfina com cerca de 46,53, já a Campina evidencia-se um índice de 39,31.

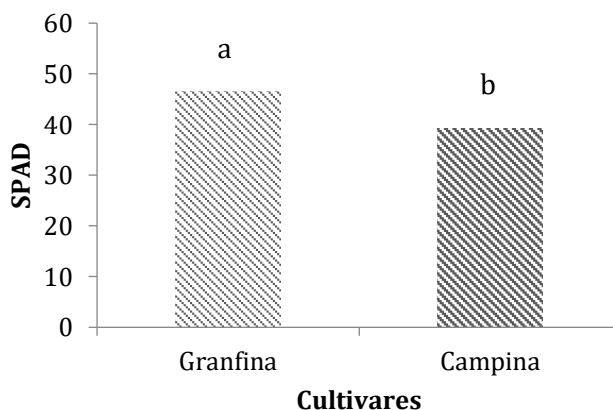


Figura 3. Médias para o índice SPAD em função das cultivares do cultivo de batata doce aos 110 dias após o plantio.

O índice SPAD é utilizado para monitorar o estado nutricional das culturas, este por sua vez possui correlação direta com o teor de clorofila e com teor de N na folha das plantas (TAIZ & ZAIGER, 2013). Mesmo sem aplicação efetiva de nitrogênio mineral ao longo do ciclo da cultura a intensidade de cor verde (Índice SPAD) nas folhas das cultivares de batata doce tendeu ao aumento, isso significa que o suprimento hídrico com água de reuso pode ser utilizado para a cultura como fonte de nutrientes em especial o nitrogênio. Os valores encontrados nesse estudo estão dentro da faixa reportada por Cardoso (2004) que avaliou o teor de clorofila em clones de batata doce e constatou uma variação de 37,71 a 58,68 unidades de SPAD entres os clones.

Conclusão

A água residuária tratada pode ser utilizada na irrigação de batata doce sem que haja perdas das características dos pigmentos fotossintéticos e no índice SPAD.

As variáveis fisiológicas clorofilas a, b, total e carotenoides não foram influenciadas pelos fatores estudados.

Francisco et al. (2020)

O índice SPAD da batata doce não foi afetado pelo uso de água residuária tratada, no entanto, variou quanto às características genéticas das cultivares.

Referências

- ALCARDE, J. C. Métodos simplificados de análise de fertilizantes minerais (NPK). Brasília: Laboratório Nacional de Referência Vegetal, 1982. 49p.
- ARNON, D. J. Cooper enzymes in isolated chloroplast: Polyphenoloxidase in Beta vulgaris. Plant Physiology, v.24, n.1, p.1-15, 1945.
- CARDOSO, A. D. Avaliação dos clones de batata doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) em Vitória da Conquista-BA. 59f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Vitória da Conquista, 2004.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3.ed. Rio de Janeiro. Embrapa Solos, 2013. 353p.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Tabela 1612 - Área plantada, área colhida, quantidade produzida e valor da produção da lavoura temporária. Rio de Janeiro: IBGE. 2020. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>>. Acesso em: 10 de novembro de 2020.
- KIEHL, E. J. Fertilizantes orgânicos: determinações analíticas. Piracicaba, Editora Agronômica Ceres. p.414-436. 1985.
- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigment photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymol*, v.148, n.1, p.362-385, 1987.
- LINDER, S. A proposal for the use of standardized methods for chlorophyll determinations in ecological and ecophysiological investigations. *Physiologia Plantarum*, v.32, p.154-56, 1974.
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S. (Eds.). *Métodos de Pesquisa em Fertilidade do Solo*. Brasília: EMBRAPA-SEA, p.189-255. 1991.
- SILVA, A. S.; OLIVEIRA, R. Manual de análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias. Campina Grande-Paraíba, 2001. 266p.
- SILVA, M. A.; SANTOS, C. M.; VITORINO, H. S.; RHEIN, A. F. Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. *Bioscience Journal*, v.30, n.1, p.173-181, 2014
- SILVEIRA, M. A.; SOUZA, F. R.; ALVIM, T. C.; DIAS, L. D.; SANTANA, W. R.; VITAL, M. K. G. S.; GOUVÊA, G. R. S. R.; COSTA, D. M. A cultura da batata-doce como fonte de matéria prima para produção de etanol. Palmas: Boletim Técnico – UFT. 2008. 44p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. 6ª ed. Artmed, Porto Alegre, 2016. 888p.
- ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R.; SCHOSSLER, T. R.; MILHOMEM, D. M.; PIAUILINO, A. C. Eficiência na determinação indireta do nitrogênio foliar a partir do índice spad. *Enciclopédia Biosfera*, v.8, n.15, p.802-820, 2012.

Capítulo 7

FILTRAGEM EM CIRCUITOS DE MEDIÇÃO DE FREQUÊNCIA CARDÍACA UTILIZANDO FOTOPLETISMOGRAFIA

Valdez Aragão de Almeida Filho¹

Anselmo Mendes Oliveira²

Catarina da Silva Costa³

Êmilly Cristhyne Reis Rocha⁴

¹Dr. em Eng. Elétrica e da Computação, UNIFESSPA, Marabá-PA, valdez.filho@unifesspa.edu.br

²Graduando em Eng. da Computação, UNIFESSPA, Marabá-PA, anselmo.96@hotmail.com

³Graduanda em Eng. Elétrica, UNIFESSPA, Marabá-PA, catarinasilvacosta55@gmail.com

⁴Graduanda em Eng. Elétrica, UNIFESSPA, Marabá-PA, emilly.cristhyne@gmail.com

Introdução

O registro de sinais biológicos é muitas vezes vital no diagnóstico e vigilância clínica de doentes. Em determinados casos, a aquisição por meio de métodos invasivos e dolorosos gera efeitos estressores, principalmente em crianças e idosos, dificultando a análise e gerando uma medição imprecisa. Entre os sinais vitais mais importantes para a avaliação médica de um paciente está a frequência cardíaca (FC), que juntamente com os demais sinais vitais são indicadores das condições das funcionalidades do corpo humano, como é o caso da função autônoma cardíaca (SAQUIB et al., 2015; PASCHOAL et al., 2006).

A FC é expressa pelo número de batimentos cardíacos por minuto. Nesse sentido, cada batimento compõe um ciclo cardíaco, o qual pode ser dividido em dois estágios principais, a diástole e a sístole. A priori, a diástole consiste no relaxamento do miocárdio, onde o ventrículo recebe sangue proveniente das veias. Na sístole, o coração se contrai e o sangue é ejetado para as artérias (ROQUE, 2009). Sendo assim, esse pulso é irradiado para as regiões periféricas onde a alteração volumétrica sanguínea na perfusão cutânea pode ser detectada por diversas técnicas (JAYADEVAPPA & HOLI, 2007), dentre elas está a Fluxometria por Laser Doppler (FLD). Este é um método não invasivo que se baseia no efeito Doppler de feixe de raios refletidos pelas células sanguíneas em estado cinético (CORRÊA et al., 2010). Outra técnica não invasiva é a fotopletismografia (PPG), cujo funcionamento consiste na mensuração dos níveis de luz refletida, dispersa e transmitida

através de um membro ou dedo (ALLEN et al., 2006).

Visto que a FC está diretamente relacionada ao ritmo cardíaco, e como a sua variação descreve as oscilações entre dois batimentos cardíacos sucessivos (OSHIRO, 2011; VANDERLEI et al., 2009), o estudo da variação da frequência cardíaca (VFC) possibilita a análise de insuficiência cardíaca, diabetes mellitus, condição de pós-infarto do miocárdio e outros (PASCHOAL et al., 2006). Trabalhos como o de Paschoal et al. (2006) e Vanderlei et al. (2009) descrevem, ademais, como a VFC sofre influência de fatores como idade, gênero e condição física.

Ressalta-se que a técnica PPG, introduzida por Hertzman em 1938, é caracterizada por um método simples e útil para medir as alterações do volume sanguíneo e avaliar a circulação periférica (GIL et al., 2010). O princípio de operação da PPG é fundamentado na interação da luz com o tecido biológico e, conseqüentemente, tem sua detecção de luz influenciada pela física óptica. Isto é, ao se emitir um feixe de luz perpendicularmente ao tecido, uma fração é refletida e a outra fração é absorvida por elementos como água, hemoglobina ou melanina (ASSUNÇÃO, 2016). Como cada componente biológico absorve um dado comprimento de onda, na PPG, que objetiva extrair informações do sangue, faz-se necessário uma fonte de Diodo Emissor de Luz (LED) operante no espectro vermelho ou infravermelho próximo, que possuem comprimentos de onda sensíveis a absorção do sangue, e um fotodetector que é responsável por captar a radiação óptica espalhada pelo tecido,

uma vez que, a luz sofre maior atenuação de acordo com as alterações no volume sanguíneo (ALLEN et al., 2006). Outrossim, o posicionamento do sensor é crucial para determinar o tipo de técnica PPG a ser utilizada, podendo ser o modo reflexivo ou o modo transmissivo. Em cada modo, a captação da intensidade da luz pelo sensor é diferente, por consequência os resultados obtidos têm precisões diferenciadas (FILHO et al., 2018).

Os locais mais adequados para obter o sinal PPG são em regiões que possuem alto grau de vasculatura superficial, isto é, regiões periféricas que dispõem de diversos vasos sanguíneos, tais como os dedos das mãos e dos pés, além dos lóbulos das orelhas (JAYADEVAPPA & HOLI, 2007). Todavia, a forma de onda PPG é afetada pelo ruído constante gerado em virtude de alterações de baixa frequência que variam lentamente devido à respiração e à atividade do sistema nervoso parassimpático. Tal ruído indesejado é identificado como o componente CC (corrente contínua), e em função disso, é fundamental a implementação de diversos filtros e amplificadores adequados a fim de extrair o componente CA (corrente alternada) pulsátil, cuja atribuição está diretamente associada à mudança do volume sanguíneo (JAYASREE, 2009).

À vista disso, os filtros aplicados em sistemas eletrônicos visam atenuar determinadas frequências do espectro de sinal de entrada e permitir a passagem das demais (RAMLI et al., 2011). Porém, a filtragem excessiva do sinal pode distorcer a forma de onda. Por esse motivo, é necessário não só ponderar quais filtros são adequados para que maximizem a leitura do sinal sem que haja muitas perdas, como também é imprescindível a escolha da frequência de corte para efetuar o

processamento do sinal. Nesse âmbito, a largura de banda compatível para medição da FC compreende a faixa entre 0,05 e 5 Hz, uma vez que, o componente CA geralmente tem sua frequência próxima a 1 Hz (ALLEN et al., 2006).

Objetiva-se, portanto, comparar respostas, tanto no domínio da frequência quanto no domínio do tempo, de configurações variadas de filtros analógicos, a fim de avaliar quais seriam os mais adequados para serem aplicados na etapa de filtragem dos sinais de FC, viabilizando o desenvolvimento de um circuito simples e de baixo custo capaz de diminuir o ruído sobre o sinal recebido para análise, como também capaz de aumentar o tempo de resposta e a precisão da leitura.

Material e Métodos

Para todas as configurações de filtros analisadas no presente trabalho foi utilizado um mesmo *setup*, que consiste em um circuito composto por um filtro passa-alta (FPA) seguido por um filtro passa-baixa (FPB). A finalidade do FPA e do FPB é filtrar sinais fora da faixa de interesse, como é o caso do ruído da rede elétrica, entre outros. Como a componente AC do sinal PPG apresenta baixa amplitude e suscetibilidade a ruídos, faz-se necessário a presença de etapas de amplificação e filtragem em um circuito que se propõe a realizar o monitoramento da FC através da PPG. Ademais, cabe ressaltar que para todas as configurações foi determinada a mesma faixa de frequências de corte, compreendida entre 0,5 Hz e 3,0 Hz, assim como um mesmo valor de ganho de amplificação, em torno de 10.000.

As configurações *Sallen-Key* (Figura 1) e múltiplo feedback (MFB) (Figura 2) foram projetadas a partir da formulação apresentada em (DIMOPOULOS, 2012), e se tratam de configurações que utilizam apenas filtros ativos.

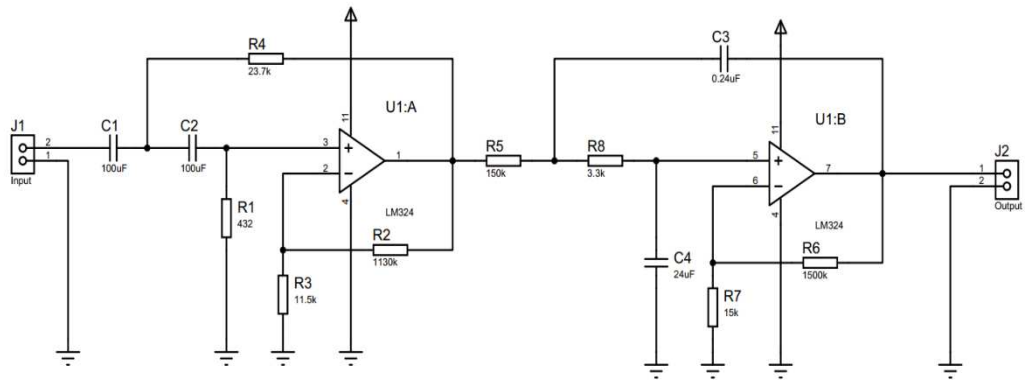


Figura 1. Circuito Sallen-Key.

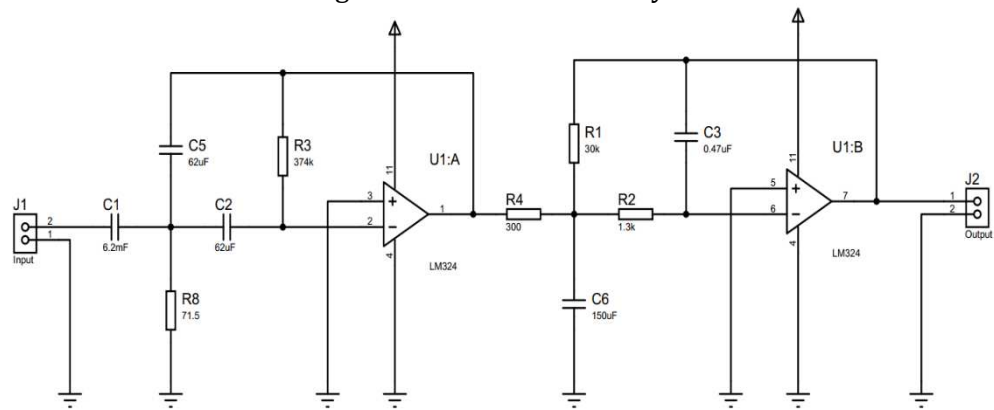


Figura 2. Circuito Múltiplo Feedback.

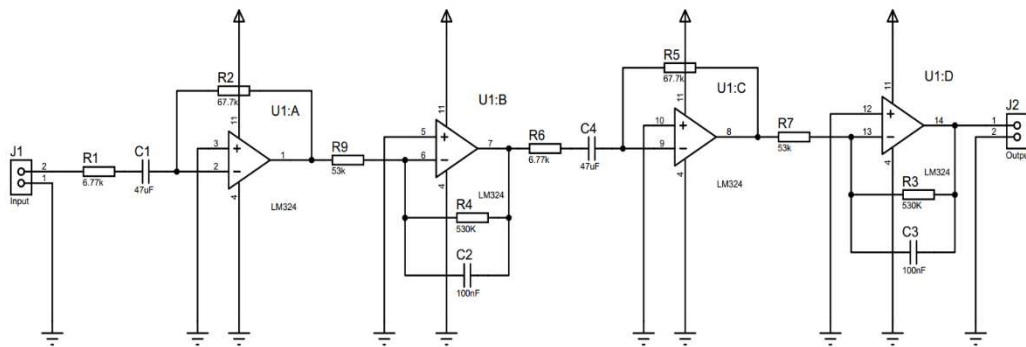


Figura 3. Circuito proposto pelos autores.

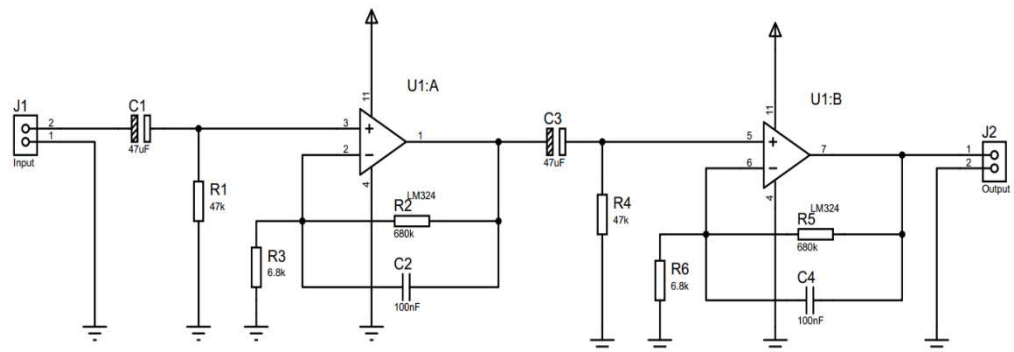


Figura 4. Circuito de filtragem híbrido. Fonte: Adaptado de Saquib et al. (2015).

O filtro da topologia *Sallen-Key* é um dos mais usuais em pesquisas e sua escolha para este projeto se justifica pela sua eficiência (SILVA & STEFANELLO, 2015). O filtro da topologia MFB, por sua vez, foi escolhido por conseguir manter a tensão em valores baixos na entrada podendo, assim, diminuir os riscos de saturação do sinal (COSTA, 2008).

A configuração híbrida apresentada na Figura 4 se caracteriza pela utilização de filtros ativos e passivos, e se trata de uma configuração comum no que diz respeito à aplicação em medição de sinais vitais, estando presente em trabalhos como (SAQUIB et al., 2015; GOTHWAL, 2016; MAHGOUB et al., 2015; MALLICK & PATRO, 2016; RAMLI et al., 2011). Para o presente estudo foi utilizado o circuito de Saquib et al. (2015), afim de ilustrar a configuração híbrida.

A topologia proposta pelos autores e representada na Figura 3, foi projetada utilizando dois estágios ativos de filtragem, e apresenta-se como uma melhoria do circuito apresentado na Figura 4, que é composto por dois estágios híbridos de filtragem. A melhoria se diz respeito a uma filtragem mais efetiva do que a apresentada pela configuração híbrida, bem como a utilização de uma estratégia de diluir o ganho do circuito entre os estágios utilizados, de forma que se consiga amenizar a questão do ruído térmico, o que pode influenciar na melhoria do sinal a ser medido.

Uma configuração baseada apenas em filtros passivos também foi levada em consideração. Porém, foi descartada pelo fato de que os filtros passivos por si só não serem capazes de realizar a amplificação do sinal medido, sendo necessária a inclusão de etapas de amplificação do sinal. Além disso, filtros

passivos podem ter a presença de indutores, os quais são sensíveis a campos externos e podem se tornar volumosos para aplicações em baixas frequências.

A análise da filtragem realizada pelas configurações de filtros utilizadas no presente trabalho foi avaliada em termos das respostas nos domínios do tempo e da frequência. No domínio da frequência foram avaliados os diagramas de Bode e diagramas de fase. No domínio do tempo foi avaliada a resposta ao impulso. Todas as análises das configurações utilizadas no presente trabalho foram realizadas através do uso de software de simulação de circuitos.

Resultados e Discussão

Na análise dos diagramas de Bode, ilustrados na Figura 5, verifica-se que as configurações *Sallen-Key*, MFB e a proposta dos autores apresentam um nível de amplificação mais alto do que a configuração híbrida. Além disso, pode-se observar que a largura de banda da configuração híbrida mostra-se menor do que as demais configurações. A largura de banda de um filtro é inversamente proporcional à sua seletividade Q , conforme (DIMOPOULOS, 2012; PERTENCE JUNIOR, 2014; FLOYD, 2018). O valor de Q para as configurações *Sallen-Key*, MFB e a proposta pelos autores girou em torno de 0,7, enquanto que valor de Q para a configuração híbrida ficou em torno de 0,9. Esse aspecto torna-se importante, uma vez que uma maior largura de banda possibilita obter mais características sobre o sinal PPG e amplia as aplicações de medição de sinais vitais para além da frequência cardíaca (JAYADEVAPPA & HOLI, 2007).

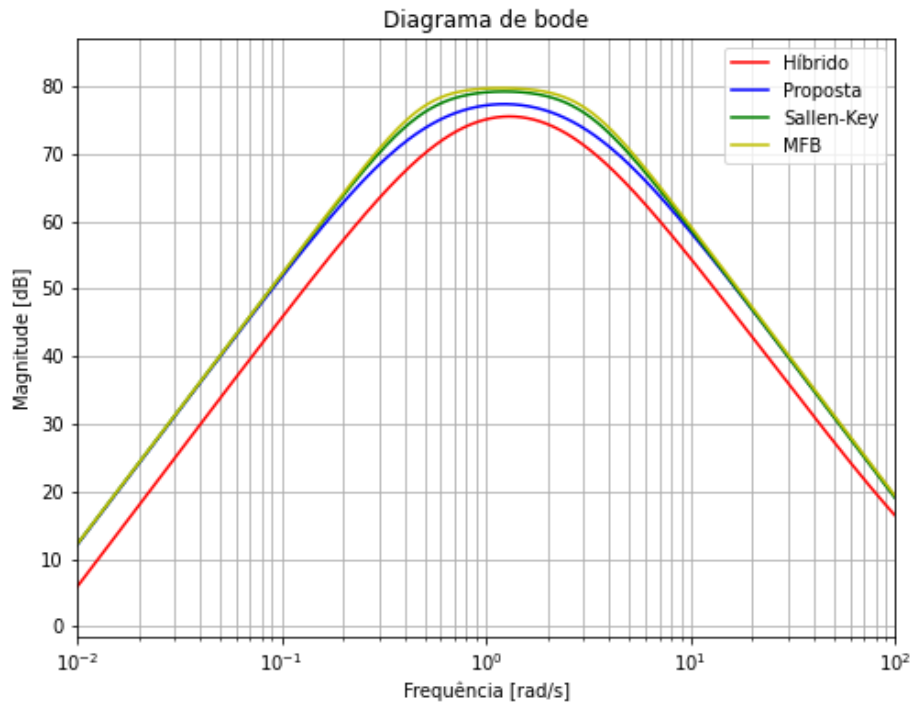


Figura 5. Diagrama de Bode das configurações utilizadas.

No que diz respeito aos diagramas de fase, ilustrados na Figura 6, observa-se que todas as configurações apresentam respostas equivalentes, quando se leva em consideração a faixa de frequências de corte utilizada. Respostas similares foram apresentadas em

(PALOMINO, 2016; SCHWARZ, 2007), confirmando o fato de que as configurações utilizadas no presente trabalho são viáveis para aplicações que tratam da medição de sinais vitais.

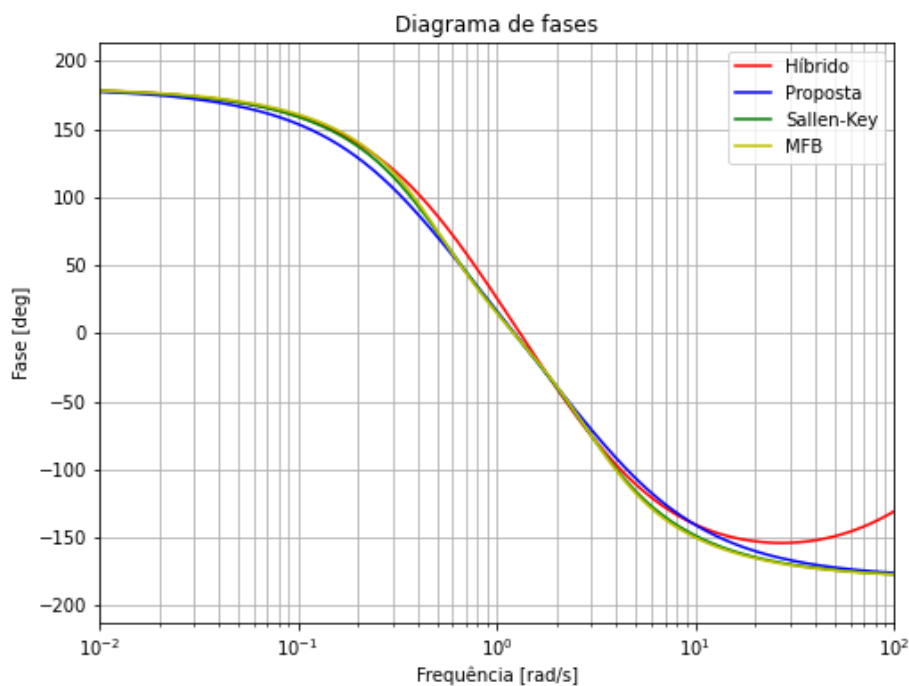


Figura 6. Diagrama de fases das configurações utilizadas.

A Figura 7 ilustra a análise no domínio do tempo, representada pela resposta ao impulso, gerada pelas configurações utilizadas no presente trabalho. Pode-se observar que as configurações *Sallen-Key*, MFB e a proposta dos autores apresentam um tempo de resposta mais rápido do que a configuração híbrida. Trabalhos como o de (DAL PONT, 2016) relatam tempos

maiores para atingir a estabilidade, quando se compara com os resultados mostrados na Figura 7. Essa característica de uma resposta mais rápida de um dispositivo que mede sinais vitais pode ser de grande importância em decisões a serem tomadas pela equipe médica, etc.

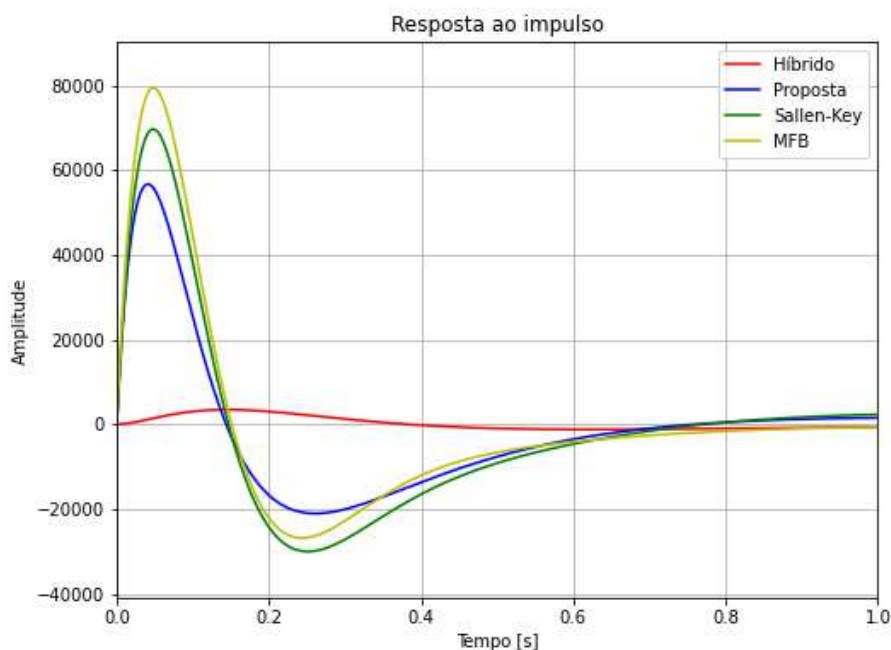


Figura 7. Resposta ao impulso das configurações utilizadas.

Embora as configurações *Sallen-Key* e MFB possam ter apresentado os melhores resultados, existe uma ressalva a ser feita. Na etapa de projeto dos filtros do tipo *Sallen-Key* e tipo MFB, foi observado que nos cálculos de resistores e capacitores aparecem valores que não são comercialmente encontrados, podendo fazer com que sua implementação prática possa ser comprometida. Em (PALOMINO, 2016) relata-se que a utilização de um filtro passa-faixa (FPF) do tipo *Sallen-Key* não apresentou boas resposta para baixas frequências, sendo utilizado um arranjo similar ao utilizado no presente trabalho, com um FPA seguido por um FPB. Apesar de não se configurar como prejudicial ao desempenho do circuito, segundo (PERTENCE JUNIOR, 2014), a configuração do tipo MFB apresenta polaridade de saída invertida.

A configuração híbrida, que se trata de uma composição de filtros ativos e filtros passivos, foi a que obteve resultados com os menores níveis dentre os parâmetros analisados, tornando-a não tão eficiente para a

aplicação a que se destina. Uma outra configuração levada em consideração, mas que não foi objeto de estudo, foi uma apenas composta por filtros passivos. Como os sinais vitais geralmente são captados com níveis de intensidade muito baixos, essa configuração necessitaria de etapas adicionais de amplificação, o que poderia acarretar um acúmulo de ruído entre os estágios. Essa falta de isolamento entre os estágios é uma grande desvantagem imposta pelo uso de filtros com elementos passivos, conforme apresentado por (FLOYD, 2018). Por esse motivo, a mesma foi descartada.

Das configurações utilizadas no presente trabalho, é unanimidade que as que utilizam apenas filtros ativos apresentam os melhores resultados, fazendo com que estes sejam os mais apropriados para a aplicação na aquisição de sinais de baixa frequência e de baixa amplitude, como é o caso de aplicações na área de instrumentação, na qual os equipamentos utilizados fazem grande uso de

filtros ativos, corroborando com o que foi colocado por (PERTENCE JUNIOR, 2014).

Conclusão

As configurações *Sallen-Key* e MFB apresentaram os melhores resultados em todos os quesitos analisados, podendo ser apontados como as principais configurações a serem utilizadas na etapa de filtragem de um circuito que mede sinais vitais através da PPG.

A configuração da proposta apresentada pelos autores acompanhou os bons resultados obtidos pelas configurações *Sallen-Key* e MFB, com a vantagem de não haver o problema relacionado com os valores de componentes na etapa de projeto, fazendo com que essa proposta se torne a mais adequada para ser aplicada na etapa de filtragem de sinais de FC através da PPG.

Referências

ALLEN, J.; OVERBECK, K.; STANSBY, G.; MURRAY, A. Photoplethysmography assessments in cardiovascular disease. *Measurement and Control*, v.39, n.3, p.80-83, 2006.

ASSUNÇÃO, R. M. V. Determinação das frequências cardíaca e respiratória do cão através da técnica de fotoplethysmografia e descrição espectral do sinal. 71f. Dissertação (Mestrado Integrado em Medicina Veterinária). Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias. Lisboa, 2016.

CORRÊA, M. J. U.; PERAZZIO, S. F.; ANDRADE, L. E. C.; KAYSER, C. Laser doppler imaging para quantificação do fluxo sanguíneo de polpa digital em condições basais e após estímulo frio em pacientes com esclerose sistêmica. *Revista Brasileira de Reumatologia*, v.50, n.2, p.128-134, 2010.

COSTA, H. C. C. Sensor de fluxo baseado em polímero piezoelétrico. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Electrónica Industrial e Computadores). Universidade do Minho. Guimarães, 2008.

DAL PONT, M. P. Plataforma de aquisição para fotoplethysmografia com módulos de monitoramento. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016.

DIMOPOULOS, H. G. Analog electronic filters: theory, design and synthesis. 1.ed. New York: Springer, 2012. 592p.

FILHO, V. A. DE A.; OLIVEIRA, A. M.; COSTA, C. DA S. Estudo comparativo dos modos da PPG para medição dos sinais de FC utilizando Arduino. In: Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais, 36, 2018, Campina Grande. Anais...Campina Grande, 2018.

FLOYD, T. L. *Electronic devices*. 10.ed. New Jersey: Pearson, 2018. 928p.

GOTHWAL, P. Design of PPG based heart-beat monitor. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, v.4, n.8, p.86-89, 2016.

GIL, E.; ORINI, M.; BAILON, R.; VERGARA, J. M.; MAINARDI, L.; LAGUNA, P. Photoplethysmography pulse rate variability as a surrogate measurement of heart rate variability during non-stationary conditions. *Physiological Measurement*, v.31, n.9, p.1271, 2010.

JAYADEVAPPA, B. M.; HOLI, M. S. Photoplethysmography: design, development, analysis and applications in clinical and physiological measurement—A review. *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol*, v.5, n.3, p.13, 2007.

JAYASREE, V. K. Selected cardiovascular studies based on photoplethysmography technique. 137p. Tese (PhD em Photonics). University of Science and Technology. Cochin, 2009.

MAHGOUB, M. T. A.; KHALIFA, O. O.; SIDEK, K. A.; KHAN, S. Heart monitoring system using pulse oximeter with remote alert. In: International Conference on Computing, Control, Networking, Electronics and Embedded Systems Engineering (ICCNEEE). IEEE, v.1, 2015, Khartoum. Anais...Karthoum, 2015, p.357-361.

MALLICK, B.; PATRO, A. K. Heart rate monitoring system using finger tip through arduino and processing software. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research*, v.5, n.1, p.84-89, 2016.

OSHIRO, D. M. Sistema para estimação do nível de saturação parcial de oxigênio no sangue (SpO₂) e frequência cardíaca. 76f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2011.

PALOMINO, A. R. Sistema de monitorización de constantes biomédicas. 69f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia

Eletrônica Industrial e Automática). Universidad Carlos III de Madrid. Madrid, 2016.
PASCHOAL, M. A.; VOLANTI, V. M.; PIRES, C. S.; FERNANDES, F. C. Variabilidade da frequência cardíaca em diferentes faixas etárias. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, v.10, n.4, p.413-419, 2006.

PERTENCE JUNIOR, A. Eletrônica analógica: amplificadores operacionais e filtros ativos: teoria, projetos, aplicações e laboratório. 8.ed. Porto Alegre: Bookman, 2014. 328p.

RAMLI, N. I.; YOUSEFFI, M.; WIDDOP, P. Design and fabrication of a low-cost heart monitor using reflectance photoplethysmogram. *World Acad. Sci. Eng. Technol.*, v.5, n.8, p.417-418, 2011.

ROQUE, J. M. A. Variabilidade da frequência cardíaca. 32f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Educação Física). Universidade de Coimbra. Coimbra, 2009.

SAQUIB, N.; PAPON, M. T. I.; AHMAD, I.; RAHMAN, A. Measurement of heart rate using photoplethysmography. In: *International Conference on Networking Systems and Security*. IEEE, v.1, 2015, Dhaka. *Anais...Dhaka*, 2015. p.1-6.

SCHWARZ, L. Proposta de um sistema telemétrico para aquisição de sinais fisiológicos. 143f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

SILVA, M. D. C. DA; STEFANELLO, M. Projeto de filtro ativo anti-aliasing voltado para a instrumentação de inversores de tensão. *Anais...Alegrete: SIEPE*, v.7, n.2, 2015.

VANDERLEI, L. C. M.; PASTRE, C. M.; HOSHI, R. A.; CARVALHO, T. D. D.; GODOY, M. F. D. Noções básicas de variabilidade da frequência cardíaca e sua aplicabilidade clínica. *Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular*, v.24, n.2, p.205-217, 2009.

Capítulo 8

VALIDAÇÃO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO PASSIVO DE POLUIÇÃO DO AR

Nayara do Prado Valadão Alves¹

Rosana Gonçalves Barros²

Viniciu Fagundes Bárbara³

Aldo Muro Jr. ⁴

¹Engenheira Ambiental e Sanitarista, IFG, nayarapradov@gmail.com

²Engenheira Agrônoma, Professora, IFG, rosana.barros@ifg.edu.br

³Engenheiro Ambiental, Perito do MP-GO, Professor, IFG, viniciu.fagundes@ifg.edu.br

⁴Engenheiro Mecânico e de Segurança no Trabalho, Bacharel em Direito, Professor Titular, IFG, aldo.muro@ifg.edu.br

Introdução

A qualidade do ar relaciona-se diretamente à intensidade das emissões de poluentes atmosféricos e a um complexo conjunto de fatores, tais como a topografia e as condições meteorológicas, que podem promover a dispersão, o transporte e a concentração de poluentes atmosféricos (CETESB, 2018; OLIVEIRA et al., 2019).

Estudos epidemiológicos e clínicos têm demonstrado a incidência de alto risco de desenvolvimento de cânceres e doenças respiratórias e cardiovasculares em seres humanos expostos a poluentes atmosféricos, tais como ozônio, material particulado e hidrocarbonetos aromáticos (GODOI et al., 2010; VALAVANIDIS et al., 2013), mesmo quando em concentrações inferiores aos padrões normativos e legais (HAN & NAEHER, 2006). Adicionalmente, a degradação da qualidade do ar também pode gerar efeitos adversos sobre a fauna, a flora, o solo e os materiais presentes no meio ambiente artificial patrimonial, cultural e histórico, além de favorecer a alteração das propriedades físicas da atmosfera, promovendo prejuízos à economia (BRASIL, 2018; KUKLINSKA et al., 2015; LI et al., 2012).

Qualquer emissão de matéria que seja capaz de tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, trazendo prejuízos ao bem-estar público, ao meio ambiente ou às atividades normais da comunidade, é enquadrado como poluente atmosférico (BRASIL, 1981; 2018). Normalmente invisíveis aos olhos humanos, poluentes do ar podem se constituir em

contaminantes ambientais de elevado risco, sendo seu monitoramento indispensável para a manutenção da qualidade ambiental, notadamente em ambientes urbanos, para embasamento de estudos de riscos potenciais (DRAGUNSKI et al., 2009).

O monitoramento da qualidade do ar é a única forma de verificar e garantir se os padrões estabelecidos nas normas e legislações vigentes estão sendo respeitados, podendo ser realizado de maneira ativa, quando o ar atmosférico é aspirado e submetido à passagem forçada por filtros específicos; ou na forma passiva, quando o sistema utilizado no monitoramento independe de fontes energéticas para funcionamento de equipamentos (MURO JR, 2014).

Kuklinska et al. (2015) consideram que a gestão da qualidade do ar só pode ser considerada eficaz quando o monitoramento contempla parâmetros necessários para a determinação da composição atmosférica e dos poluentes nela presentes, e se estes forem analisados segundo a legislação do Estado onde esteja sendo realizado, de forma a estabelecer o nível de degradação e a permitir a orientação e a tomada de ações por parte do poder público (KUKLINSKA et al., 2015).

Diante da necessidade do monitoramento dos poluentes atmosféricos, a amostragem passiva tem se mostrado uma alternativa interessante, pois apresenta simplicidade de instalação, sem a necessidade de mão-de-obra especializada, e, sobretudo, custo reduzido em comparação aos amostradores ativos convencionais (MURO JR, 2013).

Adicionalmente, exigem pouca ou nenhuma manutenção, não dependem de calibração de fluxos de ar, são de fácil operação, são geralmente pequenos e leves. Todos estes fatores contribuem para a viabilidade de sua utilização para coleta de amostras simultâneas em grandes áreas de interesse e em locais onde não há abastecimento elétrico (CAMPOS et al., 2010; GOUIN et al., 2008), principalmente em comunidades carentes.

Tuduri et al. (2006) desenvolveram um sistema de monitoramento passivo que consiste em amostradores de espuma fixos em um disco, montados dentro de uma câmara composta por duas abóbadas de aço inoxidável, utilizadas a título de proteção contra intempéries como umidade e excesso de luz (QU et al., 2018; SHOEIB & HARNER, 2002; TUDURI et al., 2006). Especificamente, discos de espuma coletam poluentes através da difusão do analito ao meio sorvete (CHAEMFA et al., 2009). Por sua vez, Antoniosi e Brait (2010) e Muro Jr (2013) desenvolveram um sistema de monitoramento passivo da poluição do ar por intermédio da adsorção de poluentes atmosféricos em papel filtro envolto e não envolto em cera, tendo obtido resultados satisfatórios no

monitoramento de metais-traço e de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH).

Embora a amostragem passiva para monitoramento da poluição atmosférica seja relevante, há escassez de publicações relacionadas a este assunto. Nesse sentido, este trabalho objetivou validar sistemas de monitoramento passivo da qualidade do ar consagrados na literatura, comparando seus resultados para o monitoramento de PAH, especificamente os métodos propostos por Tuduri (2006) e Brait et al. (2010; 2013).

Material e Métodos

O presente estudo adotou como sistemas de amostragem o Sistema de Coleta de Poluentes Atmosféricos (SISCO) (BRAIT & ANTONIOSI FILHO, 2010; MURO JR, 2013) e o Sistema de Monitoramento Passivo de Poluentes Atmosféricos por meio da Espuma de Poliuretano (PUF) (TUDURI et al., 2006). Este último foi utilizado para validação do SISCO por já ser consagrado na literatura (Figuras 1 e 2). Especificamente, foram utilizados dois tipos de amostradores para adsorção de PAHs: papel filtro e espuma de poliuretano.



Figuras 1 e 2. Sistemas de monitoramento passivo adaptados utilizados na pesquisa. Respectivamente: SISCO e PUF.

O local selecionado para a instalação dos amostradores foi na cidade de Goiânia, estado de Goiás, Brasil, situada na Região Centro-Oeste do país, próxima à capital Brasília, com influência sinérgica na difusão da poluição atmosférica em virtude de sua localização. Os

amostradores SISCO e PUFs foram instalados nas coordenadas 16° 39' 58,88" S e 49° 19' 55,87" W, durante dois períodos de quinze dias cada, durante a época de estiagem na região (Figura 3).

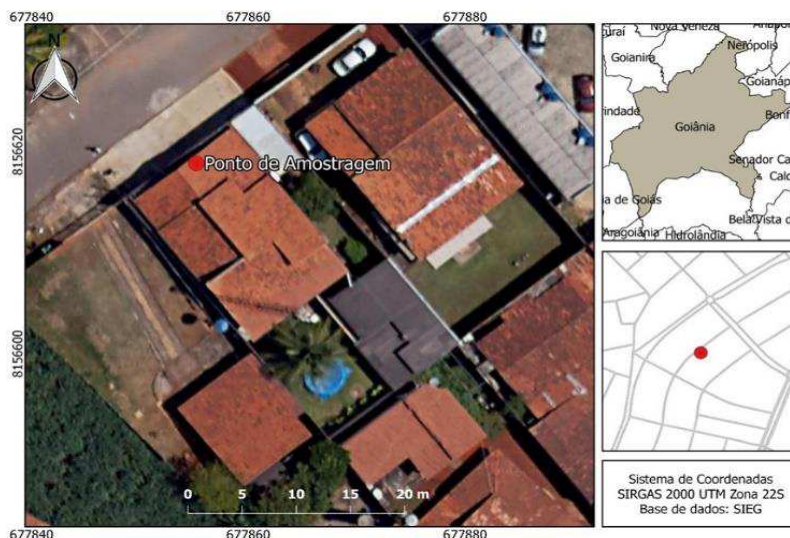


Figura 3. Localização do ponto de amostragem. Fonte: adaptado de SIEG.

Os SISCOS foram montados utilizando-se bastidores para bordado, comumente encontrados no mercado de aviamentos, confeccionados em madeira, com diâmetros de 20 cm, onde foi fixado um papel filtro para adsorção dos particulados atmosféricos, conforme Muro Jr (2013). Os bastidores foram previamente lavados com água e detergente, enxaguados com água da rede pública e, em seguida, lavados com água destilada e deionizada e borrifados com acetona grau *Absolv Tedia*, sendo, por fim, dispostos para secagem. A fixação dos elementos adsorventes ocorreu em ambiente limpo. Ambos os bastidores com seus respectivos filtros foram acondicionados em sacos individuais de polietileno e permaneceram lacrados até o momento da instalação.

Para a validação por cotejo do sistema de monitoramento passivo SISCO, ambos os amostradores (SISCO e PUF) foram fixados simultaneamente para fim de comparação do sistema desenvolvido por Tuduri et al. (2006) e Muro Jr (2013). Nesse sentido, testou-se a utilização do papel filtro para adsorção de particulados atmosféricos, em substituição à espuma de poliuretano, dentro das abóbodas propostas por Tuduri et al. (2006), para validação de um sistema composto pela proteção garantida pelas abóbodas e a adsorção do papel filtro.

Após o período de coleta de particulados por adsorção, foram retiradas amostras de 2,5 x 2,5 cm da espuma e do papel filtro, acondicionadas em *vials* de vidro. Na sequência,

ambos os materiais foram pesados e levados para análise por meio de cromatografia gasosa. Para a identificação dos compostos, as análises das amostras e de um padrão de acetonitrila foram realizadas em cromatógrafo a gás *Agilent 7890B* acoplado ao espectrômetro de massas triplo quadrupolo 7000D, equipado com coluna NST 624ms (30m x 250 μ m; 1,4 μ m). A programação da temperatura do forno foi inicialmente a 40°C por 1 minuto, com rampa de aquecimento a 5°C.min⁻¹ até 100°C e, 10°C. min⁻¹ até 200°C. Empregou-se injetor no modo *split* com razão de split de 100:1. A temperatura do Injetor, da interface e da fonte de íons foi mantida a 250°C. A amostra e o padrão de acetonitrila foram previamente aquecidos via *headspace* à 150°C por 30 minutos e um volume de 2,5 mL foi injetado no cromatógrafo. O espectrômetro de massas operou em modo *Scan* registrando íons na faixa de 17 a 500 m.z⁻¹.

Para a validação dos sistemas de monitoramento passivo, foram utilizados os PAH que apresentaram maiores quantidades relativas nas amostras analisadas. Os de menor significância foram descartados visando eliminar o risco de que os traços de substâncias alterassem a análise comparativa de validação.

Resultados e Discussão

Dentre os PAHs analisados, correspondentes àqueles considerados nocivos pela EPA e monitorados por Muro Jr (2013), os compostos que apresentam maiores quantitativos relativos nas amostras estão listados na Tabela 1, que são os compostos

Hexanal (C₆H₁₂O), Furfural (C₅H₄O₂), 5-Metil-Furancarboxaldeído (C₆H₆O₂), Octanal (C₈H₁₆O), 2-Formyl Pyrrole (C₅H₅NO); Pirimidina (C₅H₆N₂), Furfural (C₅H₄O₂), Nonanal (C₉H₁₈O) e 1-2 Benzeno ácido dicarboxílico (C₂OH₃₀O₄).

Cotejando-se os PAHs que foram adsorvidos pelos sistemas de monitoramento

passivo por adoração em papel filtro com os que foram adsorvidos em espuma de poliuretano, depreendeu-se que os resultados encontrados para ambos os sistemas foi equivalente e demonstraram (BRAIT & ANTONIOSI FILHO, 2010; MURO JR, 2013).

Tabela 1. PAHs detectados nas amostras por monitoramento passivo

PAHs	PUF	SISCO 1	Papel	SISCO 2
Hexanal	2,65	0,57	0,57	0,26
Furfural	83,7	83,7	74,3	88,37
2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-	0,69	0,71	0,35	0,66
Octanal	0,30	0,28	0,22	0,35
2-Formyl Pyrrole	0,49	0,53	0,48	0,36
Nonanal	1,87	1,83	1,77	1,64
Decanal	3,20	2,90	3,10	2,90
Etil-butyl-ftalato	4,95	4,92	5,02	5,10

Os cromatogramas representativos das amostras selecionadas para a comparação entre os métodos de monitoramento por sistema

passivo, contendo a análise do sistema PUF e do sistema por adsorção em SISCO encontram-se representadas nas Figuras 4 e 5.

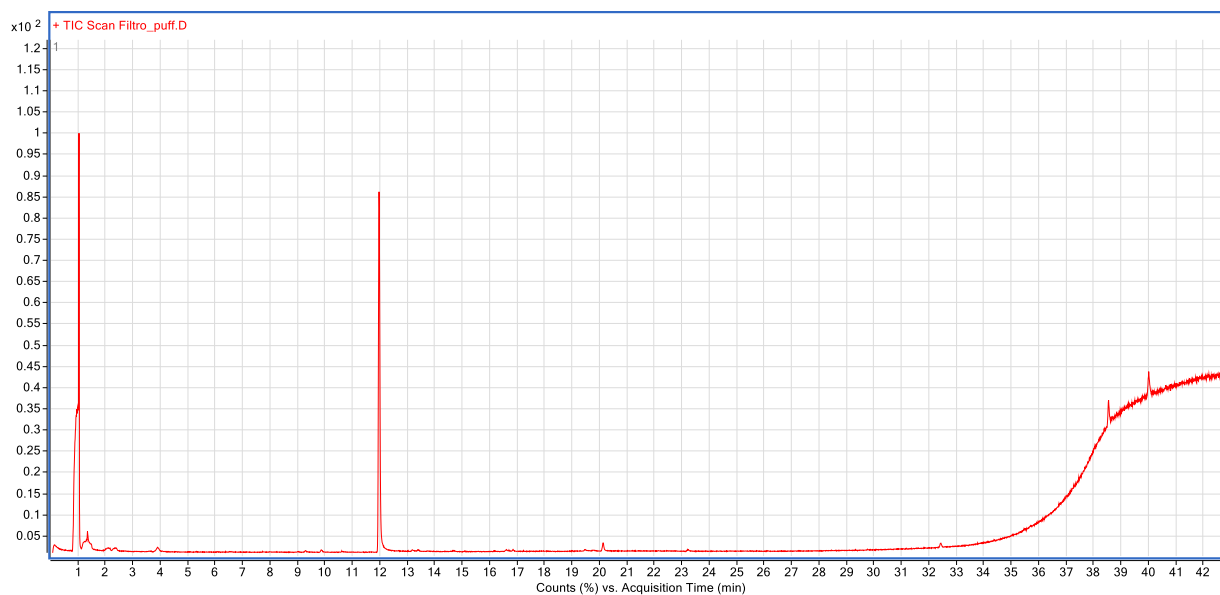


Figura 4. Cromatograma contendo amostra monitoramento passivo da qualidade do ar.

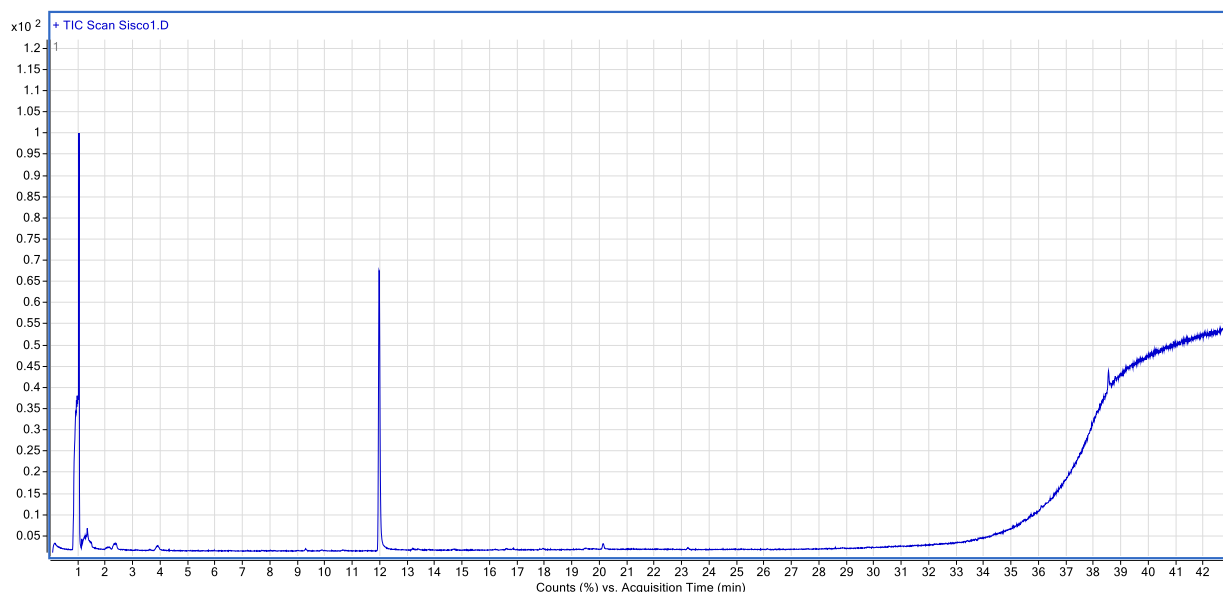


Figura 5. Cromatograma contendo amostra SISCO.

Analisando-se os dados contidos na Tabela 1, depreende-se que os PAHS detectados pelo sistema de monitoramento passivo já consolidado pela literatura – PUF, equivalem-se em termos qualitativos e quantitativos aos que foram monitorados pelo sistema proposto SISCO, tanto utilizando-se espuma de poliuretano, quanto papel filtro, montados nos bastidores - SISCO ou dentro da semi-abóboda, que isola os elementos adsorventes de precipitações pluviométricas e outras contaminações que podem ocorrer, como fezes de pássaros ou frutas que atingem o sistema adsorvente.

Da mesma forma, os picos representativos dos PAHs, na ordem e intensidade que eluíram durante a cromatografia, corroboram as similitudes de ambos os métodos de monitoramento passivo espuma de poliuretano e papel filtro, Figuras 4 e 5.

Os picos iniciais existentes nos cromatogramas são equivalentes com o que foi observado da análise do “branco”, representando a ausência de contaminação das amostras durante todo o processo e estão representados na Figura 6.

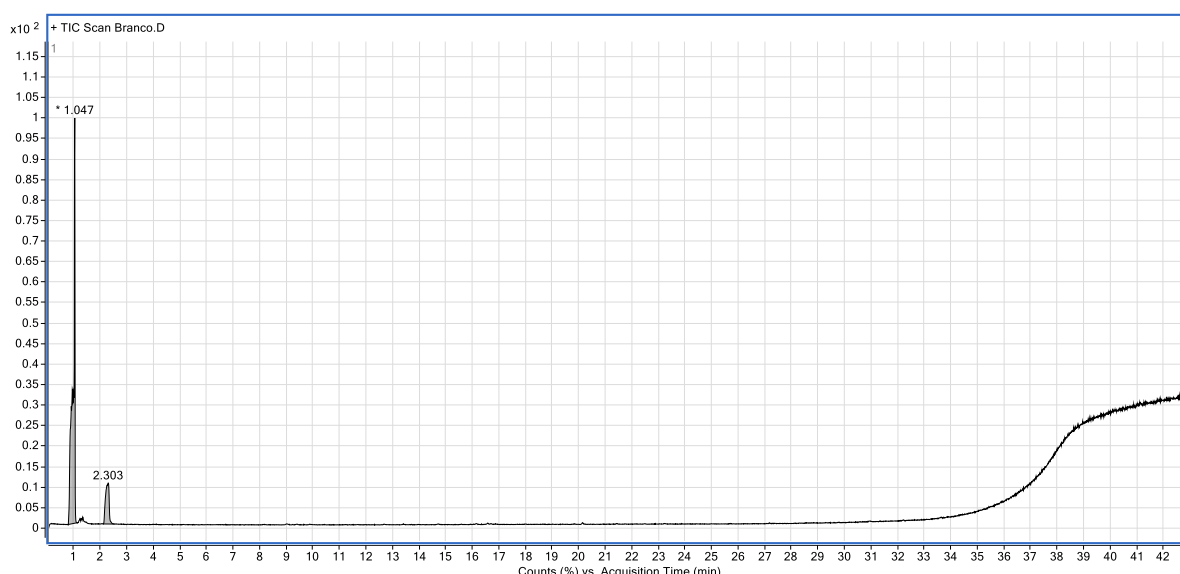


Figura 6. Cromatograma representativo da análise do “branco”.

Para a melhor comparação entre as quantidades obtidas nos sistemas de monitoramento passivo com espuma de poliuretano – PUF e adsorção com papel –

SISCO, representa-se um diagrama em barras (Figura 7) com os resultados contidos na Tabela 1.

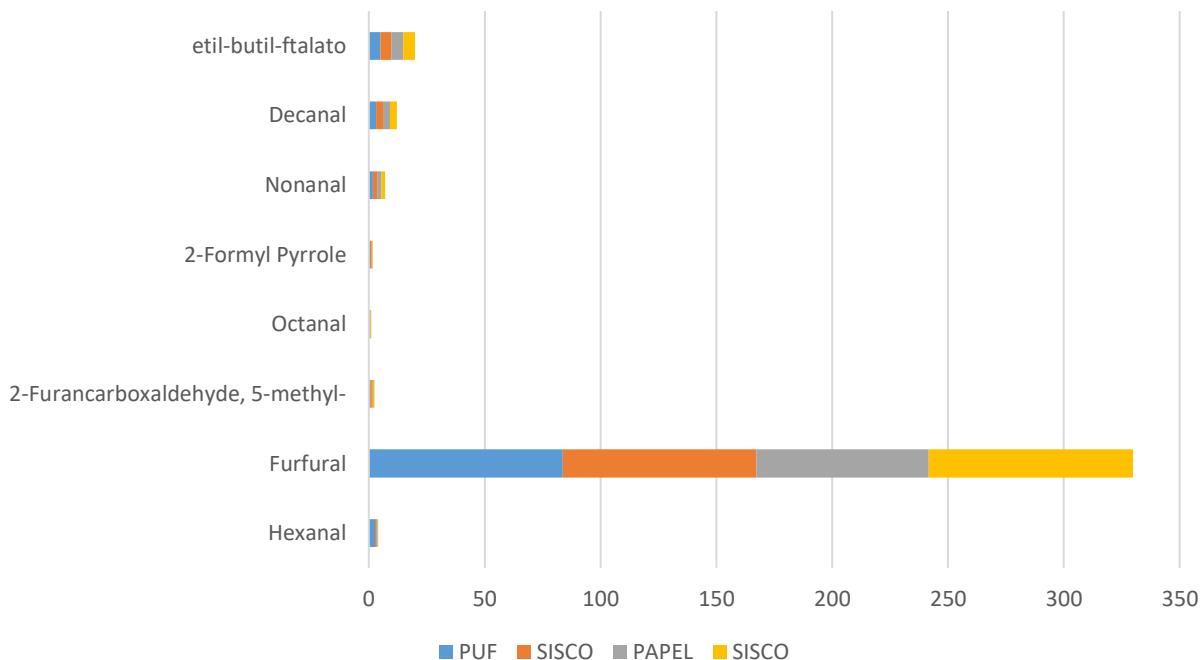


Figura 7. Comparação quantitativa dos PAHs nos sistemas de monitoramento passivo.

Como a quantidade relativa de Furfural presente nas amostras é muito maior do que as quantidades dos demais PAHs, representam-se as quantidades por meio de dois gráficos de

barras auxiliares, sem o Furfural, Figura 8; e somente o Furfural representado relativamente nas amostras pelos sistemas de monitoramento passivo PUF e SISCO, Figura 9.

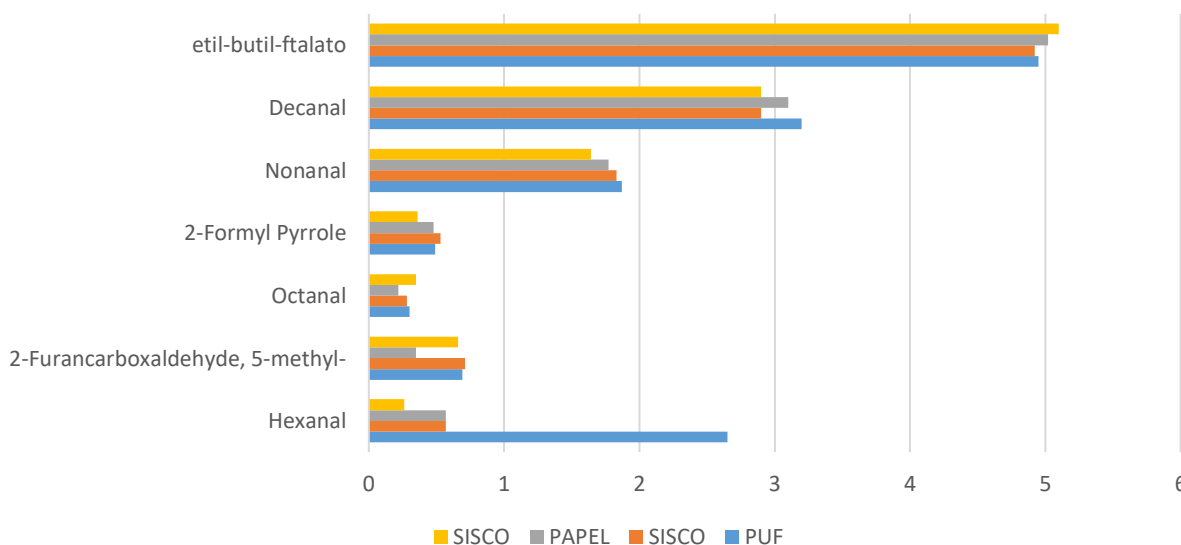


Figura 8. Comparação quantitativa dos PAHs nos sistemas de monitoramento passivo, sem o PAH Furfural.

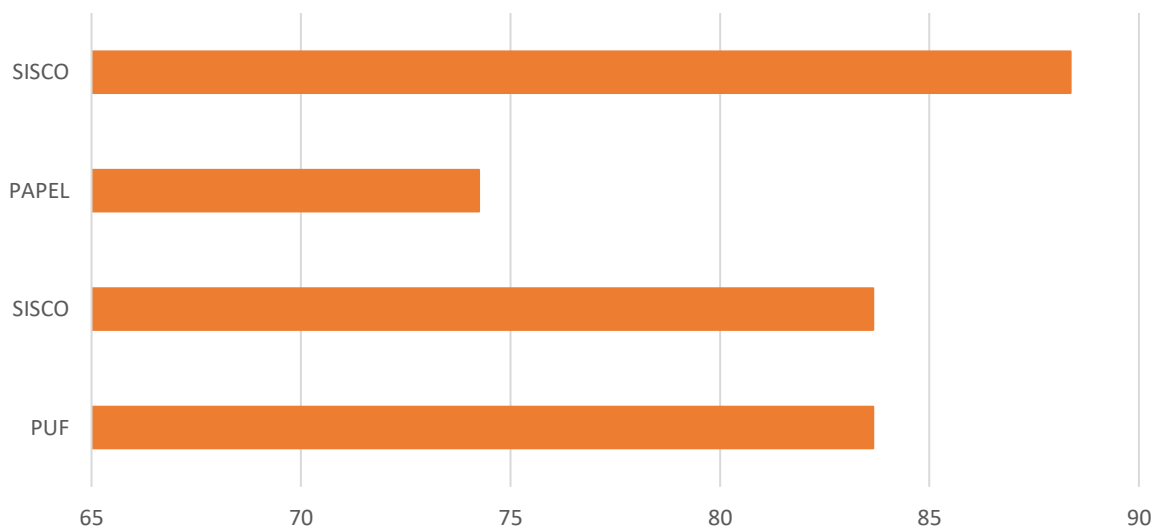


Figura 9. Comparação quantitativa do PAH Furfural. nos sistemas de monitoramento passivo.

Analisando-se as Figuras 8 e 9 depreende-se que, mesmo havendo variações entre os quantitativos dos PAHs obtidos nas amostras, eles se equivalem. As variações podem ter ocorrido em virtude das diferentes emissões ocorridas durante a coleta das amostras ou pela variação de posição que, mesmo sendo mínima, pode interferir nos resultados de elementos-traço adsorvidos do ar atmosférico.

A Figura 8 representa a similaridade de quantitativos de PAHs adsorvidos em ambos os sistemas de monitoramento passivo, tanto pelo método consagrado de monitoramento por espuma de poliuretano – PUF, quando pela adsorção de papel filtro – SISCO, denotando que o método de monitoramento SISCO constitui uma metodologia eficaz e de baixo custo, para o monitoramento da poluição atmosférica.

Quanto aos PAHs encontrados em Goiânia, o Hexanal ($C_6H_{12}O$), Furfural ($C_5H_4O_2$), 5-Metil-Furancarboxaldeído ($C_6H_6O_2$), Octanal ($C_8H_{16}O$), 2-FormilPyrrole (C_5H_5NO); Pirimidina ($C_5H_6N_2$), Furfural ($C_5H_4O_2$), Nonanal ($C_9H_{18}O$) e 1-2 Benzeno ácido dicarboxílico ($C_2OH_{30}O_4$), observa-se que, devido ao alto grau patológico à biota e aos seres humanos que eles provocam, todos monitorados pelo sistema de monitoramento passivo do ar atmosférico.

O Hexanal é um *alquil aldeído* encontrado em fluidos humanos, borracha sintética e *pallets* de madeira e serragem, é o principal produto de degradação do ácido linoleico, é insolúvel em água e apresenta um odor comparado ao odor de aldeído e grama

verde (CHO et al., 2017; PUBCHEM, 2019; SUI et al., 2019). Conhecido como um dos aldeídos principais irritantes do ar interior (ZHENG, 2010), está relacionado ao desenvolvimento de doenças como uremia, colite ulcerosa, doença celíaca, doença hepática gordurosa não alcoólica, doença de Crohn. Afeta o sistema imunológico e induz à inflamação respiratória (CHO et al., 2017). Sua presença no ar atmosférico de Goiânia, provavelmente se deve à forte presença da indústria alimentícia na capital, pois é uma substância comumente utilizada para auferir o sabor artificial das frutas em alimentos industrializados.

O Furfural também advém da indústria alimentícia, através do uso do bagaço de cana-de-açúcar destinado à produção de energia e de farelo de cereais (SILVA et al., 2015). Consiste em um composto heterocíclico que consiste em um furano em que o hidrogênio na posição 2 é substituído por um grupo formil. Tem como característica física a sua coloração incolor, amarelo ou marrom-avermelhada e um odor penetrante (PUBCHEM, 2019).

O composto 5-Metil-Furancarboxaldeído é da família dos furanos, presente na atmosfera provavelmente pela produção do café (ARRUDA et al., 2012).

O Octanal é um aldeído graxo saturado que surge formalmente da redução do grupo *carboxi* do ácido caprílico (ácido octanóico) e é comumente encontrado em formulações de pesticidas e inseticidas aplicados a animais e formulações de pesticida antimicrobiano, além

de produtos de limpeza para residências, produtos de cuidados pessoais como shampoo, maquiagem e perfumes (PUBCHEM, 2019).

Pode causar tonturas e irritações nas mucosas ao ser inalado, irritação na boca e estômago ao ser ingerido e nos olhos ou pele quando houver contato dérmico (U.S., 2019). O contato com o octanal afeta as membranas mucosas das vias nasais e orais e do trato intestinal, provocando uma sensação de queimação, aumento da taxa de ventilação, constrição brônquica, asfixia e tosse (SONG et al., 2014). Além dos prejuízos à saúde humana já citados, o octanal pode também provocar autismo, doença celíaca, doença de Crohn, colite ulcerosa e doença hepática (PUBCHEM, 2019b).

O 2-FormilPyrrole advém do tabaco, portanto, oriundo da fumaça dos cigarros presentes em todo o mundo (YOKOI, 2016)

A Pirimidina e o 1-2 Benzeno ácido dicarboxílico são compostos semelhantes ao Benzeno, casando efeitos deletérios à saúde equivalente aos compostos benzênicos. Suas presenças no ar atmosférico decorrem sobretudo das emissões por fontes móveis e pulverizações agrícolas, ambas abundantes na região objeto do estudo (CHO et al., 2017; PUBCHEM, 2019; SUI et al., 2019).

O nonanal é um aldeído normalmente encontrado em plantas oleaginosas e em grandes concentrações pode causar câncer, irritação de pele e olhos (CHAMEO, 2016).

O quantitativo de PAHs que excedem os limites previstos nas normas ambientais infralegais (BRASIL, 2018), coadunam o resultado encontrado por Neto et al. (2015) e Castel (2018), em Anápolis-GO, cidade onde está localizado grande pólo industrial em Goiás, vizinha à capital goiana, que devido à expansão de fronteira, constitui – juntamente com Goiânia, região metropolitana, suscetível, portanto, aos mesmos contaminantes atmosféricos, sobretudo, pelo fato de que o recurso natural ar é extremamente suscetível a rápidas contaminações sinérgicas.

Conclusão

O sistema de monitoramento passivo por adsorção em filtro de papel, SISCO, apresentou-se um sistema de baixo custo, grande versatilidade por ser capaz de ser utilizado sem a necessidade de fontes de energia.

Demonstrou ser eficaz quando comparado com outro método de monitoramento passivo consagrado na literatura, que consiste no monitoramento passivo por adsorção de particulados em espuma de poliuretano dentre duas abóbodas para proteção da água das chuvas e vento.

A utilização do papel filtro utilizado no sistema de monitoramento passivo SISCO, demonstrou-se eficaz quando utilizado dentro das abóbodas de proteção no local da espuma de poliuretano, sendo capaz de qualificar e quantificar os poluentes atmosféricos com a mesma acurácia, contudo, com redução incremental de custos.

O método de monitoramento passivo SISCO, foi capaz de detectar poluentes orgânicos – PAHs, no ar atmosférico de Goiânia, detectando compostos advindos do sistema produtivo predominante na região, indústria alimentícia e agropecuária, bem como das fumaças oriundas de cigarros e de fontes móveis, comuns em todas as grandes cidades.

Referências

- ABDEL-SHAIFY, H. I.; MANSOUR, M. S. M. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum*, v.25, n.1, p.107–123, 2016.
- ALI, N.; ISMAIL, I. M. I.; KHODER, M.; MAGDY, S.; MANSOUR, A.; COSTA, M.; ALI, L. N.; WANG, W.; EQANI, S. A. M. A. S. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in indoor dust samples from cities of Jeddah and Kuwait: Levels, sources and non-dietary human exposure. *Science of the Total Environment*, v.573, p.1607–1614, 2016.
- ARRUDA, N. P.; HOVELL, A. M. C.; REZENDE, C. M.; FREITAS, P. S.; COIRI, S.; RIZZO, H. R. Correlação entre precursores e voláteis em café arábica brasileiro processado pelas vias seca, semiúmida e úmida e discriminação através da análise por componentes principais. *Química Nova*, v.35, n.10, p.2044–2051, 2012.
- BAIRD, C. *Química Ambiental*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 844p.
- BRAIT, C. H. H. Monitoramento ambiental de metais utilizando biomonitores e sistema passivo de coleta de poluentes. 110f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais). Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2008.

- BRAIT, C. H. H.; ANTONIOSI FILHO, N. R. Desenvolvimento e aplicação de sistema passivo de coleta de poluentes atmosféricos para monitoramento de Cd, Cr, Pb, Cu, Fe, Mn, Zn e particulados totais. *Química Nova*, v.33, n.1, p.7–13, 2010.
- BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. 1981.
- BRASIL, C. N. DO M. A. Resolução nº 491 de 19 novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. 2018.
- CAMPOS, V. P.; CRUZ, L. P. S.; GODOI, R. H. M.; TAVARES, T. M. Development and validation of passive samplers for atmospheric monitoring of SO₂, NO₂, O₃ and H₂S in tropical areas. *Microchemical Journal*, v.96, n.1, p.132–138, 2010.
- CASTANO-VINYALS, G. Biomarkers of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons from environmental air pollution. *Occupational and Environmental Medicine*, v.61, n.4, p.12e–112, 2004.
- CASTEL, D. K. A. Quantificação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos no material particulado e sua influência na saúde em Goiás. 68f. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2018.
- CHAEMFA, C.; BARBER, J. L.; KIM, K. S.; HARNER, T.; JONES, K. C. Further studies on the uptake of persistent organic pollutants (POPs) by polyurethane foam disk passive air samplers. *Atmospheric Environment*, v.43, n.25, p.3843–3849, 2009.
- CHAMEO. Chemicals Information. Nonanal. Disponível em: <https://cameochemicals.noaa.gov/help/chemical_datasheets/hazards.htm?d_f=false>. Acesso em: 24 de novembro de 2020.
- CHO, Y.; SONG, M. K.; KIM, T. S.; RYU, J. C. Identification of novel cytokine biomarkers of hexanal exposure associated with pulmonary toxicity. *Environmental Pollution*, v.229, p.810–817, 2017.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Qualidade do ar no estado de São Paulo 2017: Série Relatórios. São Paulo: CETESB, 2018. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: 20 de novembro de 2020.
- DEZIEL, N. C.; WEI, W. Q.; ABNET, C. C.; QIAO, Y. L.; SUNDERLAND, D.; REN, J. S.; SCHANTZ, M. M.; ZHANG, Y.; STRICKLAND, P. T.; ABUBAKER, S.; DAWSEY, S. M.; FRIESEN, M. C.; ROTH, M. J. A multi-day environmental study of polycyclic aromatic hydrocarbon exposure in a high-risk region for esophageal cancer in China. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, v.23, n.1, p.52–59, 2013.
- DRAGUNSKI, D. C.; CAIADO, J.; FERREIRA, E. F.; DELAPORTE, R. H.; LAVERDE Jr. A. Uso de bromeliáceas em biomonitoramento atmosférico. *Arq. Ciênc. Saúde UNIPAR*, v.13, n.3, p.205-209, 2009.
- DWEVEDI, A.; SHARMA, J. Production of clean air using combo-technology. In: (DWEVEDI, A.) *Solutions to Environmental Problems Involving Nanotechnology and Enzyme Technology*. [s.l.]. Elsevier, 2019. p.127–150.
- EL MORABET, R. Effects of outdoor air pollution on human health. In: *Encyclopedia of Environmental Health*. [s.l.]. Elsevier, 2019. p.278–286.
- ELLICKSON, K. M.; MCMAHON, C. M.; HERBRANDSON, C.; KRAUSE, M. J.; SCHMITT, C. M.; LIPPERT, C. J.; PRATT, G. C. Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in air using passive sampling calibrated with active measurements. *Environmental Pollution*, v.231, p.487–496, 2017.
- GODOI, A. F. L.; GODOI, R. H. M.; AZEVEDO, R.; MARANHO, L. T. Poluição e a densidade de vegetação: BTEX em algumas áreas públicas de Curitiba - PR, Brasil. *Química Nova*, v.33, n.4, p.827–833, 2010.
- GÓRECKI, T.; NAMIEŚNIK, J. Passive sampling. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, v.21, n.4, p.276–291, 2002.
- GOUIN, T.; WANIA, F.; RUEPERT, C.; CASTILHO, L. E. Field testing passive air samplers for current use pesticides in a tropical environment. *Environmental Science & Technology*, v.42, n.17, p.6625–6630, 2008.
- GUIMARÃES, C. DE S. *Controle e Monitoramento de Poluentes Atmosféricos*. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. 217p.
- HAN, X.; NAEHER, L. P. A review of traffic-related air pollution exposure assessment

- studies in the developing world. *Environment International*, v.32, n.1, p.106–120, 2006.
- HARNER, T.; BARTKOW, M.; HOLOUBEK, I.; KLANOVA, J.; WANIA, F.; GIOIA, R.; MOECKEL, C.; SWEETMAN, A. J.; JONES, K. C. Passive air sampling for persistent organic pollutants: Introductory remarks to the special issue. *Environmental Pollution*, v.144, n.2, p.361–364, 2006.
- JASINSKI, R.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F. Poluição atmosférica e internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e adolescentes em Cubatão, São Paulo, Brasil, entre 1997 e 2004. *Cadernos de Saúde Pública*, v.27, n.11, p.2242–2252, 2011.
- YOKOI, M.; SHIMODA, M. Extraction of volatile flavor compounds from tobacco leaf through a low-density polyethylene membrane. *Journal of Chromatographic Science*, v.55, n.3, p.373–377, 2016.
- KIM, K. H.; JAHAN, S. A.; KABIR, E.; BROWN, R. J. C. A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects. *Environment International*, v.60, p.71–80, 2013.
- KUKLINSKA, K.; WOLSKA, L.; NAMIESNIK, J. Air quality policy in the U.S. and the EU – a review. *Atmospheric Pollution Research*, v.6, n.1, p.129–137, 2015.
- LANDULFO, E.; PAPAYANNIS, A.; ARTAXO, P.; CASTANHO, A. D. A.; FREITAS, A. Z.; SOUZA, R. F.; JUNIOR, N. D. V.; JORGE, M. P. M. P.; S´ANCHEZ-CCOYLLO, O. R.; MOREIRA, D. S. Synergetic measurements of aerosols over São Paulo, Brazil using LIDAR, sunphotometer and satellite data during the dry season. *Atmos. Chem. Phys.*, v.3, n.5, p.1523–1539, 2003.
- LI, Y.; GENG, D.; LIU, F.; WANG, T.; WANG, P.; ZHANG, Q.; JIANG, G. Study of PCBs and PBDEs in King George Island, Antarctica, using PUF passive air sampling. *Atmospheric Environment*, v.51, p.140–145, 2012.
- MURO JR, A. Proposta de implementação de legislação ambiental, através de políticas de controle da poluição atmosférica, por meio de sistemas de monitoramento passivo. 135f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais). Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2013.
- MURO JR, A. Política, sistemas normativos e instrumentos de controle da poluição do ar: aspectos legais. *Revista SJRJ*, v.21, n.41, p.19–49, 2014.
- NETO, C. M. S. et al. Emissões atmosféricas por chaminés industriais nas mesorregiões Leste, Centro e Sul do Estado de Goiás (Brasil). *Revista Mirante*, v.8, p.169–184, 2015.
- OLIVEIRA, M. L. M.; LOPES, M. H. P. S.; POLICARPO, N. A.; ALVES, C. M. A. C.; ARAÚJO, R. S.; CAVALCANTE, F. S. A. Avaliação de poluentes do ar em áreas de recreação urbana da cidade de Fortaleza. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v.11, e20180187, 2019.
- PUBCHEM. Furfural. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7362>>. Acesso em: 20 de novembro de 2020.
- PUBCHEM. Octanal. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/454>>. Acesso em: 20 de novembro de 2020b.
- PUBCHEM. Hexanal. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6184>>. Acesso em: 20 de novembro de 2020.
- QU, C.; DOHERTY, A. L.; XING, X.; SUN, W.; ALBANESE, S.; LIMA, A.; QI, S.; VIVO, B. Polyurethane foam-based passive air samplers in monitoring persistent organic pollutants: Theory and application. In: *Environmental Geochemistry: Site Characterization, Data Analysis and Case Histories*. [s.l.] Elsevier, 2018. p.521–542.
- SHOEIB, M.; HARNER, T. Characterization and comparison of three passive air samplers for persistent organic pollutants. *Environmental Science & Technology*, v.36, n.19, p.4142–4151, 2002.
- SILVA, A. M. C. DA; MATTOS, I. E.; IGNOTTI, E.; HACON, S. S. Material particulado originário de queimadas e doenças respiratórias. *Revista de Saúde Pública*, v.47, n.2, p.345–352, 2013.
- SILVA, J. F. L.; SELICANI, M. A.; JUNQUEIR T. L.; KLEIN B. C.; BONOMI, A. Integração da produção de furfural em uma biorrefinaria de cana-de-açúcar. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2015, Campinas*. Anais...Campinas: Editora Edgard Blücher, 2015.
- SINGH, R.; SRAM, R. J.; BINKOVA, B.; KALINA, I.; POPOV, T. A.; GEORGIEVA, T.; GARTE, S.; TAIOLI, E.; FARMER, P. B. The relationship between biomarkers of oxidative DNA damage, polycyclic aromatic hydrocarbon DNA adducts, antioxidant status and genetic susceptibility following exposure to environmental air pollution in humans. *Mutation*

Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis, v.620, n.1-2, p.83-92, 2007.

SONG, M. K. et al. Octanal-induced inflammatory responses in cells relevant for lung toxicity: Expression and release of cytokines in A549 human alveolar cells. *Human & Experimental Toxicology*, v.33, n.7, p.710-721, 2014.

ST. HELEN, G.; GONIEWICZ, M. L.; DEMPSEY, D.; WILSON, M.; PEYTON, J.; BENOWITZ, N. L. Exposure and kinetics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in cigarette smokers. *Chemical Research in Toxicology*, v.25, n.4, p.952-964, 2012.

SUI, S.; ZHANG, P.; ZHANG, H.; CAO, R. Low-temperature catalytic degradation of the odorous pollutant hexanal by γ -MnOOH: The effect of Mn vacancies. *Chinese Journal of Catalysis*, v.40, n.10, p.1525-1533, 2019.

TUDURI, L.; HARNER, T.; HUNG, H. Polyurethane foam (PUF) disks passive air samplers: Wind effect on sampling rates. *Environmental Pollution*, v.144, n.2, p.377-383, 2006.

U.S. Department of Commerce, N. O. A. A. A. N-Octilaldeído. Disponível em:

<<https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/4108>>. Acesso em: 20 de novembro de 2020.

VALAVANIDIS, A.; VLAOCHGIANNI, T.; FIOTAKIS, K.; LORIDAS, S. Pulmonary Oxidative stress, inflammation and cancer: respirable particulate matter, fibrous dusts and ozone as major causes of lung carcinogenesis through reactive oxygen species mechanisms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v.10, n.9, p.3886-3907, 2013.

VALLI, H. Cancer risk assessment, indicators, and guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air. *Environmental Health Perspectives*, v.110, p.38, 2002.

YANG, Q.; CHEN, H.; LI, B. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Indoor Dusts of Guizhou, Southwest of China: Status, sources and potential human health risk. *Plos One*, v.10, n.2, p.e0118141, 2015.

ZHENG, L. Intensity of odor and sensory irritation as a function of hexanal concentration and interpresentation intervals: an exploratory study. *Perceptual and Motor Skills*, v.111, n.1, p.210-228, 2010.

Capítulo 9

MODIFICAÇÕES NA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO POR COMPONENTES VEGETAIS EM SISTEMA AGROFLORESTAL NO SEMIÁRIDO

Carla Danielle Vasconcelos do Nascimento¹

Ícaro Vasconcelos do Nascimento²

Jaedson Cláudio Anunciato Mota³

Raul Shiso Toma⁴

Mirian Cristina Gomes Costa⁵

¹Dra. em Ciência do Solo, UFC, Fortaleza-CE, carla.danielle.v@hotmail.com

²Me. em Ciência do Solo, UFC, Fortaleza-CE, icaro_agro@hotmail.com

³Dr. Prof. Associado, UFC, Fortaleza-CE, jaedson.mota@ufc.br

⁴Dr. Prof. Adjunto, UFC, Fortaleza-CE, raulstoma@ufc.br

⁵Dra. Profa. Associada, UFC, Fortaleza-CE, mirian.costa@ufc.br

Introdução

O solo é um sistema entrópico, assim, a sua degradação é um processo natural. Entretanto, a ação humana pode direcionar, acelerar e induzir a degradação das terras. A degradação do solo implica em impactos negativos sobre a fauna, flora, ciclo hidrológico e outros serviços ecossistêmicos necessários à continuação da vida. Por intermédio de diversos processos físicos, químicos e hidrológicos, a deterioração do solo compromete o potencial biológico das terras e, por consequência, a sua capacidade de sustentar a população que ali está fixada (NASCIMENTO et al., 2018a; ACCIOLY, 2000).

A região semiárida do nordeste brasileiro é dotada de solos pouco desenvolvidos, ricos em minerais primários, pedregosos, rasos a pouco profundos e com diminuta capacidade de água disponível (CAD); fatores que limitam a produção agrícola no local. As classes de solo predominantes são as dos Luvisolos, Planossolos e Neossolos Litólicos (OLIVEIRA, 2009). Esses solos vêm sendo degradados pela substituição da vegetação natural por plantas de interesse agrícola, implantadas utilizando práticas de manejo que nem sempre estão em consonância com as limitações das terras, como é o caso das queimadas (NASCIMENTO et al., 2018a). O sobrepastejo, muito comum na região, também concorre para a desertificação dessas áreas (VAN OUDENHOVEN et al., 2015).

Dessa forma, o semiárido brasileiro demanda esforço técnico adicional para que seja transposto o desafio de aumentar a produtividade das terras e melhorar a qualidade dos recursos naturais; tendo em vista fatores como o déficit hídrico característico, as particularidades dos seus solos e a pressão de uso sobre um ambiente naturalmente frágil. Nesse contexto, os sistemas agroflorestais (SAF) representam uma alternativa para viabilizar a produção de alimentos no semiárido, em concordância com a preservação do ambiente (AGUIAR et al., 2006).

Sistemas agroflorestais representam um conjunto de técnicas de cultivo simultâneo de espécies arbóreas, plantas de interesse agrícola e, em alguns casos, criação de animais; com o intuito de promover um melhor aproveitamento da terra e dos demais fatores de produção do que os sistemas de cultivo convencionais (NASCIMENTO et al., 2018b). Nesses sistemas, tem-se reduzida demanda por insumos externos, favorecimento à ciclagem de nutrientes e interação sinérgica entre os seus componentes (árvores, culturas e animais); de modo que se caminha em direção à sustentabilidade em um cenário desafiador de mudanças climáticas e histórico de degradação (KOOHAFKAN, 2012).

Frente à tantas vantagens dos SAF, diversos estudos têm procurado averiguar, utilizando atributos indicadores, como tais sistemas contribuem com a melhoria da

qualidade do solo (BROWN et al., 2006). Os atributos físicos devem ser incluídos em avaliações dessa natureza, uma vez que são sensíveis às modificações que as práticas de manejo impõem ao solo. Com isso, a estrutura do solo deve ser constantemente monitorada com o fim de constatar a manutenção ou melhora da qualidade do solo (STEFANOSKI et al., 2013).

Do ponto de vista físico, merecem destaque indicadores relacionados a fatores que afetam diretamente o desenvolvimento das plantas, água, oxigênio, temperatura e resistência mecânica ao crescimento das raízes (PEDROTTI & MELLO JÚNIOR, 2009). Assim, diversos indicadores quantitativos têm sido empregados na avaliação da qualidade física do solo, como é o caso da resistência do solo à penetração (RP) (CHERUBIN et al., 2017).

A RP é um atributo físico muito utilizado para a avaliação da qualidade física do solo, pois interfere diretamente no crescimento do sistema radicular e, por consequência, no desenvolvimento e produtividade vegetal (VALADÃO JÚNIOR et al., 2014). Assim, a RP permite inferir sobre a compactação do solo e seus efeitos nos diversos estádios das plantas; além de possuir correlação com outros atributos como densidade do solo e carbono orgânico (TAVARES FILHO et al., 2001). Valores de RP acima de 2,0 MPa são considerados limitantes ao crescimento das raízes da maioria das plantas de interesse agrícola (CORTEZ et al., 2018; TORMENA et al., 1998; SILVA et al., 1994).

Com base no exposto, levanta-se a hipótese de que os componentes vegetais (arbustivo, arbóreo e agrícola) possuem efeito diferente sobre a RP em sistema agroflorestal no semiárido cearense, de modo que, o componente agrícola implica em aumento da RP em comparação com os componentes arbóreo e arbustivo; e os componentes arbóreo e arbustivo proporcionam aporte de carbono orgânico no solo, com consequente redução da densidade do solo e da RP.

Objetiva-se, portanto, avaliar a diferença na RP de um Luvisolo na área de influência de componentes vegetais – arbustivo (*Leucaena leucocephala*); arbóreo (*Poincianera pyramidalis*); e agrícola (*Zea mays*) sob sistema agrossilvipastoril; e em área de regeneração natural na região do semiárido.

Material e Métodos

O trabalho foi conduzido no Centro de Convivência com o Semiárido da Embrapa Caprinos e Ovinos, localizado em Sobral (3° 41' S e 40° 20' W), município inserido no Semiárido Cearense (Figura 1). O clima regional é do tipo BShw' de acordo com a classificação de Köppen (CARVALHO, 2004). A vegetação dominante no local é a Caatinga, composta, principalmente, por árvores semidecíduas e um extrato herbáceo cujo crescimento é anual (CAMPANHA, 2011). O solo do local é classificado como Luvisolo Crômico Órtico típico (SANTOS, 2018).

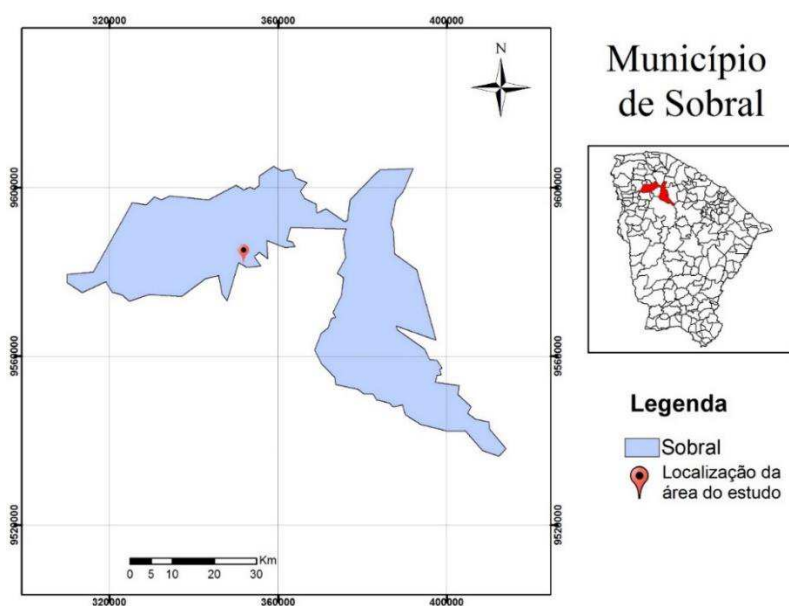


Figura 4. Localização da área de estudo no município de Sobral-CE. Fonte: Nascimento (2016).

A área do sistema agrossilvipastoril (SAF) (Figura 2) engloba oito hectares e foi implantada em 1997. Por ocasião da implantação do SAF, a cobertura vegetal arbórea nativa foi mantida em uma proporção de 22%. O plantio de milho (*Zea mays*) e feijão caupi (*Vigna unguiculata*) foi realizado anualmente, de 1997 a 2006, em faixas com largura de 3 m; com a inserção de leguminosas arbóreo-arbustivas (*Leucaena leucocephala*) nas entrelinhas. A partir de 2007, o feijão não foi mais inserido no sistema, sendo o milho o único

componente agrícola. Salienta-se que, o componente *Leucaena leucocephala* (leucena) é utilizado como banco de proteína na estação seca do ano e fornece material para a adubação verde do componente agrícola. Já o componente arbóreo nativo, não rebaixado, corresponde à catingueira (*Poincianera pyramidalis*). Essa planta praticamente não é consumida pelos animais quando verde, entretanto, é bem aceita por ovinos e caprinos quando seca, contribuindo com a manutenção dos rebanhos no SAF (NASCIMENTO, 2016).

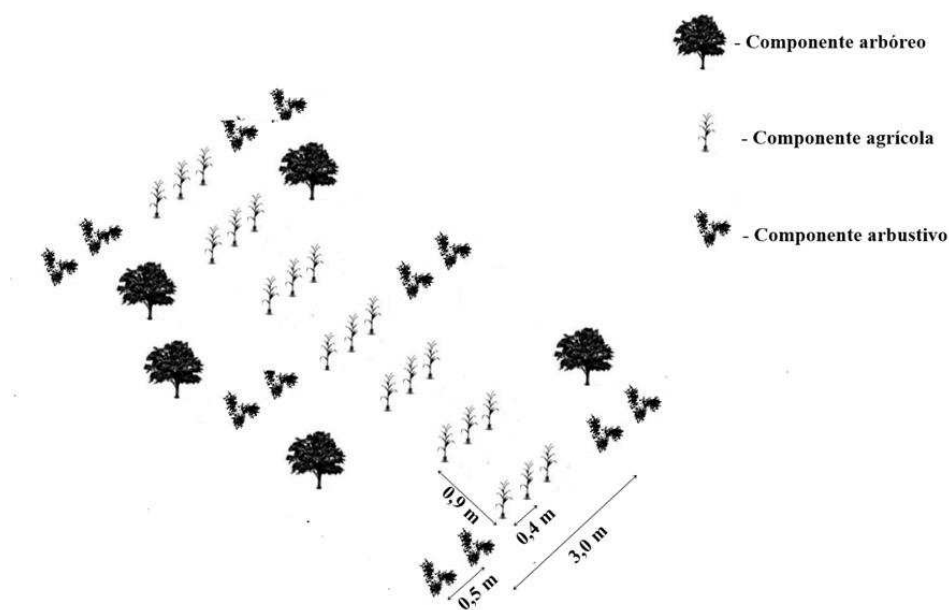


Figura 2. Representação da área do sistema agrossilvipastoril - SAF. Fonte: Nascimento (2016).

O solo foi estudado na zona de influência das seguintes espécies: *Zea mays* (componente agrícola) – importante na produção de alimentos nos SAF no semiárido; *Leucaena leucocephala* (leucena) – componente arbóreo-arbustivo – leguminosa exótica com elevado potencial forrageiro; e *Poincianera pyramidalis* (catingueira) – componente arbóreo nativo – contribui com a ciclagem dos nutrientes no sistema; além de enriquecer o solo por estabelecer simbiose com bactérias diazotróficas e poder ser utilizada, quando seca, como forragem (ARAÚJO FILHO, 2013). O solo de uma área de regeneração natural também foi incluído no experimento. Esta área está em pousio a aproximadamente oito anos, contudo, já foi submetida a queimadas eventuais e recebe

animais no inverno e verão. No local predomina o extrato arbóreo-arbustiva e a classe de solo é a mesma que ocorre no SAF.

Para fins de determinação da resistência do solo à penetração (RP), foram coletadas amostras com estrutura indeformada, conforme Veiga (2011), em anéis volumétricos de 100 cm³, em trincheiras alocadas perpendicularmente às linhas de cultivo, englobando a área de influência de cada espécie avaliada (Figura 3). Os indivíduos representantes de cada um dos componentes foram selecionados de modo aleatório. O mesmo procedimento de coleta foi realizado na área de regeneração natural. Também foram coletadas amostra com estrutura indeformada para obtenção da densidade do solo.

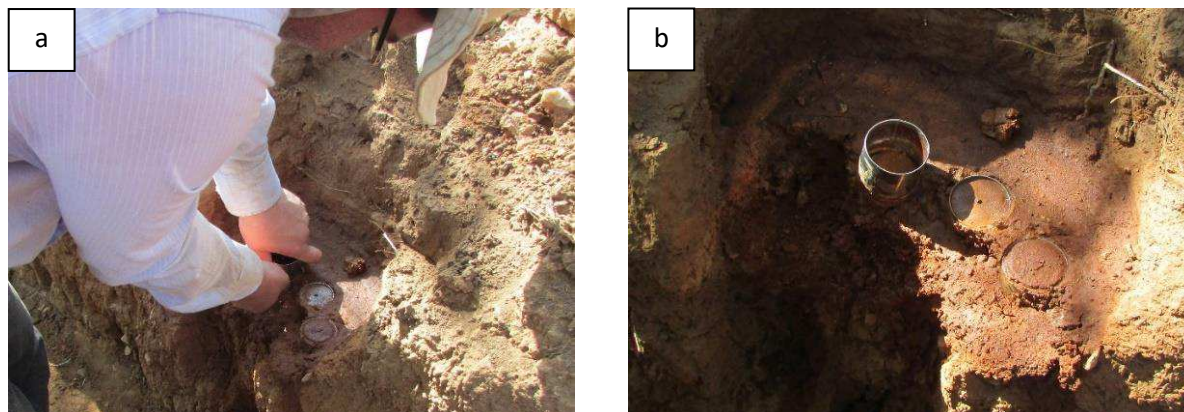


Figura 3. Coleta das amostras de estrutura preservada em anéis volumétricos de 100 cm³ (a) e detalhe do patamar para a retirada vertical ao plano do terreno (b). Fonte: Nascimento (2016).

Com o intuito de verificar se existe diferença na RP e na densidade do solo, em profundidades distintas, na área de influência dos componentes vegetais, as coletas foram realizadas nas profundidades de 0-5; 5-18; 18-25; e 25-41 cm, em quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais. As profundidades de coleta foram definidas de

acordo com a separação dos horizontes feitas na descrição morfológica e a granulometria do solo (Tabela 1). Após coleta, as amostras foram embaladas e direcionadas ao Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal do Ceará, para realização dos ensaios de RP e determinação da densidade do solo.

Tabela 1. Descrição morfológica e granulometria dos quatro perfis estudados

Horizonte (prof. cm)	Estrutura	Areia Silte Argila			Textura	Cor úmida (Munsell)
		-----g kg ⁻¹ -----				
Perfil 1: Componente arbustivo - Luvissole Crômico Órtico típico						
A1 (0-5)	2 M BS	736,5	224,9	38,6	Franco-arenosa	7,5 YR 4/2
A2 (5-18)	1 P-M BS	738,5	210,1	51,4	Franco-arenosa	7,5 YR 5/4
Bt1(18-25)	2 M PR	600,0	191,4	208,6	Franco-argilo arenosa	2,5 YR 5/6
Bt2 (25-41)	2 M PR	540,0	170,4	289,6	Franco-argilo arenosa	10 R 4/8
Bt3 (41-57)	2 P-M PR	561,0	148,8	290,2	Franco-argilo arenosa	2,5 YR 5/3
BC1 (57-67)	3 M-G PR	565,5	177,3	257,2	Franco-argilo arenosa	2,5 YR 7/4
BC2 (67-90)	3 M-G PR	577,0	194,2	228,8	Franco-argilo arenosa	2,5YR 6/1
Perfil 2: Componente arbóreo - Luvissole Crômico Órtico típico						
A1 (0-5)	1 P-M BS	753,0	171,2	75,8	Franco-arenosa	7,5 YR 4/2
A2 (5-18)	1 P-M BS	746,5	180,9	72,6	Franco-arenosa	7,5 YR 5/4
Bt1(18-25)	2 M PR	699,0	186,4	114,6	Franco-argilo-arenosa	2,5 YR 5/6
Bt2 (25-41)	2 M-G PR	622,0	126,6	251,4	Franco-argilo-arenosa	10 R 4/8
Bt3 (41-57)	2 P-M PR	595,0	93,6	311,4	Franco-argilo-arenosa	2,5 YR 5/3
BC1 (57-67)	3 M-G PR	625,5	136,1	238,4	Franco-argilo-arenosa	2,5 YR 6/4
BC2 (67-90)	3 M-G PR	650,0	131,0	219,0	Franco-argilo arenosa	2,5 YR 5/2
Perfil 3: Componente agrícola - Luvissole Crômico Órtico típico						
A1 (0-7)	2 M BS	715,5	211,1	73,4	Franco-arenosa	7,5 YR 3/4
A2 (7-17)	2 P-M BS	672,6	210,0	117,4	Franco-arenosa	7,5 YR 4/4
A3 (17-25)	2 M BS	676,5	235,3	88,2	Franco-argilo-arenosa	5 YR 4/4
Bt1 (25-41)	2 M-G PR	501,0	198,0	301,0	Franco-argilo-arenosa	5 YR 4/6
Bt2 (41-65)	2 M-G PR	593,5	222,7	183,8	Franco-argilo-arenosa	2 YR 3/6
BC (65-85)	3 G PR	652,7	210,7	136,6	Franco-argilo-arenosa	7,5 YR 5/6

Perfil 4: Regeneração natural – Luvissole Crômico ótico típico

A1 (0-5)	1 P BS	726,2	221,9	51,8	Franco-arenosa	5 YR 2,5/2
A2 (5-15)	1 P-M BS	609,4	250,0	51,8	Franco-arenosa	5 YR 3/3
Bt1 (15-25)	1 M-G BS	461,6	287,9	140,6	Franca	5 YR 3/4
Bt2 (25-40)	1 M-G BS	483,1	391,9	250,4	Franca	5 YR 4/6
BC1 (40-60)	1 P BS	620,4	330,0	125,0	Franco-arenosa	5 YR 3/4
BC2 (60-75)	1 P-M BS	710,4	258,8	49,6	Franco-arenosa	7,5 YR 4/4
BC3 (75-85)	1 M-G BS	839,0	138,2	30,8	Areia-franca	7,5 YR 4/4

Estrutura: 1–fraca; 2–moderada; 3–forte; P: pequena, M: média, G: grande; BS: Blocos subangulares, PR: Prismática. Fonte: Adaptado de Nascimento (2016).

Na sequência, a RP foi determinada nas amostras com estrutura preservada com a umidade equilibrada com a tensão de 10kPa (SILVA et al., 1994), utilizando-se um penetrômetro eletrônico estático; integrado a um computador para registro de dados por um *software* específico. O procedimento de obtenção da RP foi realizado conforme descrito em Alencar (2014); e compreendeu três repetições por amostra, sendo 180 leituras por repetição, totalizando 540 leituras. As determinações foram realizadas no entorno do centro de cada amostra; e a RP correspondente à cada unidade experimental foi tomada como sendo igual à média das 540 leituras. Salienta-se que o primeiro e o último centímetro da amostra não foram incluídos na avaliação.

Já a densidade foi determinada pelo método do anel volumétrico, utilizando as amostras com estrutura preservada, coletadas em cilindros de volume conhecido, e secas, a 105°C, até massa constante (BLAKE & HARTGE, 1986).

Também se realizou a determinação do carbono orgânico total (COT). Para tanto, foram coletadas amostras com estrutura deformada em mini trincheiras para as profundidades de 0-5 e 5-18 cm; e por tradagem para as profundidades de 18-25 e 25-41 cm. As coletas foram feitas em quatro repetições. Após coleta, as amostras foram embaladas e direcionadas ao Laboratório de Manejo do Solo e da Água, da Universidade Federal do Ceará, para realização do procedimento analítico.

O COT foi determinado utilizando a metodologia proposta por Yeomans e Bremner (1988), que consiste na oxidação da matéria orgânica, via úmida, com dicromato de potássio, na presença de ácido sulfúrico e com aquecimento externo; com posterior titulação

do excesso de dicromato com sulfato ferroso amoniacal.

O primeiro fator estudado foi composto pelos três componentes vegetais do SAF (*Leucaena leucocephala* – componente arbustivo; *Poincianera pyramidalis* – componente arbóreo e *Zea mays* – componente agrícola); e pela área de regeneração natural. Já o segundo fator correspondeu às quatro profundidades de amostragem (0-5; 5-18; 18-25; e 25-41 cm).

A análise estatística dos dados de RP, densidade do solo e COT foram analisadas considerando o delineamento experimental inteiramente aleatório, em esquema de faixas. Os dados foram comparados pelo teste Scott-Knott, com $\alpha = 0,05$. A normalidade dos dados foi verificada pelo Teste de Shapiro-Wilk. Todo o procedimento estatístico foi realizado utilizando o *software* SISVAR (FERREIRA, 2011).

Resultados e Discussão

No teste F da análise de variância (ANOVA) (Tabela 2) para os teores de carbono orgânico total, observa-se que apresenta diferença significativa apenas para o fator profundidade.

O teor de carbono orgânico total no solo da área de regeneração foi inferior àqueles observados no SAF. Assim, constata-se que o tempo de pousio ao qual a área de regeneração está submetida não foi suficiente para possibilitar a elevação do teor de carbono orgânico total do solo; além da eventual entrada de animais na área, que consomem biomassa vegetal no local. De acordo com Dias (2002), não se pode descartar que o próprio SAF pode possibilitar a manutenção da matéria orgânica a níveis análogos a áreas de floresta nativa.

Tabela 2. Resumo da ANOVA para carbono orgânico total no solo

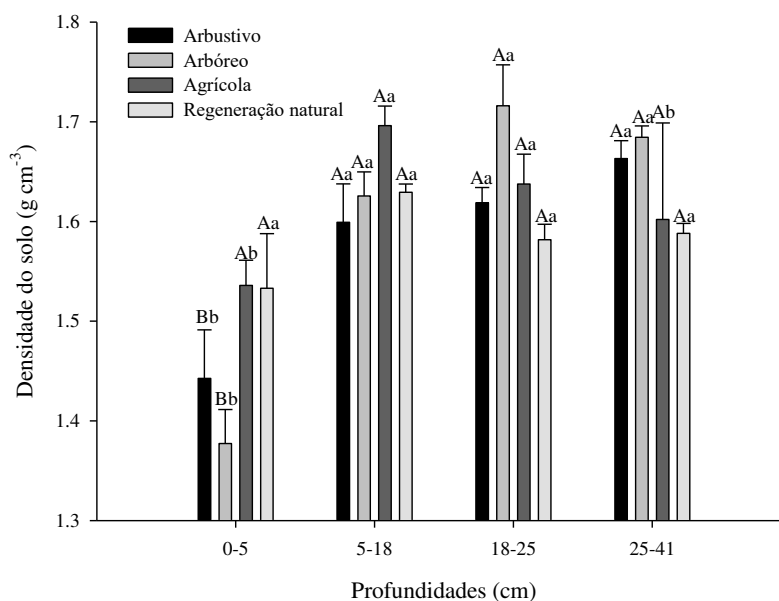
Fonte de Variação	Carbono orgânico total
	Teste F
Componentes vegetais	2,972 ^{ns}
Profundidades	97,258**
Componentes vegetais* Profundidades	1,011 ^{ns}
CV1(%)	44,8
CV2(%)	19,32

** , * e ^{ns}: Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente; CV: Coeficiente de variação.

O teor médio de carbono orgânico no SAF, nas profundidades avaliadas, apresenta-se estatisticamente maior em superfície (17,64 g kg⁻¹), seguido pela profundidade de 5-18 cm (10,02 g kg⁻¹) e pelas profundidades de 18-25 e 25-41 cm (7,74 e 6,52 g kg⁻¹, respectivamente); considerando o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Meneses et al. (2012) encontraram teor de carbono orgânico, na camada superficial do solo, para o bioma caatinga, igual a 9,3 g kg⁻¹. No caso em estudo, o valor de carbono orgânico em superfície é superior, uma vez que, nos SAF, resíduos orgânicos são adicionados ao solo como resto de culturas, remanescentes de podas e serapilheira; incrementando o teor de carbono orgânico do solo. Essa afirmação também é justificada pela reposição de nutrientes com uso de esterco e incorporação de resíduos de leguminosas.

No que diz respeito à densidade do solo, os menores valores são encontrados na profundidade de 0-5 cm, variando de 1,38 a 1,53 g cm⁻³ entre os componentes do SAF e a área de regeneração natural (Figura 4). De modo geral, a densidade aumenta com a profundidade. Isso pode ser associado aos incrementos de argila observados (Tabela 1) e pelo aumento no desenvolvimento dos agregados do solo (blocos subangulares para prismas) (Tabela 1). Vale ressaltar que, a densidade do solo é um dos atributos físicos mais influenciados pela degradação da sua estrutura (KLEIN & LIBARDI, 2002), e que o conhecimento da variável é importante indicador da efetividade das práticas de manejo (FERREIRA, 2010); além de estabelecer relações com outros atributos do solo, como a RP.



Médias seguidas da mesma letra minúscula entre as profundidades e médias seguidas da mesma letra maiúscula dentro da mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Figura 4. Densidade do solo em função das profundidades e componentes vegetais.

Entre os componentes vegetais, observa-se maior variabilidade na densidade do solo na camada de 0-5 cm. Nas camadas superficiais do solo, geralmente, há maior variação nos indicadores de qualidade física devido ao manejo – como o revolvimento do solo por ocasião do preparo da terra – o que pode implicar em variações na geometria porosa do solo e, por consequência, em indicadores como a densidade. Ainda na profundidade de 0-5 cm, os componentes arbóreo e arbustivo resultam em menores valores de densidade do solo (1,38 e 1,44 g cm⁻³, respectivamente) em relação aos demais (Figura 4). Isso ocorre porque a perturbação do solo é mínima no caso desses dois componentes; além de adicionarem biomassa ao solo, aumentando o teor de matéria orgânica e diminuindo a densidade (ROMANECKAS et al., 2009). Estes resultados estão em consonância com os maiores teores de carbono orgânico total encontrados superficialmente.

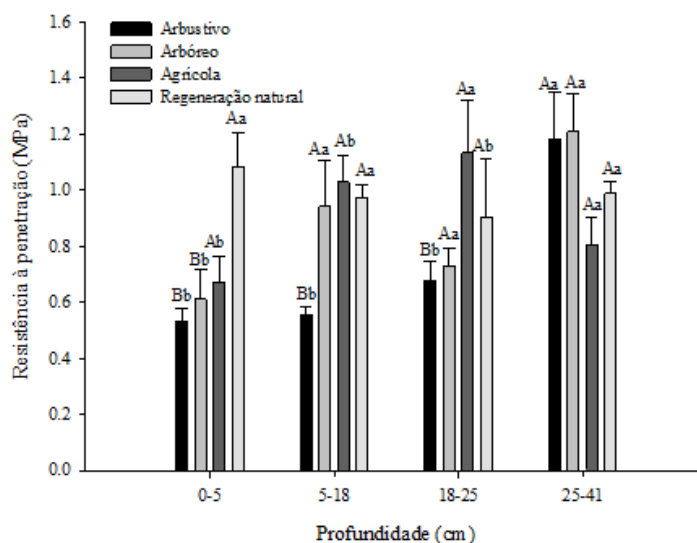
O componente agrícola e a área de regeneração natural resultaram em densidades superiores estatisticamente para a profundidade de 0-5 cm (1,54 e 1,53 g cm⁻³, respectivamente). Para a área agrícola, isso se deve à presença de animais (caprinos e ovinos) no início da época seca, que pastejam os restolhos das leguminosas durante 40 dias. É sabido que o pisoteio animal tende a reduzir a porosidade e aumentar a densidade do solo, favorecendo a compactação (PEI et al., 2008). A

maior densidade na camada superficial na área de regeneração natural também pode ser atribuída ao pisoteio animal, uma vez que os animais também têm acesso ao local.

Para a profundidade de 5-18 cm, apenas o componente agrícola supera o limite crítico de densidade do solo de 1,65 g cm⁻³ para solos com menos de 20% de argila (REINERT et al., 2001); entretanto, os valores não diferem estatisticamente para essa profundidade. Para a profundidade de 18-25 cm, a variável não difere estatisticamente entre os componentes vegetais; variando de 1,58 a 1,72 g cm⁻³. Apenas a área de regeneração natural supera o limite crítico de 1,55 g cm⁻³, para solos com argila entre 20 e 55% (REINERT et al., 2001).

Em síntese, de modo geral, a densidade aumenta com a profundidade. Isso pode ser associado ao incremento de argila na camada subsuperficial (Tabela 1); ao aumento no desenvolvimento dos agregados do solo (blocos subangulares para prismas) (Tabela 2); e à redução dos teores de carbono orgânico.

Para o SAF, na área de influência de todos os componentes vegetais, em todas as profundidades, os valores de RP apresentam-se entre 0,53 e 1,21 MPa (Figura 5); valor abaixo do limite de 2,0 MPa, que é considerado como crítico para o desenvolvimento do sistema radicular da maioria das espécies cultivadas (CORTEZ et al., 2018; TORMENA et al., 1998; SILVA et al., 1994).



Médias seguidas da mesma letra minúscula entre as profundidades e seguidas da mesma letra maiúscula dentro da mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Figura 5. Resistência do solo à penetração, com erros padrão das médias, em função das profundidades e espécies vegetais.

De acordo com a Figura 4, o valor de RP na umidade correspondente à capacidade de campo (conteúdo de água equilibrado com a tensão de 10 kPa), na profundidade de 0-5 cm, apresenta-se maior para a área de regeneração natural. Os maiores valores RP para essa área estão em consonância com os maiores valores de densidade do solo encontrados.

Para os componentes arbustivo e arbóreo, observa-se que há aumento na resistência à penetração com a profundidade. Isso pode estar associado ao aumento da densidade do solo; incremento de argila e redução do teor de carbono orgânico em profundidade. No caso da textura, o solo em estudo apresenta mudança, em profundidade, de franco-arenosa para franco-argilo-arenosa; o que proporciona aumentos na RP devido à maior manifestação da coesão entre as partículas de argila (PEDROTTI et al., 2001).

Observa-se que o RP é fortemente influenciado pela estrutura do solo e o tipo de agregado predominante; e como a área de regeneração natural possui estrutura com agregados do tipo blocos subagulares ao longo de todo o perfil (Tabela 1), a RP, para essa situação, não difere entre as profundidades.

É sabido que o uso agrícola pode causar alterações na RP, que aumenta com a degradação da estrutura do solo (AGUIAR, 2008). Apesar disso, foram encontrados valores abaixo de 2MPa para o solo do componente agrícola; com aumento em profundidade devido aos fatores COT, densidade do solo, textura e tipo de agregado. Isso também pode ser atribuído ao manejo conservacionista do SAF, no qual, embora haja pisoteio dos animais, proporciona adição de matéria orgânica e proteção do solo; culminando em valores aceitáveis de RP mesmo com as alterações advindas do cultivo do milho.

Conclusão

Embora os componentes vegetais (arbustivo, arbóreo e agrícola) possuam efeito diferente sobre a RP em sistema agroflorestal no semiárido cearense, o componente agrícola não implicou em aumento da RP em comparação com os componentes arbóreo e arbustivo.

Os componentes arbóreo e arbustivo proporcionaram aporte de carbono orgânico no

solo, com conseqüente redução da densidade do solo e da RP.

Referências

- ACCIOLY, L. J. O. Degradação do solo e desertificação no nordeste do Brasil. Boletim Informativo, SBCS, v.1, n.25, p.23-25, 2000.
- AGUIAR, M. I. Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais. 89f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2008.
- ALENCAR, T. L. Alterações físicas em um Cambissolo tratado com biofertilizante: indicadores de qualidade e refinamento do método de avaliação pelo Srelativo. 90f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2014.
- ARAÚJO FILHO, J. A. Caatinga: agroecologia versus desertificação. Ciência Hoje, v.30, n.180, p.44-45, 2002.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. ed. Methods of Soil Analysis: Part 1 - Physical and Mineralogical Methods. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. cap.13, p.363-375. 1986.
- BROWN, G. G.; ROMBKE, J.; HOFER, H. Biodiversity and function of soil animals in Brazilian agroforestry systems. In: GAMARODRIGUES, A. C. et al. (Eds). Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável. Campos dos Goytacazes, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006. 365p.
- CAMPANHA, M. M.; ARAÚJO, F. S.; MENEZES, M. O. T.; SILVA, V. M. A.; MEDEIROS, H. R. Estrutura da comunidade vegetal arbóreo-arbustiva de um sistema agrossilvipastoril, em Sobral-CE. Revista Caatinga, v.24, p.94-101, 2011.
- CARVALHO, F. C. Desempenho produtivo de ovelhas crioulas em um sistema de produção agrossilvipastoril, no semi-árido brasileiro. Agrossilvicultura, v.1, n.2, p.81-90, 2004.
- CHERUBIN, M. R.; TORMENA, C. A.; KARLEN, D. L. Soil quality evaluation using the soil management assessment framework (SMAF) in Brazilian oxisols with contrasting texture. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.41, p.1-18, 2017.
- CORTEZ, J. W.; CAVASSINI, V. H.; MOTOMIYA, A. V. A.; ORLANDO, R. C.; VALENTE, I. Q. Spatialization of soil resistance to penetration for localized management by precision

- agriculture tools. Engenharia Agrícola, v.38, n.5, p.690-696, 2018.
- DIAS, H. C. T.; FIGUEIRA, M. D.; SILVEIRA, V.; FONTES, M. A. L.; OLIVEIRA-FILHO, A. D.; SCOLFORO, J. R. S. Variação temporal de nutrientes na serapilheira de um fragmento de floresta estacional semidecidual montana em Lavras, MG. Cerne, v.2, p.1-17, 2002.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia, v.35, p.1039-1042, 2011.
- FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: LIER, Q. J. Física do Solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298p.
- KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.26, p.857-867, 2002.
- KOOHAFKAN, P.; ALTIERI A. M.; GIMENEZ H. E. Green Agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems. International Journal of Agricultural Sustainability, v.10, p.61-75, 2012.
- MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GIONGO, V.; PÉREZ-MARIN, A. M. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. Brazilian Journal of Biology, v.72, p.643-653, 2012.
- NASCIMENTO, C. D. V. do. Contribuições de componentes vegetais na qualidade do solo em sistema agrossilvipastoril no semiárido. 112f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2016.
- NASCIMENTO, C. D. V.; COSTA, M. C. G.; TOMA, R. S.; MOTA, J. C. A.; MENEZES, A. S.; COOPER, M. Soil structure and porous system in response to plant components of an agrosilvopastoral system. Journal of Agricultural Science, v.10, n.5, p.63-78, 2018a.
- NASCIMENTO, C. D. V.; COSTA, M. C. G.; TOMA, R. S.; COOPER, M. Plant components of agroforestry system have different contributions to soil fertility. Journal of Agricultural Science, v.10, n.4, p.381-391, 2018b.
- OLIVEIRA, L. B. D.; FONTES, M. P. F.; RIBEIRO, M. R.; KER, J. C. Morfologia e classificação de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semiárido do Nordeste brasileiro. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v.33, n.5, p.1333-1345, 2009.
- PEDROTTI, A.; MELLO JÚNIOR, A. V. Avanços em Ciência do Solo: a física do solo na produção agrícola e qualidade ambiental. São Cristóvão: Editora da Universidade Federal de Sergipe, 2009. 212p.
- PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M. M.; JUNIOR, D.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, p.521-529, 2001.
- PEI, S.; FU, H.; WAN, C. Changes in soil properties and vegetation following exclosure and grazing in degraded Alxa desert steppe of Inner Mongolia, China. Agriculture, Ecosystems and Environment, v.124, p.33-39, 2008.
- REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Propriedades físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R. et al. (Eds). Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS: Palloti, 2001. p.114-133.
- ROMANECKAS, K.; ROMANECKIENĖ, R.; ŠARAUSKIS, E.; PILIPAVIČIUS, V.; SAKALAUŠKAS, A. The effect of conservation primary and zero tillage on soil bulk density, water content, sugar beet growth and weed infestation. Agronomy Research, v.7, p.73-86, 2009.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5.ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356p.
- SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. Soil Science Society of America Journal, v.58, p.1775-1781, 1994.
- STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, n.12, p.1301-1309, 2013.
- TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, n.3, p.725-730, 2001.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, p.573-581, 1998.

VALADÃO JUNIOR, D. D.; BIACHINI, A.; VALADÃO, F. C. A.; ROSA, R. P. Penetration resistance according to penetration rate, cone base size and different soil conditions. *Bragantia*, v.73, n.2, p.171-177, 2014.

VAN OUDENHOVEN, A. P.; VEERKAMP, C. J.; ALKEMADE, R.; LEEMANS, R. Effects of different

management regimes on soil erosion and surface runoff in semi-arid to sub-humid rangelands. *Journal of Arid Environments*, v.121, p.100-111, 2015.

VEIGA, M. Metodologia para coleta de amostras e análises físicas do solo. Florianópolis: Epagri, 2011.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communication in Soil Science and Plant Analyses*, v.19, p.1467-1476, 1988.

Capítulo 10

CRESCIMENTO DO MILHO (*ZEA MAYS L.*) MEDIANTE INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS COM RELAÇÃO C/N CONSTRASTANTES

Paloma Eleutério Bezerra¹
Ícaro Vasconcelos do Nascimento²
Carla Danielle Vasconcelos do Nascimento³
Mírian Cristina Gomes Costa⁴

¹Mestranda em Zootecnia, UFC, Fortaleza-CE, paloma_eleuterio@hotmail.com

²Doutorando em Ciência do Solo, UFC, Fortaleza-CE, icaro_agro@hotmail.com

³Dra. em Ciência do Solo, UFC, carla.danielle.v@hotmail.com

⁴Dra. Profa. Associada, UFC, Fortaleza-CE, mirian.costa@ufc.br

Introdução

Com a crescente preocupação com o meio ambiente, tem-se intensificado a busca por alternativas de utilização de resíduos, como maneira de mitigar os efeitos danosos que estes acarretam quando descartados indevidamente. Uma opção que vem ganhando força é utilização de resíduos orgânicos na agricultura, que além de dar um novo destino a um material que até então sem utilidade, promove melhorias significantes nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, influenciando, por conseguinte, a produtividade das culturas de interesse econômico, como o milho, cereal consumido em escala mundial (TEJADA et al., 2008). A utilização de resíduos orgânicos também constitui importante ferramenta na recuperação de solos degradados (GÓMEZ-SAGASTI et al., 2018; SCOTTI et al., 2015).

Por constituírem um produto de elevada carga biológica, os resíduos orgânicos demandam um adequado manejo, para que se extraia todo seu potencial em promover melhorias ao solo, com o mínimo de impacto ao ambiente, portanto, é imprescindível que tais materiais sejam manuseados e tratados adequadamente, para que assim aproveite-se os inúmeros benefícios que acarretam, sem causar efeitos deletérios ao ambiente (BERTOCINI, 2014; PASTOR & HERNÁNDEZ, 2012).

Técnicas de recuperação de solos degradados por meio da fertilização orgânica podem viabilizar o retorno às condições de equilíbrio ecológico que venham reduzir

significativamente ou, até mesmo, eliminar a utilização de adubos minerais no sistema produtivo. A utilização de composto orgânico tem sido uma das alternativas de adubação do solo e nutrição de plantas mais utilizadas no meio rural em substituição aos adubos minerais (SOUZA, 1998).

Outro fator importante é que, devido à atividade biológica, o solo passa a conter, através da matéria orgânica, dois importantes elementos não existentes no material de origem do solo: carbono e nitrogênio (SANTOS, 2007), assim, na utilização de resíduos orgânicos na agricultura, deve ser levado em consideração, dentre diversos aspectos, a relação C/N do material, visto que esta rege toda a dinâmica da decomposição da matéria orgânica e, conseqüentemente, a disponibilização de nutrientes às plantas (SILGRAM & SHEPHERD, 1999).

Materiais com baixa relação C/N implicam num rápido suprimento da demanda por nitrogênio dos microrganismos decompositores, o que se traduz numa também rápida disponibilização do excesso do nutriente na solução do solo, podendo este ser prontamente absorvido pelas plantas. Já materiais com alta relação C/N favorecem a imobilização do nitrogênio, ou seja, a redução no nutriente na biomassa microbiana, que retira N do solo como forma de balancear a falta do elemento no resíduo em questão, tornando-o indisponível às plantas (HANEY et al., 2012; MOREIRA & SIQUEIRA, 2002).

O milho (*Zea mays* L.), em função de seu potencial produtivo, composição química e valor nutritivo, constitui-se em um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no planeta (FANCELLI & DOURADO NETO, 1996). Devido à grande exigência de nitrogênio, essa cultura é altamente responsiva a esse fertilizante, apresentando incrementos em várias características que influenciam a produção final (DO CARMO et al., 2012).

Considerando as informações supracitadas, e partindo-se da hipótese de que ao adicionar-se ao solo um resíduo orgânico de baixa relação C/N a cultura do milho tem seu

desenvolvimento beneficiado em relação à aplicação de um resíduo de alta relação C/N, objetiva-se com este trabalho avaliar o desenvolvimento da cultura do milho mediante a incorporação ao solo de resíduos orgânicos com relação C/N contrastante.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em ambiente protegido, em área da Universidade Federal do Ceará, no município de Fortaleza – CE (Figura 1) localizada a 3°45'47" de latitude sul e 38°31'23" de longitude oeste, a uma altitude média de 47 metros.



Figura 1. Local de realização do experimento. Fonte: adaptado de IBGE (2009); Google Earth (2020).

O solo utilizado no experimento é proveniente do município de Irauçuba – CE, mais precisamente no distrito de Juá, em uma área visivelmente degradada, apresentando erosão severa na forma de voçorocas. Foram coletadas amostras deformadas, na camada de 0-20cm, de um Luvissole Háplico (SANTOS, 2018).

Procedeu-se análises físicas e químicas do solo em estudo, para sua caracterização. As análises foram realizadas no Laboratório de Manejo do Solo do Departamento de Ciências do Solo – UFC, seguindo os procedimentos analíticos descritos em EMBRAPA (1997) (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Caracterização química do solo utilizado no experimento

Prof.	pH (H ₂ O)	N	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	MO
cm	1:2,5	g kg ⁻¹	- mg kg ⁻¹ -		----- cmol _c kg ⁻¹ -----				g kg ⁻¹
0-20	5,4	0,6	4,13	0,28	2,6	2,4	0,5	5,78	7,3

Prof. = Profundidade; N (micro-Kjeldhal); P, K= (HCl 0,05 mol L+ H₂SO₄ 0,025 mol L); Al, Ca, Mg= (KCL 1 mol L); SB= Soma de bases; MO= Matéria orgânica.

Tabela 2. Caracterização física do solo utilizado no experimento

Prof.	Areia	Silte	Argila	Dp
cm		----- g kg ⁻¹ -----		g cm ⁻³
0-20	839,0	91,0	70,0	2,86

Granulometria = Método da pipeta; densidade de partículas.

Para fins de avaliar o desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays* L.) mediante a incorporação, ao solo, de resíduos orgânicos com relação C/N contrastante, considerou-se os seguintes tratamentos: T0, correspondente ao solo sem incorporação de resíduo orgânico; T1, correspondente ao solo com incorporação de bagana de carnaúba (*Copernicia prunifera*) (Alta relação C/N), produzida na Universidade Federal do Ceará; e T2, correspondente ao solo com incorporação de composto orgânico oriundo de carcaça de ovinos e caprinos, obtido em parceria com Embrapa Caprinos (Baixa relação C/N). A quantidade de resíduo incorporado foi baseada nas recomendações de adubação para a cultura do milho, sendo 10,7 g de bagana por vaso e 14,9 g de composto animal por vaso (COELHO, 2006).

Realizou-se a semeadura de três sementes por vaso (5L), com massa de 3kg de solo, a uma profundidade de 3cm. Esse procedimento ocorreu para garantir a emergência de pelo menos uma plântula. Uma semana após a emergência das plântulas, foi feito o desbaste, preservando-se uma por vaso. As plantas foram irrigadas diariamente, com quantidade de água próxima à capacidade de campo do solo.

As análises de crescimento da planta foram realizadas segundo Peixoto et al. (2011), e foram consideradas as seguintes variáveis: altura das plantas (cm); massa seca da parte aérea (g); massa seca das raízes (g); e relação

raiz/parte aérea, todas avaliadas aos 30 dias após a emergência da cultura.

A altura das plantas foi obtida por intermédio de régua graduada em centímetros ao final do experimento.

Após período de avaliação de 30 dias, as plantas foram cortadas rente ao solo para a coleta da parte aérea. Logo em seguida, para coleta das raízes, procedeu-se a retirada de todo o solo, colocando-se em lona plástica para remoção de todas as raízes que, posteriormente, foram lavadas com água destilada. O material vegetal foi colocado em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingir massa constante, sendo posteriormente pesado em balança analítica para quantificar a massa seca.

Os dados experimentais foram analisados considerando o delineamento inteiramente casualizado, para cada variável considerada, com três tratamentos (T0, T1 e T2) e quatro repetições, totalizando doze unidades experimentais. Foram aplicados os testes de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade, o F para a análise de variância e o de Tukey para a comparação de médias, todos a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Nos testes da análise de variância (Tabela 1) para os tratamentos utilizados, observa-se diferenças significativas para T1 em altura e massa seca de raízes e para T2, em todas as variáveis, exceto, relação raiz/parte aérea.

Tabela 1. Resultados do experimento

Tratamento	Variáveis			
	Altura (cm)	MSPA* (g)	MSR** (g)	Relação raiz/parte aérea
T0	9.00 a	0.91 a	0.94 a	1.03 a
T1	11.32 ab	1.96 a	2.12 ab	1.06 a
T2	14.17 b	3.74 b	3.50 b	0.90 a
Coefficiente de variação (%)	22.60	36.57	46.65	13.73

*MSPA = Massa seca da parte aérea; **MSR = Massa seca das raízes.

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, em cada variável analisada, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No que diz respeito à altura das plantas, o tratamento com resíduo orgânico de baixa relação C/N (T2) apresenta média estatisticamente distinta e superior à média do tratamento sem incorporação de resíduo (T0), mostrando que a adubação com o resíduo proporciona melhor desenvolvimento da cultura. Entretanto, quando comparado ao tratamento com resíduo orgânico de alta relação C/N (T1), o tratamento T2 não difere estatisticamente, o que indica que ambos os resíduos influenciam a variável altura de maneira igualitária. Já o tratamento T1 também não difere estatisticamente do tratamento T0, mostrando que o composto de alta relação C/N desencadeia uma resposta similar ao tratamento sem utilização de resíduo orgânico.

Naderi e Gadhiri (2010), constataram maior crescimento inicial do milho, ao incrementar ao solo, esterco e resíduos urbanos, estes, ricos em nitrogênio. Os resultados de tal estudo revelaram que as fontes orgânicas utilizadas podem servir como potenciais alternativas ao uso de fertilizantes químicos.

Na variável massa seca da parte aérea, a média do tratamento T2 é estatisticamente distinta e superior à média dos demais, explicitando que o composto de baixa relação C/N garante a cultura do milho suprimento de nutrientes suficientes para uma maior produção de parte aérea em relação às outras situações consideradas. Resultados similares foram observados por Roy et al. (2010), onde obtiveram maior incremento de biomassa à parte aérea do milho, ao utilizar tratamento com vermicomposto, material de baixa relação C/N.

Já a variável massa seca das raízes, apresenta comportamento similar à variável altura, visto que, o tratamento T2 influencia o desenvolvimento da cultura do milho com a

mesma intensidade que o tratamento T1, pois as médias para a variável são estatisticamente iguais para esses tratamentos.

Rodrigues et al. (2011), obtiveram resultados similares, quando verificaram incremento na biomassa seca do milho adubado com composto orgânico, resíduo de menor relação C/N quando comparado à bagana de carnaúba, por exemplo.

A razão raiz/parte aérea de plantas pode ser indicativa de especialização a diferentes ambientes. Maior razão raiz/parte aérea pode indicar que as plantas são mais capazes de se estabelecer em ambientes secos (GARWOOD, 1996). Fetene e Feleke (2001) mencionam que, o desenvolvimento do sistema radicular com razão raiz/parte aérea elevada sugere tolerância ao estresse hídrico, pois permite maior absorção de água e nutrientes. No caso deste experimento, os valores da relação não diferem estatisticamente, logo, a adição dos resíduos orgânicos não confere à cultura do milho maiores valores de relação parte aérea, ou seja, a planta não se torna mais tolerante ao estresse hídrico.

Em todas as variáveis observadas, nota-se uma tendência do tratamento T2 em ser superior aos demais quanto ao desenvolvimento da cultura do milho.

Vale ressaltar que, mesmo utilizando um solo degradado como substrato, a incorporação de resíduos orgânicos torna viável o desenvolvimento da cultura do milho, em ambas as situações consideradas.

Conclusão

O uso do composto animal (baixa relação C/N) foi mais eficiente a curto prazo que a bagana de carnaúba (alta relação C/N), visto que o primeiro apresentou diferença

significativa em relação ao tratamento controle para as variáveis altura, massa seca da parte aérea e massa seca de raiz, enquanto o segundo, obteve diferença significativa apenas para os dados altura e massa seca de raiz.

A variável relação raiz/parte aérea não obteve resultados significantes, mediante a incorporação dos resíduos.

Ao adicionar ao solo um resíduo orgânico de baixa relação C/N, a cultura do milho apresentou tendência a ter seu desenvolvimento beneficiado em relação à aplicação de um resíduo de alta relação C/N.

Referências

BERTONCINI, E. I. Tratamento, uso e impacto de resíduos urbanos e agroindustriais na agricultura. *Pesquisa e Tecnologia*, v.11, n.1, p.1-6, 2014.

COELHO, A. M. Nutrição e adubação do milho. *Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica*, 2006.

DO CARMO, M. S.; CRUZ, S. C. S.; DE SOUZA, E. J.; CAMPOS, L. F. C.; MACHADO, C. G. Doses e fontes de nitrogênio no desenvolvimento e produtividade da cultura de milho doce (*Zea mays convar. saccharata var. rugosa*). *Bioscience Journal*, v.28, n.1, p.1-9, 2012.

FETENE, M.; FELEKE, Y. Growth and photosynthesis of seedlings of four tree species from a dry tropical afro-montane forest. *Journal of Tropical Ecology*, v.17, n.2, p.269-283, 2001.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Milho: fisiologia da produção. Piracicaba: ESALQ/USP-POTAFÓS, 1996. 1-29p.

GARWOOD, N. C. Functional morphology of tropical tree seedlings. In: *The Ecology of Tropical Forest tree Seedlings*. (Ed.) SWAINE, M. D. UNESCO and Parthenon Publishing Group, Paris. p.59-129, 1996.

GÓMEZ-SAGASTI, M. T.; HERNÁNDEZ, A.; ARTETXE, U.; GARBISU, C.; BECERRIL, J. M. How valuable are organic amendments as tools for the phytomanagement of degraded soils? The knowns, known unknowns, and unknowns. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v.68, n.2, p.1-16, 2018.

HANEY, R. L.; FRANZLUEBBERS, A. J.; JIN, V. L.; JOHNSON, M. V.; HANEY, E. B.; WHITE, M. J.; HARMEL, R. D. Soil organic C: N vs. water-extractable organic C:N. *ARS USDA Submissions*, v.269, n.2, p.269, 2012.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: Editora UFLA, 2002. 626p.

NADERI, R.; GHADIRI, H. Urban waste compost, manure and nitrogen fertilizer effects on the initial growth of corn (*Zea mays L.*). *Desert (Biaban)*, v.15, n.2, p.159-165, 2010.

PASTOR, J.; HERNÁNDEZ, A. J. Heavy metals, salts and organic residues in old solid urban waste landfills and surface waters in their discharge areas: Determinants for restoring their impact. *Journal of Environmental Management*, v.95, p.42-49, 2012.

PEIXOTO, C. P.; CRUZ, T. V.; PEIXOTO, M. F. S. Análise quantitativa do crescimento de plantas: Conceitos e Prática. *Enciclopédia Biosfera*, v.13, n.7, p.51-76, 2011.

RODRIGUES, P. N.; ROLIM, M. M.; BEZERRA NETO, E.; COSTA, R. N.; PEDROSA, E. M.; OLIVEIRA, V. S. Efeito do composto orgânico e compactação do solo no milho e nutrientes do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.8, p.788-793, 2011.

ROY, S.; ARUNACHALAM, K.; DUTTA, B. K.; ARUNACHALAM, A. Effect of organic amendments of soil on growth and productivity of three common crops viz. *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris* and *Abelmoschus esculentus*. *Applied Soil Ecology*, v.45, n.2, p.78-84, 2010.

SANTOS, E. Carbono, nitrogênio e relação C/N em gleissolo e cambissolo sob diferentes tipologias vegetais na área de ocorrência da floresta ombrófila densa, Antonina-PR. 104f. (Mestrado em Ciências do Solo). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5.ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356p.

SCOTTI, R.; BONANOMI, G.; SCENZA, R.; ZOINA, A.; RAO, M. A. Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agricultural systems. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v.15, n.2, p.333-352, 2015.

SILGRAM, M.; SHEPHERD, M. A. The effects of cultivation on soil nitrogen mineralization. *Advance Agronomy*, v.65, p.267- 311, 1999.

SOUZA, J. L. DE. *Agricultura Orgânica – tecnologias para a produção de alimentos saudáveis*. v.1, Domingos Martins: EMCAPA, 1998, 179p.

TEJADA, M.; GONZALEZ, J. L.; GARCÍA-MARTÍNEZ, A. M.; PARRADO, J. Effects of different green manures on soil biological

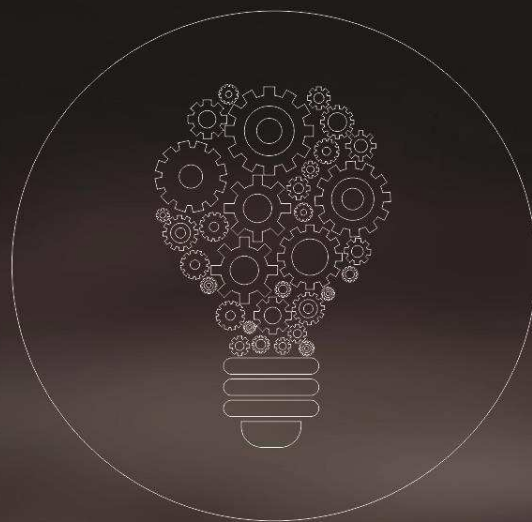
properties and maize yield. *Bioresource Technology*, v.99, p.1758-1767, 2008.

Curriculum dos Organizadores

Paulo Roberto Megna Francisco: Pós Doutor em Ciência do Solo pela UFPB. Doutor em Engenharia Agrícola – Irrigação e Drenagem pela UFCG. Mestre em Manejo de Solo e Água pelo CCA/UFPB. Graduado pela UNESP como Tecnólogo Agrícola com especialização em Mecanização. Graduando em Engenharia Agrícola pela UFCG. Participa de Projetos de Pesquisa e Extensão juntamente com a EMBRAPA-Algodão, UFPB-Campus João Pessoa, UFCG-Campus Sumé, IFPB-Campus Campina Grande e Campus Picuí. Ministrou as disciplinas de Mecanização Agrícola, Máquinas e Motores Agrozootécnicos e Máquinas e Motores Agrícolas no CCA/UFPB. Atualmente presta consultoria para o INCRA/PB na realização de PDA's. Consultor Ad hoc do CONFEA como organizador do Congresso Técnico Científico da Engenharia e Agronomia – CONTECC.

Paulo da Costa Medeiros: Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba - Campus II (1995), mestrado em Pós-Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba - Campus II (1997) e doutorado em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande (2011). Atualmente é Professor Adjunto IV da Universidade Federal de Campina Grande. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Engenharia Hidráulica. Atuando principalmente nos temas Transformada de Wavelet Contínua, Hidrograma, gestão de recursos hídricos.

George do Nascimento Ribeiro: Possui graduação em Agronomia (2003) e mestrado em Manejo de Solo e Água (2006) pela Universidade Federal da Paraíba, doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (2014) e Pós-doutorado em Fontes Alternativas de Energias pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da UFCG (LABFREN/UFCG). Atualmente é professor da Universidade Federal de Campina Grande/CDSA/Campus Sumé. Tem experiência nas áreas de Geociências, com ênfase em Sensoriamento Remoto (recursos naturais, geotecnologias e mapeamento temático) e em Energias Renováveis (produção de hidrogênio como fonte de combustível para fuel cell e energia solar - placas fotovoltaicas).



Portal Tecnológico
de Divulgação Científica
Eventos, Pesquisas e Inovação



978-65-00-14056-9