



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS E
NUCLEARES**

MONALISA BARBOSA DA COSTA SANTOS

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLO E PLANTA E FIXAÇÃO BIOLÓGICA
DE NITROGÊNIO EM CANA-DE-AÇÚCAR EM MUNICÍPIOS DO SEMIÁRIDO
PERNAMBUCANO**

Recife

2018

MONALISA BARBOSA DA COSTA SANTOS

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLO E PLANTA E FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE
NITROGÊNIO EM CANA-DE-AÇÚCAR EM MUNICÍPIOS DO SEMIÁRIDO
PERNAMBUCANO**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em
Tecnologias Energéticas e Nucleares para obtenção
do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Aplicações de Radioisótopos
na indústria e Medicina.

Orientador: Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barreto Sampaio

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Dolores Santiago de Freitas

Recife

2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

S237c Santos, Monalisa Barbosa da Costa.
Características químicas de solo e planta e fixação biológica de nitrogênio em cana-de-açúcar em municípios do semiárido pernambucano/ Monalisa Barbosa da Costa Santos. – Recife, 2018.
96f., il., figs. e tabs.

Orientador: Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barreto Sampaio.

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Dolores Santiago de Freitas.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares,
2018.

Inclui Referências, Apêndices e Anexo.

1. Energia Nuclear. 2. Abundância natural de ¹⁵N. 3. Regiões fisiográficas. 4. Nutrientes. 5. Redução do acetileno. 6. Variedades de cana. I. Sampaio, Everardo Valadares de Sá Barreto (Orientador). II. Freitas, Ana Dolores Santiago de (Coorientadora). III. Título.

621.4837 CDD (22.ed)

UFPE/BCTG-2019/51

MONALISA BARBOSA DA COSTA SANTOS

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLO E PLANTA E FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE
NITROGÊNIO EM CANA-DE-AÇÚCAR EM MUNICÍPIOS DO SEMIÁRIDO
PERNAMBUCANO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Ciências.

Aprovada em: 13/12/2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barreto Sampaio (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Emmanuel Damilano Dutra (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a Carolina Etienne de Rosália e Silva Santos (Examinadora Externa)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Vinícius Santos Gomes da Silva (Examinador Externo) Instituto Federal de
Ciência e Tecnologia – Campus Vitória de Santo Antão

Prof. Dr. Dário Costa Primo (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho a minha bisavó Ana Minervina dos Prazeres (*in memoriam*), que sempre soube que eu seria Doutora um dia e almejou muito ver isso, e aos meus filhos Catarina, Renato Filho e Luís para que entendam que a vida é uma eterna descoberta e aprendizado.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pelo dom da vida e por ter me dado a oportunidade de realizar este trabalho.

A Maria Santíssima por sempre conduzir meus passos para bons caminhos, me dar serenidade e graça para superar as tribulações.

Aos meus filhos Catarina, Renatinho e Luís que são a minha inspiração para busca do conhecimento, por alegrarem meus dias com seus sorrisos, alegria e amor. E ‘Miguel Maria’ por interceder por mim junto a Deus.

Ao meu marido Renato Santos por ser meu professor particular, sempre me ajudando, me orientando e contribuindo para minha formação, por sua compreensão, amor e incentivos diários e por me dar o suporte para realizar o trabalho.

Ao meu orientador Everardo Sampaio por estar sempre disponível, me orientando com sua paciência e sabedoria, por sua compreensão e ensinamentos.

A minha coorientadora Ana Dolores Santiago de Freitas por sua disponibilidade e incentivo.

Aos meus pais Joseane e Manoel por sempre me apoiarem e me ajudarem, na caminhada da vida me ensinando a ter ética e a não desistir dos meus sonhos, e pelo carinho e cuidados comigo e meus filhos, a meu irmão Thomaz Cezar ‘my brother’ por dividir comigo muitas fases de aprendizado e por sempre acreditar que eu era capaz. A minha sogra Vania Lemos por sempre me apoiar e ajudar como pôde.

Ao Programa de Pós Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares – PROTEN-DEN-UFPE e a FACEPE, pela concessão da bolsa.

Ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Pernambuco – *Campus* Vitória de Santo Antão, por me dar suporte para realizar os experimentos e coleta e aos muitos estagiários que passaram ao longo do doutorado no laboratório de solos do IFPE- *Campus* Vitória de Santo Antão: Nayara Rose, Maria Alves, Larissa Graziela, José de Arruda, Victor Guedes, Diego Moura, Wellison, José Lucas, Rafaela Muniz, Raul, Anderson, Gabrielle, Lucas, Isabel, Adriene, Evaldo, Eronildo, Lluan, Cleybson, Ivanderson, Laila, Marcio, Gabriela, Hewelly, Ebersson, Sandra, Mycaela e a técnica do Laboratório Lyllian Brunelly que tanto contribuíram para realização de

análises, montagem de experimento, coleta em campo. E por fazer dos meus dias mais leves e alegres.

As minhas ajudantes e cuidadoras dos meus filhos, por deixarem minha casa em ordem e meus filhos bem guardados, me deixando segura por cuidar deles tão bem, Leca, Edilza, e a “quebra galho” Ana.

Aos meus amigos do grupo de oração Cenáculo do Amor por compreenderem minha ausência e a Comunidade Servos de Maria do Coração de Jesus, por manter acesa minha fé em Deus e na vida, sempre rezando por mim, unidos em cada oração e em cada Comunhão.

As minhas amigas mais que especiais Ladyodeyse e Suellen Tarcyla por suas orações e confiança, que me ajudam a crescer profissional e espiritualmente.

As minhas companheiras Barbára Laine, Edilândia e Natache por compartilharem comigo as aventuras da maternidade somada à vida acadêmica, por todo apoio, compreensão e incentivo.

Aos muitos amigos do grupo de pesquisa Energia de Biomassa em especial a Reginaldo Neto, aos amigos que compartilharam o aprendizado em varias disciplinas Fernando, Benaia, Alice, pelas palavras de incentivo, e a tantos outros amigos que conquistei ao longo do curso.

Aos técnicos do Laboratório de Biomassa DEN-UFPE, Claudenice, Gilberto e Pedrinho por sua disponibilidade e ajuda quando necessário.

Aos componentes do comitê de acompanhamento do doutorado, Professor Rômulo Menezes, Dário Primo, Eric Xavier, Professor Emmanuel Damilano, pela disponibilidade e contribuições ao longo do trabalho.

A todos os funcionários da secretaria que sempre foram muito solícitos e atenciosos, Kalidja e Nilvânia. E aos demais funcionários que se tornaram amigos: Josenildo, Zacarias, Lia.

Enfim, a todos que me apoiaram direta ou indiretamente nesta fase da vida.

RESUMO

A cana-de-açúcar tem grande destaque no mundo e o Brasil é o maior produtor mundial. No Nordeste, Pernambuco é o segundo maior produtor e a produção está concentrada na faixa costeira úmida, mas há pequenos plantios na zona semiárida. A cana pode fixar nitrogênio simbioticamente, mas as quantidades fixadas variam muito e parecem ser maiores nas variedades mais antigas, desenvolvidas com menor adubação nitrogenada. Na zona semiárida, há poucas pesquisas com cana e cultivo de variedades antigas. O objetivo deste trabalho foi avaliar características de solo e planta e a fixação de nitrogênio em variedades de cana cultivadas no Semiárido. Amostras de solo e planta foram coletadas em plantios de diversos municípios do Agreste e Sertão, e a fixação foi determinada pela técnica de abundância natural de ^{15}N . Metodologias de medida da atividade da nitrogenase foram avaliadas. Fósforo, enxofre e potássio foram os nutrientes mais limitantes para o cultivo da cana. Os sinais isotópicos das plantas de referência variaram bastante entre municípios ($\delta\text{N}^{15} = 1,6$ a $15,8\text{‰}$), tendendo a diminuir com o aumento na pluviosidade. Os cultivos no Agreste fixaram mais nitrogênio que no Sertão, mas em ambos houve fixação em alguns municípios e em outros não. Dentre as variedades destacou-se a SP791011, fixando 41% do N das plantas (Limoeiro) e CB 45-3, com 30% (Panelas), mas que não fixaram em outros municípios. Caiana fixou tanto no Agreste (Caruaru, 15%) quanto no Sertão (Araripina, 12%) e Fita fixou em Petrolina, mas não em Santa Maria da Boa Vista. As causas dessa variação não foram determinadas, mas a fixação tendeu a aumentar com maiores concentrações de P e K no solo. A maior atividade da nitrogenase é nas raízes; nas folhas é na F+2, sendo necessário pelo menos quatro delas para avaliar com erro de 20%.

Palavras-chave: Abundância natural ^{15}N . Regiões fisiográficas. Nutrientes. Redução do de acetileno. Variedades de cana.

ABSTRACT

Sugarcane is a major crop in the world and Brazil is the largest producer. In the Northeastern region, Pernambuco is the second largest producer and the production is concentrated in the humid coastal zone, but small planted areas occur in the semiarid zone. Sugarcane can symbiotically fix nitrogen, but the fixed amounts vary much and seem to be higher in older varieties, developed with lower nitrogen fertilization. Research is scarce in the semiarid zone, where older varieties predominate. The objective of this work was to evaluate soil and plant characteristics and nitrogen fixation in sugarcane varieties cultivated in the semiarid region. Samples were collected in fields in several municipalities in the Agreste and Sertão zones and their fixation was determined by the ^{15}N natural abundance technique. Methodologies to measure nitrogenase activity were evaluated. Phosphorus, sulfur and potassium were the most limiting nutrients for the cane. The isotopic signals of the reference plants varied among the municipalities ($\delta\text{N}^{15} = 1.6$ to 15.8%), tending to decrease with increasing rainfall. The sugarcane varieties fixed more nitrogen in the Agreste than in the Sertão zone, but, in both zones, fixation occurred in some municipalities and did not in others. Among the varieties, SP791011 stood out fixing 41% of plant N in Limoeiro and CB 45-3 fixing 30% in Panelas, both without fixation in other municipalities. Caiana fixed both in Agreste (Caruaru, 15%) and Sertão (Araripina, 12%) and Fita fixed in Petrolina but not in Santa Maria da Boa Vista. The causes of these variations were not determined, but fixation tended to be higher where the soil had higher P and K concentrations. The highest nitrogenase activity occurred in the roots; in the leaves it was highest in F+2, at least four of them being necessary to evaluate with a 20% error.

Keywords: Natural abundance of ^{15}N . Physiographic regions. Nutrients. Acetylene reduction. Varieties of sugar cane.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Mapa do estado de Pernambuco com os municípios amostrados com as respectivas classes de solo.....	33
Figura 2 –	Correlação entre os sinais $\delta^{15}\text{N}$ (‰) nas plantas referência e a precipitação pluviométrica média anual (mm) dos últimos 10 anos.....	72
Figura 3 –	Atividade da nitrogenase (AN) em diferentes folhas de cana-de-açúcar.....	79
Figura 4 –	Número de amostras simples (n) em função limite de variação em relação à média (f) e utilizado para compor uma amostra composta de folhas para determinação da atividade da nitrogenase (AN) em cana-de-açúcar.....	80
Figura 5 –	Atividade relativa da nitrogenase (ARN) em folha +1 de cana-de-açúcar durante ciclo de cana-planta.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Histórico das áreas de coleta em canaviais de municípios do semiárido.....	33
Tabela 2 –	Médias e desvios padrões de pH (H ₂ O), Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺ , Al ³⁺ , (H+Al), COT e P, em camadas de solos cultivados com cana-de-açúcar, em municípios do Agreste de Pernambuco.....	41
Tabela 3 –	Médias e desvios padrões da Capacidade de Troca de Cátions efetiva (CTCe), CTC potencial (T), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m) e potencial de sódio total (PST) estimadas a partir da análise de solos, nos municípios do Agreste Pernambucano.....	43
Tabela 4 –	Médias e desvios padrões de pH (H ₂ O), Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺ , Al ³⁺ , (H+Al), COT e P, nas camadas de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 e 0,4-0,5 m, nos municípios do Sertão de Pernambuco.....	56
Tabela 5 –	Médias e desvios padrões das variáveis Capacidade de Troca de Cátions efetiva (CTCe), CTC potencial (T), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m), percentual de sódio trocável (PST) e matéria orgânica (MOS) estimadas a partir da análise de solo.....	57
Tabela 6 –	Interpretação dos atributos químicos de solos cultivados com cana de açúcar, segundo os níveis de fertilidade Alvarez et al. (1999), no Agreste de pernambucano.....	61
Tabela 7 –	Interpretação dos atributos químicos de solos cultivados com cana-de-açúcar, segundo Alvarez et al. (1999), no Sertão pernambucano.....	63
Tabela 8 –	Médias, desvio padrões e faixa de suficiência dos teores de P, K, Ca, Mg, S, Fe e Mo em folha +1 de cana-de-açúcar em municípios do Agreste de Pernambuco.....	68
Tabela 9 –	Médias, desvio padrões e faixa de suficiência dos teores de P, K, Ca, Mg, S, Fe e Mo em folha +1 de cana-de-açúcar, em municípios do Sertão de Pernambuco.....	71
Tabela 10 –	Valores de δN ¹⁵ em cana-de-açúcar e espécies de referência em municípios do Agreste de Pernambuco.....	73

Tabela 11 –	Valores de δN^{15} em cana-de-açúcar e espécies de referência em municípios do Sertão de Pernambuco.....	74
Tabela 12 –	Proporção de N nas canas derivado da fixação biológica (%N _{dda}) e quantidade total e derivada da fixação em canaviais de diferentes variedades, nos municípios do Semiárido pernambucano.....	75
Tabela 13 –	Coeficientes de correlação entre fixação biológica de N e atributos químicos do solo	77
Tabela 14 –	Coeficientes de correlação entre fixação biológica e concentrações de nutrientes na cana	78
Tabela 15 –	Atividade da nitrogenase (AN) em folhas, colmos e raízes de cana-de-açúcar	78

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	CANA DE AÇÚCAR.....	16
2.2	CARACTERÍSTICAS DO SOLO E CLIMA DO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO	17
2.2.1	Nutrientes do solo do semiárido pernambucano	24
2.3	FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO.....	25
2.3.1	Fixação biológica de nitrogênio em cana de açúcar	27
3	MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLO E PLANTA E ESTIMATIVA DA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE N, EM SOLOS CULTIVADOS COM CANA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO.....	30
3.1.1	Características químicas de solo e planta em solos cultivados com cana no semiárido Pernambucano	34
3.1.2	Estimativa da fixação biológica de nitrogênio (FBN), pela técnica da abundância natural de ¹⁵N em municípios do semiárido pernambucano	35
3.2	INDICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM DE CANA PARA DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE DA NITROGENASE.....	36
3.2.1	Ensaios	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLO E PLANTA E ESTIMATIVA DA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE N, EM SOLOS CULTIVADOS COM CANA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO.....	40
4.1.1	Características químicas de solo e planta em solos cultivados com cana no semiárido Pernambucano	40
4.1.2	Estimativa da fixação biológica de nitrogênio (FBN), em cana pela técnica da abundância natural de ¹⁵N em municípios do semiárido pernambucano	72
4.2	INDICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM DE CANA PARA DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE DA NITROGENASE.....	78
5	CONCLUSÃO	82
	REFERÊNCIAS	83

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO PARA HISTÓRICO DAS ÁREAS.....	94
APÊNDICE B – PLUVIOSIDADE MÉDIA DE 10 ANOS DOS MUNICIPIOS DO SEMIÁRIDO QUE OS CANAVIAIS FORAM AMOSTRADOS.....	95
ANEXO A – QUADROS PARA AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE, SEGUNDO ALVAREZ ET AL (1999), COM CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS ADEQUADAS.....	96

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma cultura de destaque histórico na agricultura brasileira, sendo o país o maior produtor do mundo (CONAB, 2017). Nas últimas décadas, teve grande influência na transformação da matriz energética mundial, aparecendo como fator de sustentação econômica frente às oscilações dos preços de petróleo no mercado internacional, instabilidades políticas em países produtores e de projeção de cenários não sustentáveis do estoque mundial (CNI, 2007; EPE, 2014a).

Pernambuco é o segundo estado maior produtor do Nordeste, com a produção de cana mais concentrada na região da Zona da Mata, que tem características climáticas mais favoráveis ao desenvolvimento da cultura, tais como alta luminosidade, temperatura, evapotranspiração potencial e disponibilidade hídrica (NARITOMI, 2007; SILVA, 2010). Nesta zona, os plantios têm a finalidade de produção de açúcar e álcool, com adubação e periódica introdução de novas variedades. No entanto, também há pequenos plantios no Agreste e Sertão, apesar da limitação das chuvas, geralmente nos vales, onde a disponibilidade hídrica é um pouco maior. Eles são voltados à produção de caldo de cana, rapadura, cachaça e à alimentação animal, em sua grande maioria sem adubação e frequentemente com variedades introduzidas há muito tempo.

Nas três mesorregiões, as colheitas significam retiradas grandes de nitrogênio, frequentemente acima de 200 kg ha^{-1} , com reposições pela adubação nitrogenada bem abaixo na Zona da Mata ($60 \text{ a } 100 \text{ kg ha}^{-1}$) e sem reposição no Agreste e Sertão (CONAB, 2017). Como o N é de suma importância para a cultura, sua deficiência compromete o desenvolvimento da planta, mas as produções têm-se mantido relativamente estáveis por décadas e até séculos, tem sido hipotetizado que a cana obtém N de outras fontes além do solo (BODDEY et al. 2001; RESENDE et al. 2006).

Diversos estudos nas últimas décadas têm demonstrado que a cana pode obter N da atmosfera, pela associação com bactérias diazotróficas endofíticas (LIMA et al. 1987; URQUIAGA et al. 1992; URQUIAGA et al. 2012). Esta fixação varia de acordo com a variedade de cana (COELHO et al., 2003; URQUIAGA et al. 2003; URQUIAGA et al. 2012; SCHULTZ; 2012) e parece ser maior em variedades silvestres e em variedades comerciais mais antigas, provavelmente por que as variedades novas são desenvolvidas em ambientes com ampla disponibilidade de N e por isso podem ter menor propensão à fixação. Alguns trabalhos verificaram que quanto maior a dose de N aplicada no canavial, menor a FBN, já que o processo representa um gasto energético grande para a planta (SALVAGIOTTI et al.

2008). Variedades mais antigas e mantidas sem adubação poderiam ter maior propensão para associação com as bactérias. É interessante constatar que em outros países parece não haver fixação simbiótica como no Brasil (BIGGS et al., 2002; HOEFSLOOT et al., 2005), provavelmente por conta das variedades de cana utilizadas e da adubação com altas doses de N.

Apesar destes estudos, diversas dificuldades metodológicas são encontradas para avaliar a fixação biológica de N (FBN) na cana. As metodologias mais utilizadas têm sido a diluição isotópica de ^{15}N e o estudo da atividade da nitrogenase. A diluição isotópica necessita de um sinal isotópico alto no solo para que a concentração de ^{15}N nas plantas proveniente do solo seja diluída pela concentração mais baixa do ^{15}N proveniente da atmosfera. No entanto, os sinais de ^{15}N do solo tendem a ser baixos em regiões tropicais com pluviosidade alta, onde geralmente a cana é cultivada, como na Zona da Mata pernambucana (SHEARER; KHOL, 1986; FREITAS et al., 2015). Já nas regiões semiáridas, os sinais isotópicos são convenientemente altos (FREITAS et al., 2015) mas os cultivos de cana são poucos, de pequena extensão e não têm sido pesquisados.

A atividade da nitrogenase (AN) é uma metodologia que só indica se alguma atividade de FBN está ocorrendo, mas não a quantifica (HARDY, 1968). Embora seja um teste qualitativo importante, uma grande dificuldade de toda metodologia é a amostragem, já que definir qual parte da cana em locais representativos é mais indicado para determinada análise, quantas unidades formam uma mostra composta, o pré-tratamento, o transporte do material vegetal para o laboratório, a própria análise e o retorno e interpretação dos resultados, são processos demorados, que em muitos casos, impossibilitam a correção no mesmo ciclo de produção, além de ser dispendioso (SANTANA, 2017).

Dada a escassez de informação com relação aos canaviais do Agreste e do Sertão e a importância da FBN para a cultura, e nestes locais se cultivam variedades antigas e mantidas sem sua maioria sem adubação nitrogenada, o presente estudo objetivou avaliar o comportamento da fixação biológica de nitrogênio em variedades de cana de açúcar no Semiárido pernambucano; avaliar a fertilidade dos solos e o estado nutricional de variedades de cana no semiárido; e indicar uma metodologia de amostragem de cana-de-açúcar para determinação da atividade da nitrogenase.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A cana de açúcar (*Saccharum* spp.) é cultivada no Brasil desde o período colonial e tem sido sempre uma das principais atividades agrícolas do país, produzindo inicialmente açúcar e, nas últimas décadas, também etanol e gerando energia com a queima do bagaço (EPE, 2014a). Além do Brasil, é bastante cultivada na Índia, Tailândia, China, Austrália, África do Sul e outros países da Europa e das Américas (CONAB, 2017). Em 2016, o Brasil foi responsável por 23% da produção mundial de açúcar e a região Nordeste contribuiu com 8,3% da produção nacional. Pernambuco é responsável pela segunda maior produção de cana-de-açúcar do Nordeste (28,5%), abaixo apenas de Alagoas, de um total de 41.438 milhões de toneladas produzidos na região (CONAB, 2017).

2.1 CANA DE AÇÚCAR

A cana-açúcar é uma planta com ciclo de produção entre um e dois anos, com reprodução vegetativa eficiente, o que descarta a necessidade de florescimento da planta. É uma planta com metabolismo fotossintético C4, o que lhe confere alta eficiência em converter a energia luminosa em energia química (RODRIGUES, 1995).

Diversos fatores podem interferir no desenvolvimento da cultura e sua produtividade, tais como temperatura, disponibilidade hídrica e de nutrientes, tipo de solo, pH e outros fatores bióticos e abióticos (JADOSKI et al., 2010). A relação água-solo-planta pode interferir no desenvolvimento radicial da cultura, na brotação, no perfilhamento e na produtividade e qualidade tecnológica da cana-açúcar (VASCONCELOS, 2002; GILBERT, 2006; DIOLA & SANTOS, 2010). O consumo hídrico médio varia com a evapotranspiração potencial, mas uma média geral é em torno de 3,3 mm água por dia, quando cultivada na temperatura ótima para o desenvolvimento de 25 a 35° C.

A absorção de nutrientes é de suma importância para o desenvolvimento da cana e está intimamente ligada às características do solo. As características do solo que podem interferir na disponibilidade de nutrientes para a cultura vão desde o material de origem, o intemperismo e o grau de evolução do solo, até as propriedades químicas, físicas e biológicas (NOVAIS et al., 2007; CARDOSO, 2014).

As características fisiológicas da cana-de-açúcar a tornaram a cultura com maior destaque na zona costeira de Pernambuco, que tem bons índices de precipitação, clima quente e boa

luminosidade ao longo do ano. Atualmente, o cultivo abrange a maior área da Zona da Mata. Embora com características edafoclimáticas gerais bem menos favoráveis, a cana também é cultivada nas regiões fisiográficas do Agreste e do Sertão. Em geral, são plantios pequenos, em locais com maior disponibilidade hídrica que o entorno, com a finalidade de produzir caldo de cana, cachaça, rapadura e forragem. São também plantios mais tradicionais que na agroindústria da Zona da Mata, muitas vezes conservando ainda variedades de cana antigas e com baixo uso de insumos, notadamente fertilizantes químicos (SIDRA IBGE, 2016).

As cinco variedades mais cultivadas na zona canavieira estado de Pernambuco na safra 2016/2017 foram, SP78-4764 (20%), RB92579 (19%), RB867515 (16%), SP79-1011 (9%), VAT90-212 (7%), cerca de 70% da área plantada. (RIDESA, 2018). Em um levantamento realizado por Simões 2009, foi observado que as variedades SP 78-4764 e a SP79-1011 contribuíram com 50% das safras 2002 a 2009, substituindo as variedades em declínio nos anos 90. É importante frisar que o senso varietal se concentra na zona canavieira, ou seja, na Zona da Mata, desta forma não tem-se dados das variedades que são cultivadas na região Semiárida.

As cultivares são substituídas ao longo dos anos por variedades que são melhoradas, com uma maior resistência a pragas, bem como maior durabilidade e maior produção. Dessa forma podem-se perder algumas características importantes como a FBN que são de suma importância para reduzir os gastos com fertilizantes nitrogenados. Como é o caso da CB 45-3 que nem tem representatividade nas áreas plantadas em Pernambuco nas últimas safras. Sendo está a cana que foi identificada como fixadora por Döbereiner (1953).

2.2 CARACTERÍSTICAS DO SOLO E CLIMA DO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

Pernambuco tem uma área de 98.076 km² e está localizado no centro-leste da região Nordeste do Brasil. Por uma questão político-administrativa foi dividido em cinco mesorregiões: Metropolitana do Recife, Mata Pernambucana, Agreste Pernambucano, Sertão Pernambucano e São Francisco Pernambucano (BDE, 2018). Estas mesorregiões possuem características edafoclimáticas diferentes, incluindo precipitação pluviométrica, evapotranspiração potencial e diferentes proporções de classes de solo. As duas primeiras são zonas úmidas, enquanto as três últimas são consideradas semiáridas, considerando suas pluviosidades variando de 300 mm a 1000 mm e evapotranspirações potenciais de 1500 mm a 2000 mm (SAMPAIO, 2010). Suas temperaturas médias oscilam entre 25°C e 30 °C, com boa

luminosidade durante todo o ano. Em sua maioria, toda esta área era primitivamente coberta pela vegetação de caatinga.

Três regimes pluviométricos influenciam fortemente Pernambuco: regime do sul - sistemas frontais (SF) e vórtices ciclônicos de ar superior (VCAS), próximo à Petrolina. Regime típico do norte do Nordeste - Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), em grande parte do Sertão, nos cursos dos rios Pajeú e Moxotó, e no Agreste oriental. Na Zona da Mata ocorrem influências dos ventos alísios de nordeste, ondas de leste, aglomerados de cúmulo-nimbos associados à brisa marítima (ACB) e ainda alta subtropical do Atlântico Norte (ASAN) e do Atlântico Sul (ASAS) (EMBRAPA, 2000).

O Agreste é uma região intermediária entre a Zona da Mata, mais úmida, e o Sertão, com maior aridez. Está localizado no Planalto da Borborema, com altitude média acima dos 600 m, e em alguns locais assemelha-se mais ao Sertão e em outros à Zona da Mata. Em áreas mais próximas ao Sertão, a contribuição da ZCIT é mais efetiva, sendo março o mês mais chuvoso, mas com precipitação melhor distribuída neste e nos três ou quatro meses seguintes. Nas áreas do Agreste mais próximas à Zona da Mata, as contribuições dos sistemas de Leste são mais importantes e o mês mais chuvoso desloca-se para junho (EMBRAPA, 2000). A temperatura média anual do Agreste varia de 19 a 23°C, um pouco mais amena que as da Zona da Mata e do Sertão (APAC, 2018). A evapotranspiração potencial é de 1200 mm a 1500 mm (EMBRAPA 2000).

Os solos da região Nordeste apresentam a maior variabilidade do país, com duas formações geológicas principais. Uma porção sedimentar que desce pela Chapada da Ibiapaba, atravessa o oeste de Pernambuco e encontra-se com a linha da Chapada Diamantina, seguindo pela Serra do Espinhaço, em Minas Gerais, e uma porção do cristalino que corresponde às partes do antigo escudo cristalino pré-cambriano (SILVA et al 1993). Os solos da porção sedimentar, em sua maioria, são antigos, bem intemperizados, profundos, e geralmente bem drenados, com boa capacidade de retenção de água. Já os do cristalino são mais recentes, com profundidades variáveis, que vão de alguns mm a metros (SAMPAIO 2010).

Em Pernambuco, em um levantamento de baixa e média intensidade realizado pela Embrapa, (2000), foram encontrados 16 tipos de solo, sendo as classes de solo predominantes Argissolos, Neossolos Litólicos e Planossolos. Os Argissolos ocupam cerca de 25% da área estadual, mas predominam na zona úmida costeira e no extremo oeste da região semiárida. Cerca de 23% do estado é ocupado pelos Latossolos, Luvisolos e Neossolos Quartzarênicos.

Em um levantamento exploratório de reconhecimento de solos feito em 1973 no estado de Pernambuco, observou-se que no Sertão destacam-se: Luvisolos, Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos, Argissolos Vermelhos e Planossolos e no Agreste destacam-se: Neossolos Regolíticos, Neossolos Litólicos, Planossolos, Luvisolo e Argissolos Vermelho-Amarelos. Em ambos existem muitos afloramentos rochosos (DNPEA, 1973).

Os Argissolos são solos constituídos por material mineral, que tem como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa ou alta, conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico (EMBRAPA, 2013). A textura do horizonte A varia de arenosa a argilosa. São de forte a moderadamente ácidos, apresentam profundidade variável e vão desde forte a imperfeitamente drenados. Têm fertilidade desde muito baixa até alta (EMBRAPA, 2000).

Os Latossolos são solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo. Podem variar de fortemente a bem drenados, mas os solos com cores pálidas podem ter drenagem moderada ou imperfeitamente drenada. São muito profundos, fortemente ácidos, com saturação por bases baixa, distróficos ou alumínicos, embora possam ocorrer solos com saturação por bases média a altas (EMBRAPA, 2013). Os Latossolos amarelos do Agreste podem variar um pouco quanto ao fator de formação. Na região próxima a Camocim de São Félix estes solos foram desenvolvidos a partir de recobrimentos sobre rochas do Pré-Cambriano; já próximo a Garanhuns são desenvolvidos de metassiltitos e metarcósios. Ambos são solos álicos e distróficos, profundos, bem drenados, com predomínio de textura argilosa, com fertilidade natural baixa a muito baixa, baixos teores de fósforo assimilável. O pH varia de 4,4 a 6,3 (próximo a Camocim de São Felix) e 4,4 a 5,2 (próximo a Garanhuns), a soma de bases de 0,2 a 6,1 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo (próximo a Camocim de São Felix) e 0,2 a 0,6 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo (próximo a Garanhuns). Estes solos necessitam do uso de corretivos e fertilizantes para um uso adequado (EMBRAPA, 2000).

Os Neossolos são compostos por material mineral ou orgânico pouco espesso (menos de 20 cm), com baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, embora a interferência do clima e do relevo possam interferir na evolução do solo (EMBRAPA, 2013). Os Neossolos Litólicos são solos minerais, tipicamente rasos (menos de 50 cm de profundidade), pedogeneticamente pouco evoluídos. Suas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas são muito variadas, a depender, sobretudo, da natureza do material de origem e das condições climáticas. Dessa forma, os solos foram agrupados de acordo com o material de origem e a condição climática. Estes solos ocorrem em toda

extensão de Pernambuco, desde as zonas úmidas costeiras, onde ficam mais restritos às áreas com relevo movimentado (de ondulado a montanhoso) onde a vegetação dominante é do tipo floresta subcaducifólia e floresta caducifólia, até o Agreste e Sertão onde ocupam áreas diversas, desde aquelas com relevo plano até aquelas com formas de relevo escarpado. Também são solos de grande expressividade nos ambientes de serras e serrotes, onde, geralmente, ocorrem associados com afloramentos de rocha (EMBRAPA, 2000).

Os Neossolos Quartzarênicos são solos minerais, essencialmente arenoquartzosos, não hidromórficos ou hidromórficos. Em geral são profundos a muito profundos, excessivamente drenados, facilmente intemperizados, com baixa retenção de umidade e considerados solos com pequena expressão dos processos pedogenéticos. São subdivididos em duas classes gerais de acordo com a natureza do material de origem e o ambiente de ocorrência. Os Neossolos Quartzarênicos ocupam 5,18% da superfície do Estado, podendo ser encontrados em ambientes dentro e fora da baixada litorânea. Nos ambientes fora da baixada litorânea, os solos são derivados de sedimentos arenosos do Terciário/Quaternário. Nos Tabuleiros Interiorianos, localizados em diversas áreas no extremo oeste da região semiárida e no Agreste, onde ocorrem em menores proporções, verifica-se, também, a ocorrência de Areias Quartzosas derivadas de rochas gnáissicas, graníticas, migmatíticas e quartzíticas do Pré-Cambriano. Apresentam textura muito arenosa e fertilidade natural baixa. O pH varia de moderadamente ácido a fortemente ácido (4,4 a 6,5) e, quanto à saturação por bases, os solos podem ser álicos, distróficos e eutróficos. Em geral, localizam-se onde o relevo é plano e suave ondulado (EMBRAPA, 2000).

Os Neossolos Regolíticos ocupam 4,9% do Estado, distribuídos em ambientes de clima semiárido, com relevo plano a suave ondulado, em áreas pediplanadas no Agreste e Sertão. Estão relacionados com rochas do Pré-Cambriano Indiviso, principalmente granitos quartzosos ou, em menores proporções, com quartzitos feldspáticos, relacionados com o Pré-Cambriano Superior. São solos constituídos por textura arenosa ou média, com baixos teores de argila, fortemente drenados, variando de pouco profundos a profundos e até, em alguns casos, a muito profundos. Vão de forte a moderadamente ácidos, com soma de bases trocáveis baixa a muito baixa, com baixa fertilidade natural e baixa retenção de água (EMBRAPA, 2000).

Os Neossolos Flúvicos ocupam cerca de 2% da região de Pernambuco e ocorrem em regiões de várzeas e terraços aluvionares. São solos minerais não hidromórficos, pouco evoluídos, formados por sobreposição de camadas de sedimentos aluviais recentes, sem relações pedogenéticas entre os estratos. Na região semiárida, onde a evapotranspiração

potencial é maior que as precipitações, em geral, são de reação neutra a moderadamente alcalina, com argilas de atividade alta e eutróficos. O pH varia de 6,5 a 8,0; e a soma de bases de 4,0 a 30 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ de solo. Por conta das condições climáticas, por vezes, ocorrem solos sódicos (EMBRAPA, 2000).

Os Planossolos são solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, podem ou não ter horizonte cálcico, caráter carbonático, duripã, propriedade sódica, solódica, caráter salino ou sálico. Ocupam 15% do Estado e distribuem-se por quase todo o Agreste. Ocorrem preferencialmente em áreas de relevo plano ou suave ondulado, raramente ondulado, onde as vertentes, ligeiramente convexas, apresentam declividades e formam vales abertos. Apresentam excesso de água mesmo que em curta duração em algum período do ano, devido as condições ambientais ou do próprio solo, até mesmo em clima semiárido (EMBRAPA, 2013). São encontrados normalmente em áreas relacionadas aos materiais geológicos do Pré-Cambriano Indiviso e de rochas Plutônicas ácidas. O material de origem é constituído por saprolito de granitos pórfiros, gnaisses, migmatitos, xistos e granodiorito gnaissificado. Apresentam reação desde moderadamente ácida até praticamente neutra, com pH de 5,7 a 6,2. Apresentam saturação por sódio que varia de 8 a 20%.

Os Luvisolos são solos minerais, não hidromórficos, eutróficos, tipicamente pouco profundos, de bem a imperfeitamente drenados. São moderadamente ácidos a ligeiramente alcalinos, com teores de alumínio extraível baixo ou nulo e elevada soma de bases (EMBRAPA, 2013). Em Pernambuco, os Luvisolos ocupam 8,4 % da superfície, ocorrendo em diversas superfícies de pediplanos da zona semiárida. São desenvolvidos de rochas gnáissicas ricas em minerais ferro-magnesianos (biotita, anfibólio e hornblenda) do Pré-Cambriano, mas também podem, com menor frequência ser derivados de filitos, folhelhos e, ou siltitos. Ocupam, na maioria das vezes, superfícies com relevo suave ondulado e plano e também em áreas com partes onduladas, sob clima predominantemente semiárido acentuado, tipo sertão, e em menor extensão, no clima semiárido atenuado, tipo agreste. De maneira geral são solos férteis e que oferecem boa produtividade agrícola, especialmente quando irrigados.

Os Cambissolos que ocorrem em cerca de 1,6% do Estado, distribuídos em todas as paisagens, são pedogeneticamente pouco evoluídos e possuem material de origem bastante heterogêneo. Os fatores de formação, como clima e relevo, podem variar bastante de acordo com o local. Podem ocorrer em diversos relevos, desde plano até montanhoso, em locais com ou sem pedregosidade. Na Zona da Mata, ocorrem com substratos sedimentares ou de rochas cristalinas e no Agreste associados a outros tipos de solo como Argissolos e Vertissolos. Podem ser bem a mal drenados, de rasos a profundos, com coloração variada e ter alta a baixa

saturação por bases. Apresentam desde baixas a altas fertilidades naturais, sendo no último caso bem favoráveis ao uso agrícola, principalmente nas áreas de clima semiárido (EMBRAPA, 2000; EMBRAPA, 2013).

Os Gleissolos são solos minerais hidromórficos com horizonte glei iniciando dentro de 50 cm da superfície do solo ou entre 50 e 125 cm desde que precedido por horizontes com presença de mosqueados abundantes com cores de redução. Quanto a física são solos mal a muito mal drenados, formados em terrenos baixos, suas características resultam da influência do excesso de umidade permanente ou temporário, devido ao lençol freático elevado ou mesmo à superfície, durante um determinado período do ano (EMBRAPA, 2013). Apresenta uma grande variabilidade na textura, porém no estado de Pernambuco, há um predomínio das classes de textura média e muito argilosa. Quanto a química, estes solos apresentam características variadas. Podendo ser distróficos, eutróficos ou álicos (pouco frequentes). Com acidez moderada a fortemente ácida, com valores de pH em água variando de 4,3 a 5,3. Foram mapeadas com uma extensão de 1.234 km², o que corresponde a 1,2% da superfície do estado (EMBRAPA, 2000).

Os Vertissolos ocupam cerca de 0,4% da área do Estado, ocorrendo em manchas pequenas ou pouco extensas na região semiárida. São solos minerais, formados principalmente a partir de biotita-gnaiss, xistos, migmatitos e calcários cristalinos do Pré-Cambriano Superior, bem como a partir de diversos materiais de natureza sedimentar, tais como calcários, margas, arenitos calcíferos, folhelhos e siltitos, todos referidos ao Período Cretáceo. Também são encontrados Vertissolos desenvolvidos de sedimentos Quaternários do Holoceno. São altamente saturados por bases, possuem argila com material expansivo, o que torna esses solos problemáticos, pois quando secos racham e ficam extremamente duros e quando molhados são altamente pegajosos. Variam de moderadamente a imperfeitamente drenados. O pH varia de moderadamente ácido a fortemente alcalino (5,7 a 8,8). Em função das condições climáticas, podem ocorrer na região semiárida, solos salinos (EMBRAPA, 2000; EMBRAPA, 2013).

Os Espodosolos são constituídos de material mineral com horizonte B espódico subjacente a horizonte eluvial. São desenvolvidos principalmente de materiais arenoquartzosos, sob condições de umidade elevada, em clima tropical e subtropical, em relevo plano, suave ondulado, em áreas de surgente, abaciamentos e depressões, e podem ocorrer também em relevo mais movimentado, em ambientes de clima frio, úmido e de vegetação alto montana (DIAS et al., 2003; EMBRAPA, 2013). Em Pernambuco, a área ocupada é de 0,4 %, nos Tabuleiros Costeiros e na Baixada Litorânea. Nos Tabuleiros

Costeiros, são originados de materiais derivados de sedimentos arenosos do Grupo Barreiras, do período Terciário, e na Baixada Litorânea, de sedimentos arenoquartzosos, não consolidados, do Holoceno. São profundos a muito profundos, com drenagem rápida na superfície, mas podendo ser impedida em profundidade, especialmente quando o horizonte espódico for do tipo cimentado. Apresentam classe textural arenosa a média com baixa capacidade de retenção de umidade e ausência de reserva de nutrientes. São solos muito pobres em fertilidade pela baixa reserva de nutrientes, de moderados a fortemente ácidos, em geral com saturação por bases baixa, podendo ocorrer altos teores de alumínio extraível (EMBRAPA, 2000).

Nas áreas de transição entre a zona da Mata e o Agreste, onde chove menos, estes solos também ocupam áreas onde a vegetação é do tipo floresta subcaducifólia. Em ambientes de tabuleiro costeiro, onde os solos apresentam condições de hidromorfismo, com profundidades maiores que 0,8 m, é cultivada cana-de-açúcar com uso intensivo de adubação (EMBRAPA, 2000).

Os Plintossolos são solos minerais com a presença de óxidos de Fe em forma de plintita ou petroplintita, formados sob condições de restrição a percolação da água e sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade (EMBRAPA, 2013). Têm baixa expressão em Pernambuco, ocupando cerca de 0,06% da superfície, encontrado na zona úmida costeira e no Agreste (EMBRAPA, 2000), e também no Sertão (BURGOS; CAVALCANTI, 1990). De maneira geral são solos profundos a muito profundos, com casos particulares no Sertão, onde a profundidade é definida pela espessura do recobrimento pedimentar sobre o embasamento cristalino, podendo ser rasos. Os perfis variam de pedregosos a extremamente pedregosos e, no semiárido, foi observada textura muito cascalhenta em superfície e cascalhenta em profundidade. O pH varia entre fortemente ácido a praticamente neutro (4,5 a 6,9). A soma de bases, varia entre 1,0 e 7,0 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, a capacidade de troca catiônica entre 3,0 e 9,0 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e a saturação por bases entre 23 e 90%, enquanto a saturação por alumínio varia numa faixa inferior a 50%.

Os Chernossolos são constituídos de material mineral que tem como característica diferencial a alta saturação por bases, o horizonte A chernozêmico sobrejacente e o horizonte B textural ou B incipiente com argila de alta atividade. São formados sob condições climáticas bastante variáveis e a partir de diferentes materiais de origem; no entanto, o seu desenvolvimento depende de condições que favoreçam a formação e persistência de um horizonte superficial rico em matéria orgânica, com alto conteúdo de cálcio e magnésio e com a presença de argilominerais, especialmente do grupo das esmectitas (EMBRAPA, 2000). Em

Pernambuco predominam os Chernossolos Argilúvicos, ocupando 0,04% da superfície, encontrados na Zona da Mata e no Agreste. O material de origem pode ser quartzo-diorito-gnaiss e milonito-gnaiss. A sua maior área de ocorrência situa-se dentro da geologia do Complexo Migmatítico granitóide referido ao Pré-Cambriano Inferior. São solos pouco profundos, moderadamente drenados, de alta fertilidade natural, eutróficos, bastante saturados de bases, com pH de moderadamente ácido a moderadamente alcalino (5,4 a 7,6), capacidade de troca de cátions ligeiramente superior à soma de bases ao longo do perfil (EMBRAPA, 2000).

Os Nitossolos são solos minerais profundos a muito profundos, não hidromórficos, argilosos a muito argilosos, são solos bem drenados, porosos, considerados de ótimas condições são solos fortemente a moderadamente ácidos, com pH variando na faixa de 4,9 a 5,6 (EMBRAPA, 2013). Em geral saturação por bases inferior a 35% e saturação por alumínio superior a 70% na grande maioria dos horizontes subsuperficiais. Estes solos são de pequena expressão no estado, ocupando cerca de 10,15 km², ou seja, 0,01% da área na região da bacia sedimentar vulcânica no município do Cabo de Santo Agostinho, zona da mata sul (EMBRAPA, 2000).

2.2.1 Nutrientes do solo do semiárido pernambucano

Os elementos minerais disponíveis no solo necessários para o desenvolvimento da planta são chamados elementos essenciais e são divididos em macronutrientes e micronutrientes (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Os macronutrientes (MALAVOLTA, 2006) são necessários em maior quantidade e são: carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e potássio (K) gramas/kg.

Os micronutrientes são requeridos em pequenas quantidades, de miligramas/kg a microgramas, e participam das reações metabólicas. São micronutrientes: boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn) (MALAVOLTA, 2006). Esses elementos quando estão ausentes ou em baixa quantidade comprometem a vitalidade das plantas, pois fazem parte da estrutura dos aminoácidos, de complexos enzimáticos e participam como cofatores de diversas reações metabólicas sem as quais elas não conseguem completar seu ciclo de vida (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Os solos de origem sedimentar de maneira geral são pouco férteis, apresentando deficiência de fósforo e cálcio. Os solos da porção do cristalino podem variar de férteis a pouco férteis. Em boa parte desses solos não há deficiência de K, Ca e Mg, diferentemente do

P, que na maioria deles é deficiente (SAMPAIO, 2010). Segundo Sampaio (2010), ainda se sabe pouco sobre o S e os micronutrientes nos solos do semiárido nordestino.

O N apresenta-se com baixos teores na maioria dos solos do semiárido, já que a produção vegetal é limitada e a mineralização ocorre de maneira muito rápida na época das chuvas (SALCEDO, SAMPAIO, 2008). Freitas e Sampaio (2008) verificaram que a reposição do N se dá, principalmente, por meio da fixação do nitrogênio atmosférico via fixação biológica (FBN), por meio da associação de leguminosas com rizóbios.

O Nitrogênio é um dos nutrientes mais importantes para as plantas, por fazer parte da estrutura da cadeia de aminoácidos, proteínas e do DNA, entre outras estruturas celulares. Embora o N seja um elemento bastante abundante na atmosfera na forma de N_2 , a maioria dos seres vivos não consegue utiliza-lo diretamente da atmosfera pois é um processo que requer muita energia para quebrar sua ligação tripla (EPSTEIN; BLOM, 2006; SANTOS, 2008). Esse processo de quebra de ligação entre os átomos de N se dá de três formas, pela deposição atmosférica que se dá através de raios; pela fixação industrial que utiliza altas temperaturas e transforma o N_2 em NH_3 , tendo como base combustíveis fósseis; e pela fixação biológica que se dá através de um complexo enzimático (complexo nitrogenase) presente em algumas bactérias (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

2.3 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO

A fixação biológica de N (FBN) é conhecida como um dos processos mais importantes realizados pelos microrganismos do solo, caracteriza-se por transformar o N_2 disponível na atmosfera em formas que os vegetais e outros organismos sejam capazes de assimilar (NH_4^+) (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). As bactérias que realizam a FBN podem ser de vida livre, associativos ou simbiotes. Os meios de detecção mais conhecidos utilizam isótopos de N para sua determinação (PETERSON & FRY, 1987).

Isótopos são formas do mesmo elemento químico que possuem a mesma quantidade de prótons (p); ou seja, o mesmo número atômico (Z), mas com o número de nêutrons diferente e, conseqüentemente número de massa diferente. Estão presentes no meio ambiente naturalmente, com proporções distintas, um isótopo mais abundante e um ou mais menos abundantes. Possuem as mesmas características químicas, mas têm diferenças nas características físicas. Os isótopos podem ser instáveis (radioativos), que emitem radiação ionizante, ou estáveis, que não emitem radiação (DAWSON & BROOKS, 2001).

Pesquisas podem ser realizadas tanto com isótopos instáveis quanto com estáveis, e cada tipo têm vantagens e desvantagens. Embora os isótopos estáveis não apresentem alterações químicas e apresentem comportamento semelhante em diversas reações, há alguns anos estes apresentavam a desvantagem de ter uma determinação difícil, problema que vem sendo contornado ao longo dos anos pelo aperfeiçoamento dos espectrômetros de massa (PETERSON & FRY, 1987). Já os isótopos radioativos podem ser determinados com alta capacidade de detecção, mas com a desvantagem dos riscos de contaminação e possíveis danos a saúde.

Diversos elementos possuem isótopos estáveis, fato de grande importância para pesquisas em áreas como medicina, geologia, ecologia e agricultura. Na área de agrárias, as pesquisas com isótopos estáveis têm crescido muito, pois os principais elementos químicos relacionados ao metabolismo das plantas apresentam isótopos estáveis, como carbono, hidrogênio, oxigênio, magnésio, enxofre e nitrogênio (PETERSON & FRY, 1987; LAJTHA & MICHENER, 1994; DAWSON & BROOKS, 2001).

O nitrogênio apresenta as formas isotópicas estáveis de ^{14}N e ^{15}N , com as respectivas abundâncias na atmosfera de 99,63% e 0,37%. O N também tem o isótopo radioativo ^{13}N , mas não é utilizado para pesquisas com fins agronômicos por apresentar um tempo de meia vida muito curto (PETERSON; FRY, 1987), em relação ao ciclo de vida da grande maioria das plantas.

Os isótopos de N têm sido utilizados nas pesquisas com fins agronômicos há alguns anos, principalmente no estudo da fixação biológica, em diversas culturas, como milho, soja e feijão, entre outros (TRIVELIN et al. 1995; BODDEY, 1995; SAMPAIO et al. 2004; FREITAS et al. 2011). Duas técnicas são bastante conhecidas: a diluição isotópica e a abundância natural de N. A diluição isotópica utiliza fertilizante enriquecido com uma conhecida proporção de ^{15}N , geralmente em torno de 5 a 10%. Esta técnica é pouco utilizada por seu alto custo financeiro, que dificulta pesquisas em grande escala. Já a técnica de abundância natural é bastante utilizada, mas é um pouco limitada, pois as áreas de estudo têm que ter um bom sinal de $\delta^{15}\text{N}$. (UNKOVICH et al., 2001).

Para se realizar uma pesquisa em determinada área faz-se necessária a discriminação isotópica, no entanto também é necessário que a mistura no ambiente ou passagem de um compartimento para outro seja homogênea. (PETERSON; FRY, 1987; MARTINELLI et al., 1988; LOPES, 2001).

Estudos utilizando diluição isotópica de ^{15}N observaram que quanto maior a adubação nitrogenada menor a FBN, já que esta apresenta maior gasto energético para planta. Salvagiotti et al. (2008) observaram que o comportamento da FBN em soja com o aumento da dose de N tem relação exponencial negativa, ou seja, tendendo a zero com o aumento da dose. Sampaio et al (2004), em experimento com uso da técnica de diluição isotópica no semiárido paraibano, avaliaram o efeito residual do fertilizante nitrogenado em feijão e milho e observaram que a eficiência no uso de N dificilmente atingiu 50%. A proporção do N derivado do fertilizante (NDF) na planta foi relativamente baixa, o milho teve maior NDF (16 a $19 \pm 1,6\%$) que o do feijão (9 a $10 \pm 2,0\%$). Freitas et al (2011), em trabalho realizado no semiárido paraibano com plantas forrageiras, observaram que o aumento de adubação com esterco aumentou a nodulação das leguminosas e, conseqüentemente, a fixação de N. Freitas et al (2012), num estudo em floresta tropical seca no sertão paraibano, observaram fixação maior que 50% em herbáceas leguminosas em áreas em regeneração.

2.3.1 Técnicas para estimar a FBN

A técnica da abundância natural ($\delta^{15}\text{N}$) é calculada através da seguinte fórmula, recomendada por SHEARER & KOHL (1986):

$$\%N_{\text{dda}} = [(\delta^{15}\text{N}(\text{referência}) - \delta^{15}\text{N}(\text{fixadora})) / \delta^{15}\text{N}(\text{referência}) - B] \times 100$$

onde $\delta^{15}\text{N}(\text{referência})$ é o valor médio dos $\delta^{15}\text{N}$ das plantas não fixadoras utilizadas como referência, $\delta^{15}\text{N}(\text{fixadora})$ é o valor médio de $\delta^{15}\text{N}$ da planta fixadora e B é o valor de $\delta^{15}\text{N}$ para plantas fixadoras cultivadas na ausência de N. O valor B considerado para cana de açúcar é de 0‰ (MORAIS et al. 2012).

A principal restrição ao uso da metodologia da abundância natural de ^{15}N para estimativa da FBN em cana-de-açúcar é a dificuldade em encontrar uma planta de referência apropriada, já que ela tem que apresentar características, como porte, metabolismo e ciclo de vida, semelhantes aos da planta a ser estudada (PEOPLES et al., 2002; HERRIDGE et al., 2008; BAPTISTA et al., 2014).

Outra técnica que também é utilizada para indicar a fixação é o método da redução de acetileno, mediada pela enzima nitrogenase. A nitrogenase é um complexo enzimático formado por duas unidades distintas que se combinam para reduzir o N_2 a NH_3 . A primeira unidade é a dinitrogenase redutase ou Fe-proteína que apresenta duas subunidades de 30 a 72 kdaltons, cada uma responsável pela transferência de elétrons para a redução do N_2 . A segunda unidade (sítio da reação) é a dinitrogenase que apresenta quatro subunidades, com

massa molecular entre 180 e 235 kdaltons cada, e é responsável por realizar efetivamente a redução a NH_3 . A dinitrogenase pode ter três composições, MoFe-proteína, VFe-proteína e FeFe-proteína, a depender da disponibilidade dos metais no ambiente, porém com preferência nesta ordem Mo, V e Fe (TAIZ & ZEIGER, 2004; WEARE et al., 2006; HERNANDEZ et al., 2008; YOSHIKAWA et al., 2010; HU et al., 2011). As possíveis variações da segunda unidade da nitrogenase diferenciam-se também pela eficiência no uso de energia no processo de produção de NH_3 a partir do N_2 , sendo mais eficientes o conjunto de reações por intermédio da MoFe-proteína (GUHA & PHUKAN, 2011).

Na redução do N_2 , a ferredoxina atua como doador de elétrons para a Fe-proteína, que por sua vez hidrolisa ATP e reduz a MoFe-proteína. A MoFe-proteína pode então reduzir inúmeros substratos, embora em condições naturais não o faça (TAIZ & ZEIGER, 2004). A redução do acetileno é a técnica mais conhecida para determinar a atividade da nitrogenase (NA). A nitrogenase reduz o acetileno (C_2H_2) a etileno (C_2H_4) e tem o mesmo gasto energético que a redução de N_2 a NH_3 . Por isso, é utilizada para determinar a AN em bactérias no solo, raízes, caules e folhas (HARDY et al., 1968).

2.3.1 Fixação biológica de nitrogênio em cana de açúcar

Ao analisar o ciclo global do nitrogênio, podem-se observar entradas de N atmosférico no solo que não são provenientes de descargas elétricas e temperaturas elevadas, e que ocorrem por intermédio de organismos, que podem ou não estar em associação com plantas, que possuem a enzima nitrogenase, capaz de reduzir N_2 a NH_3 (HU et al., 2011).

Algumas plantas são conhecidas por fixar nitrogênio, como as leguminosas e algumas gramíneas que formam associações com bactérias capazes de retirar o N da atmosfera. Pesquisadores tentam entender a fixação nos diferentes ecossistemas nos quais estas espécies vegetais estão inseridas e quais os benefícios que esta fixação pode ter para as produtividades das culturas (PETERSON; FRY, 1987; LAJTHA; MICHENER, 1994).

Anualmente, estima-se que a entrada de N por meio da fixação biológica associada a cana alcance o valor de 500.000 t, correspondendo a cerca de 0,7 a 1% do N fixado nos agrossistemas. No entanto, as estimativas globais da FBN em cana ainda são pouco confiáveis, devido à variação dos valores encontrados por pesquisadores espalhados pelo mundo. No Brasil, tem sido estimado que a FBN contribui com cerca de 10 a 20% do N total, no entanto, há estimativas de valores superiores a estes (HERRIDGE et al., 2008). Assis et al. (2002) estimaram a contribuição da FBN em cana, seis meses após o plantio, em vasos

contendo solo, como sendo 32% do N absorvido pela cultura. Corroborando a indicação da existência da FBN, os autores cultivaram a cana em solução nutritiva e observaram, cinco meses após o cultivo, que cerca de 29% do N contido na planta tiveram a atmosfera como origem.

O Brasil tem produtividades elevadas de cana. No entanto, chama à atenção no manejo nutricional da cultura a adubação nitrogenada baixa, em média apenas 40% das doses aplicadas em outros países (BAPTISTA et al., 2014). Isto sugere que parte da exigência de N na cana-de-açúcar tem sido suprida por fontes diferentes de fertilizantes minerais.

Em estudo realizado no Brasil, Döbereiner (1953) isolou algumas bactérias que possuem a capacidade de fixar nitrogênio em associação com a cana, e que podem ser encontradas nas folhas, no colmo e principalmente nas raízes.

Franco et al. (2011), em estudo utilizando fertilizante nitrogenado enriquecido com ^{15}N , observou que a sua contribuição variou ao longo do ciclo da cultura, e foi maior com o aumento da dose. Entretanto, uma fonte não identificada sempre contribuiu mais na nutrição da cultura, chegando a 80% do N total na soqueira. Deste modo, pode-se afirmar que a maior parte do nutriente absorvido pela cana é oriunda da mineralização da matéria orgânica do solo e/ou da atmosfera.

Diversos estudos utilizam isótopos estáveis de N para estimar a fixação biológica (TAULÉ et al., 2011; ASSIS et al. (2002). Taulé et al. (2011) observaram que a contribuição do N atmosférico para cana variou com o cultivar e a espécie utilizada como planta referência, de 42 a 59%. Os autores ainda relataram que a FBN se reduziu em 15% com o aumento da dose de N, de 10 para 50 mg kg^{-1} de N. O experimento foi conduzido no Uruguai, em vasos com solo enriquecido com o isótopo ^{15}N , em casa de vegetação, até os 120 dias após o plantio.

3 MATERIAL E MÉTODOS

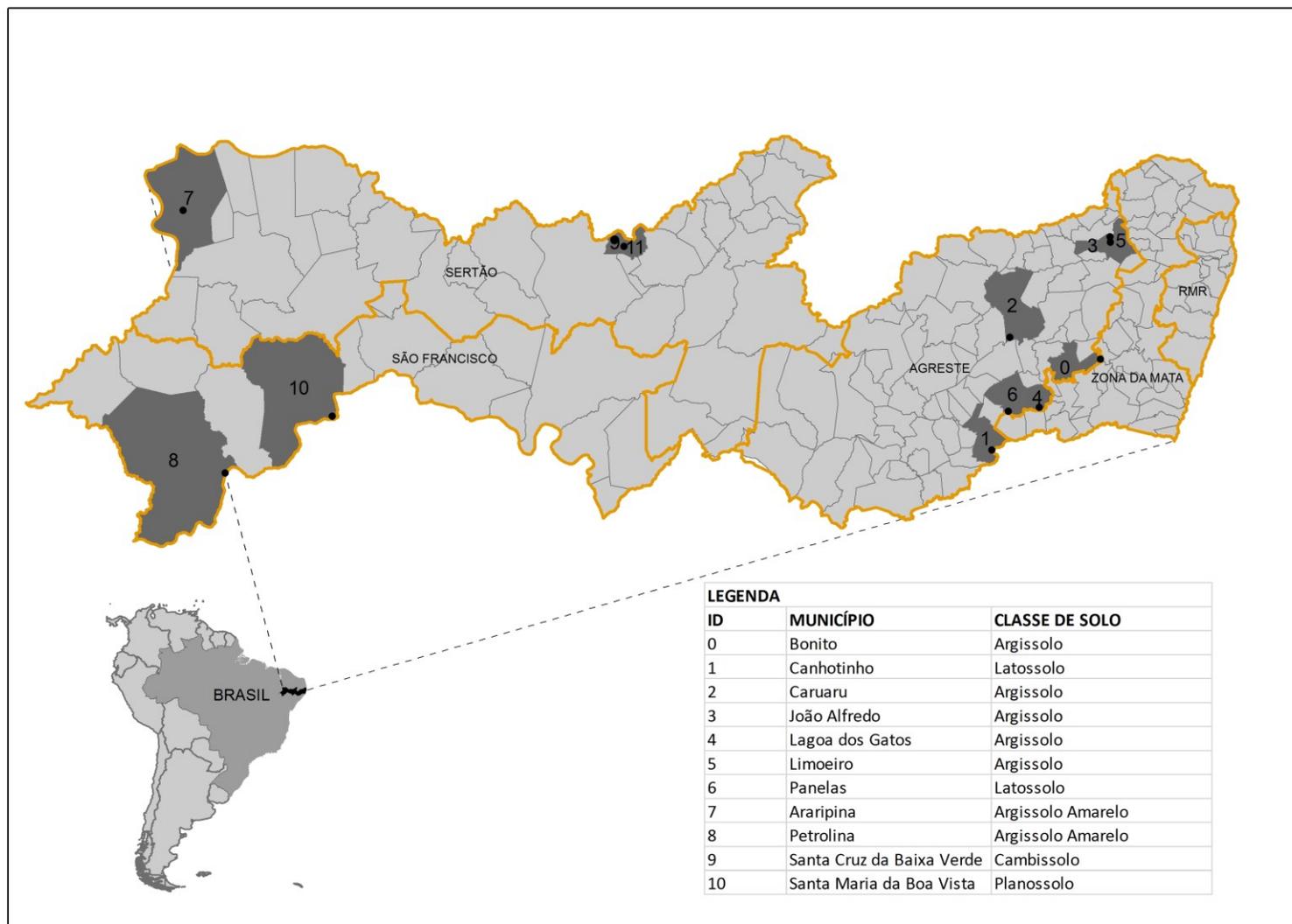
O trabalho foi dividido em duas partes: 1) avaliação da fertilidade de solos e estimativa da fixação biológica de nitrogênio (FBN) em cana cultivada em municípios do Semiárido pernambucano; e 2) indicação de uma metodologia de amostragem de cana para determinação da atividade da nitrogenase.

3.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLO E PLANTA E ESTIMATIVA DA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE N, EM SOLOS CULTIVADOS COM CANA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

Foram identificados através do banco de dados SIDRA IBGE (2016) 39 municípios produtores de cana na região semiárida em 2016, sendo 16 municípios no Agreste e 23 no Sertão. A amostragem foi realizada de forma aleatória de forma a abranger a maior parte da região do Agreste e do Sertão, e levando em conta a disponibilidade de canaviais, já que o banco de dados Sidra IBGE (2016) não estava atualizado para o ano da amostragem. No Agreste, foram amostrados canaviais em sete municípios: Bonito (8° 28' 22,17'' S e 35° 33' 7,528'' W), Canhotinho (8° 57' 42,332'' S e 36° 08' 20,148'' W), Caruaru (- 8° 21' 17,049'' S e - 36° 02' 26,833'' W), João Alfredo (7° 48' 48,264'' S e 35° 29' 58,518'' W), Lagoa dos Gatos (8° 43' 59,489'' S e 35° 52' 56,215'' W), Limoeiro (7° 50' 33,251'' S e 35° 29' 54,288'' W) e Panelas (8° 45' 10,360'' S e 36° 02' 59,791'' W) (Figura 1). E No Sertão, foram cinco municípios: Araripina (7°40' 13,7'' S e 40° 30' 31,7'' W), Petrolina (9° 05' 07,4'' S e 40° 16' 54,2'' W), Santa Cruz da Baixa Verde (7° 49' 37,4'' S e 38° 10' 43,1'' W), Santa Maria da Boa Vista (8° 46' 49,7'' S e 39° 42' 09,7'' W) e Triunfo (7° 51' 50,9'' S e 38° 07' 36,7'' W) (Figura 1).

Em cada plantio comercial foram coletadas amostras de solo, distribuídos aleatoriamente, nas profundidades de 0 a 0,1, 0,1 a 0,2, 0,2 a 0,3, 0,3 a 0,4 e 0,4 a 0,5 m, (10 amostras) que foram juntas em uma amostra composta por profundidade e por parcela, para caracterização química.

Figura 1 – Mapa do estado de Pernambuco com os municípios amostrados com as respectivas classes de solo



Fonte: O AUTOR.

Em cada canavial foram amostradas as variedades de cana existentes, independente do ciclo (cana planta ou socas) (Tabela 1). Em cada área comercial, para cada variedade foram dispostas aleatoriamente cinco parcelas de 10 x 10 m, em cada uma das quais foram coletadas amostras de 10 folhas índice (folha +1) que foram juntas em uma amostra composta por parcela. Foram coletadas pelo menos três espécies de plantas espontâneas com três repetições por parcela, para servir de referência na metodologia de abundância natural $\delta^{15}\text{N}$. As folhas foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até atingirem peso constante. Em seguida, foram moídos o terço médio da folha, sem nervura central em moinho tipo Willey e armazenadas em sacos plásticos para posterior determinação do N^{15} e concentração dos nutrientes. Em cada parcela foram amostradas folhas de plantas referência (não fixadoras de N), que ocorriam espontaneamente dentro ou nas proximidades das parcelas amostrais, para estimar o sinal isotópico do N do solo disponível para as plantas.

Em cada parcela, foram coletadas 10 plantas de cana, que foram juntas e pesadas, trituradas e amostradas para determinação da matéria seca e concentrações de N. Foram contados os números de perfilhos por metro para estimar a produção de biomassa (kg ha^{-1}) total na parcela (EMBRAPA, 2009).

O histórico da área, as variedades coletadas, o ciclo da cultura e a idade das plantas em cada município estão na Tabela 1, as informações referentes à informação a adubação estão incompletas.

Tabela 1- Histórico das áreas de coleta em canaviais de municípios do semiárido

Município	Variedade	Cultivo (anos)	Ciclo	Idade (Meses)	Adubação NPK	Finalidade de produção
			Agreste			
Bonito	SP784764	*	Soca	2	Sim	Para usina
Canhotinho	CB 45-3	10	Soca	3	625 kg ha ⁻¹ . 20-10-20	Caldo de cana e rapadura
Caruaru	Caiana Rosa	10	Soca	11	Não	Caldo de cana
	Coimbatore					
João Alfredo	CB 45-3	*	Soca	3	Sim	Alimentação animal
Lagoa dos Gatos	CB 45-3	5	Soca	3	Não	Caldo de cana
Limoeiro	SP791011		Planta	3	Sim	Alimentação animal
Panelas	CB 45-3	4	3° Soca	3	250 kg ha ⁻¹ . 20-10-20	Rapadura
			Sertão			
Araripina	Caiana	2	Planta	8	Não	Ração e silagem
Petrolina	Fita	*	Planta	7	Sim	Rapadura, caldo de cana e Alimentação animal
Santa Cruz da Baixa Verde	Paia	10	Soca	11	Sim	Rapadura
Santa Maria da Boa Vista	Cana Fita	*	Planta	7	Sim	Caldo de cana
Triunfo	*	*	Soca	10	-	Alimentação animal

* Sem informação.

Fonte: O AUTOR

3.1.1 Características químicas de solo e planta em solos cultivados com cana no semiárido Pernambucano

As amostras de solo foram secas à sombra, destorroadas, tamisadas em peneira de 2 mm. Ao final desses processos, obteve-se a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) para ser analisada. Nos solos foram determinados pH (H₂O), N total, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Al³⁺, (H+Al), P e carbono orgânico total (COT). O pH foi medido em água destilada.

Para determinação do N total, o solo foi macerado, peneirado em malha de 100 mm e 1g dessa amostra foi submetido à digestão sulfúrica e posterior destilação e titulação, seguindo metodologia da Embrapa (1999).

O Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ foram extraídos com KCl 1,0 mol L⁻¹; o P e o K⁺ com Mehlich-1; e o H+Al com acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0. Os cátions Ca²⁺ e Mg²⁺ foram determinados por titulação; K⁺ e Na⁺ por fotometria de chama; e P por espectrofotometria. O Al³⁺ foi determinado por titulação na presença do indicador azul de bromotimol e titulado com NaOH (0,025 mol L⁻¹) e o H+Al também foi determinado por titulação com NaOH e fenolftaleína como indicador, conforme procedimentos recomendados pela Embrapa (2009). O COT foi determinado pelo método de Walkley-Black modificado por Yeomans & Bremner (1988).

Com base nos resultados, foram estimadas a soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe) e a CTC a pH 7,0 (T), a saturação por alumínio (m), a saturação por bases (V) e o potencial de sódio total (PST) (IPA, 2008).

Para avaliar o estado nutricional de variedades de cana no Agreste e no Sertão (Regiões do Sertão Pernambucano e São Francisco) de Pernambuco, 0,5 g de matéria seca da folha +1 (forma de coleta item 3.0) foi submetida à digestão nitro-perclórica, seguida por determinação de K por fotometria de chama, P e S por espectrometria e Ca e Mg por espectrometria de absorção atômica, o Mo por espectrofotometria pelo método catalítico e o Fe por espectrofotometria com 1-10 orto-fenantrolina. Todas as análises seguiram os procedimentos descritos pela Embrapa (2009).

Os atributos químicos do solo e o teor de nutrientes na folha +1, em cada local e variedade, foram avaliados com o uso de média e desvio padrão. O nível de fertilidade dos solos foi avaliado e classificado segundo o descrito por Alvarez et al. (1999) (ANEXO A). A avaliação nutricional foi realizada pela comparação da concentração de nutrientes na folha +1 das variedades de cana com as faixas de suficiências estabelecidas pela Embrapa (2009).

3.1.2 Estimativa da fixação biológica de nitrogênio (FBN), pela técnica da abundância natural de ^{15}N em municípios do semiárido pernambucano

Para determinação da FBN utilizando a técnica da abundância natural de ^{15}N nas variedades de cana, as amostras de folha +1 (forma de coleta 3.0) depois de secas foram trituradas e passaram pela malha de 100 μm e foram enviadas para o laboratório CENA-USP, para determinação do N total (%) e da abundância natural de ^{15}N , por espectrometria de massa. De acordo com Boddey et al. (2001), a concentração de ^{15}N dessa folha corresponde à da planta inteira.

As plantas espontâneas coletadas nas parcelas foram secas em estufa de circulação forçada (65 °C) até atingir peso constante, moídas e enviadas ao CENA-SP para determinação do N total (%) e da abundância natural de ^{15}N , por espectrometria de massa.

A abundância natural foi expressa em unidades de “delta” ($\delta^{15}\text{N}$), que representa o desvio por mil (‰), em relação ao N_2 atmosférico, da razão entre as massas de ^{15}N e ^{14}N do nitrogênio contido na amostra.

$$\delta = (\text{Ramostra} / \text{Rpadrão} - 1) \times 1000$$

onde Ramostra e Rpadrão são as razões $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$ da amostra e do padrão (N_2 atmosférico), respectivamente.

Nas canas identificadas como fixadoras (significativamente (Tukey $p < 0,05$) empobrecidas em ^{15}N em relação às médias das referências) foram feitas as estimativas do percentual de nitrogênio da planta derivado do ar (%Ndda), usando a fórmula recomendada por Shearer & Kohl (1986):

$$\% \text{Ndda} = [(\delta^{15}\text{N}(\text{referência}) - \delta^{15}\text{N}(\text{fixadora})) / \delta^{15}\text{N}(\text{referência}) - B] \times 100$$

onde $\delta^{15}\text{N}$ (referência – valor médio das espécies por local) é o valor médio dos $\delta^{15}\text{N}$ das plantas não fixadoras utilizadas como referência em cada área, $\delta^{15}\text{N}$ (fixadora) é o valor médio de $\delta^{15}\text{N}$ da cana em cada parcela e B é o valor de $\delta^{15}\text{N}$ para a cana cultivada na ausência de N, que foi considerado como 0‰ (MORAIS et al. 2012). No entanto foram retiradas as espontâneas que obtiveram o sinal isotópico muito discrepante.

A quantidade de N acumulado foi calculada multiplicando-se a biomassa pelas concentrações médias de N da espécie. As quantidades de N fixadas (kg ha^{-1}) foram obtidas multiplicando estas quantidades de N pelos resultados de %Ndda médios da cana em cada área estudada.

Foi realizada a análise de correlação entre os valores de ^{15}N das plantas referências e as médias anuais de precipitação pluviométrica, e entre a FBN e os atributos químicos do solo separadamente. O coeficiente de correlação foi avaliado pelo teste de t.

Os valores da %Ndda, da produção de biomassa e do conteúdo de N, em cada local foram avaliados descritivamente, com o uso da média e desvio padrão, como representado por Boddey (2001).

3.2 INDICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM DE CANA PARA DETERMINAÇÃO DA AN

O trabalho foi dividido em três ensaios, buscando-se indicar: qual parte da planta fazer a determinação da AN, (folha, colmo ou raiz); qual a folha mais adequada a ser analisada; qual o número de folhas a ser coletado (amostras simples) por parcela para compor uma amostra composta; e qual o período do ciclo da cana (DAP- dias após o plantio).

Para a determinação da AN em folhas, raiz ou colmo foi empregado o método da redução do acetileno, proposto por Hardy et al. (1968) em todos os ensaios. Os tecidos vegetais foram colocados, separadamente, em frascos de vidro de 2,5 L, que foram hermeticamente fechados. Em seguida, para não alterar a pressão interna dos frascos de vidro, foram retirados 250 mL (10% volume) de ar e introduzidos 250 mL de acetileno, deixando-os incubados por uma hora. Após este período, foram coletados 9 mL da atmosfera dos recipientes e foram armazenados em “vacuteiner” de mesmo volume. A determinação da redução do acetileno e a produção de etileno foi feita em cromatógrafo a gás, com coluna PORAPAK N empacotada, detector de ionização de chama, com temperaturas de forno, injetor e detector de, respectivamente, 70; 130; e 150° C, e vazões de N_2 (gás de arraste), H_2 e O_2 de, respectivamente 30, 30 e 300 mL min^{-1} .

A estimativa da AN foi calculada de acordo com Boddey et al. (2007), pela equação:

$$\text{AN} = \frac{(E_2 - E_1) \cdot V \cdot K_E}{244,50 \cdot S_E \cdot t \cdot m}$$

Onde:

AN = atividade da nitrogenase ($\text{mmol de C}_2\text{H}_4 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1}$); E_1 = área do pico de etileno na amostra inicial; E_2 = área do pico de etileno na amostra final; V = volume do frasco (mL);

KE = concentração do pico de etileno no padrão (mg L^{-1}); SE = área do pico de etileno no padrão; t = tempo de incubação (h); e m = massa do tecido vegetal (g).

3. 2.1 Ensaio

Primeiro: comportamento da AN nas diferentes partes da planta

O primeiro e o segundo ensaio foram realizados em campo da usina alcoolquímica do grupo JB, localizado no Engenho Cachoeirinha, na rodovia PE 45, Km 14, zona rural do município de Vitória de Santo Antão, que está localizado na mesorregião da Mata Sul de Pernambuco (IBGE, 2010). O município encontra-se na zona de transição climática dos tipos Aws e As, quente e úmido, com chuvas máximas de abril a agosto e pluviosidade média anual de 1309 mm ano^{-1} , com médias térmicas anuais de 27°C , segundo a classificação de Köppen (CPRM, 2005).

No primeiro ensaio, com o intuito de avaliar o comportamento da AN nas diferentes partes da planta, foram coletadas em campo quatro plantas completas, que foram separadas em folhas, colmo e raiz. Foram consideradas populações de cana, duas parcelas com 12 m de comprimento, e 12 m de largura, totalizando 144 m^2 , desprezando-se dois metros de cada extremidade.

Foram amostradas quatro plantas inteiras em cada uma das parcelas, sendo a planta segmentada em três compartimentos: folha, colmo e raiz. Os compartimentos foram postos em frascos de vidro de 2,500 L, e procedeu-se a determinação da AN como relatado no item (3.2.1).

Segundo ensaio: avaliação da AN nas diferentes folhas de cana-de-açúcar e indicação do número de folhas para representação de uma parcela

No segundo ensaio, foi realizado no mesmo local do primeiro, foram avaliados o valor da AN nas diferentes folhas de cana e o número de folhas para representação de uma parcela. As folhas da cana foram classificadas de acordo com a visualização do colarinho e da lígula (RAIJ & CANTARELLA, 1996): a folha mais jovem na qual se visualiza o colarinho e a lígula é denominada de folha +1; a folha que antecede esta é chamada de folha zero, sendo as demais classificadas seguindo o mesmo padrão, a partir da primeira, em folha +1 (F+1), folha +2 (F+2) e folha +3 (F+3), etc.

No centro de um canavial comercial, foi considerada como população de cana, uma área composta por oito sulcos de 10 m de comprimento, espaçados de 1 m, totalizando 80 m². No entanto, para as avaliações foram desconsiderados três sulcos de cada lateral e um metro de suas extremidades. Foram coletadas as folhas de três plantas por sulco, espaçadas por 2 m, em dois sulcos, totalizando nove repetições para cada folha. As folhas coletadas foram incubadas, separadamente, em campo, como relatado anteriormente, armazenadas em “vacuneteiner” e levadas ao laboratório para determinação da AN.

O número de indivíduos necessário para estimar a média da área (n), foi calculado pela fórmula (Barreto et al. 1974):

$$n = (t_{\alpha} CV/f)^2$$

Onde: t_{α} = valor tabelado da distribuição de t de Student para uma probabilidade α e graus de liberdade ($n-1$); CV = coeficiente de variação; e f = limite de variação aceitável em relação à média.

Terceiro ensaio: comportamento da AN em folha de cana-de-açúcar durante o ciclo

O terceiro ensaio foi conduzido na Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina (EECAC), no município de Carpina, em Pernambuco. O município também está localizado na mesorregião da Zona da Mata, com coordenadas geográficas de 7°51'04'' de latitude sul e 35°14'27'' de longitude oeste e 184 m de altitude. O clima predominante na região é do tipo As', tropical chuvoso com verão seco, precipitação média anual de 1.100 mm e temperatura média anual de 24,2 °C (KOFFLER et al., 1986).

No terceiro ensaio foi avaliado, para um f de 20%, o comportamento da AN durante o ciclo da cana, indicando o período de maior expressão. A AN foi avaliada em folhas de duas variedades de cana comerciais (RB867515 e RB92579) classificadas como fixadoras por Santos (2014), coletadas aos 70, 100, 130, 200 e 365 dias após o plantio (DAP). As avaliações ocorreram em quatro parcelas por variedade, distribuídas aleatoriamente em campo. A parcela foi composta por sete sulcos de 10 m de comprimento, espaçados por um metro, totalizando 70 m². A área útil foi formada pelos cinco sulcos centrais, descartando-se 1 m das extremidades, totalizando 40 m².

As folhas foram incubadas, em campo, como relatado anteriormente, e levadas ao laboratório para determinação da AN. Os valores da AN durante o ciclo, por variedade, foram transformados em dados relativos, sendo criada a atividade relativa da nitrogenase (ARN).

Os dados da AN deste e dos outros ensaios foram submetidos à análise de variância (ANAVA). Quando houve efeito significativo (Teste F, $p < 0,05$), foi aplicado o teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando-se o pacote estatístico Assistat Beta 7.0. Os dados do comportamento da ARN nas folhas +1 foram submetidos à ANAVA, como medidas repetidas no tempo. Para isso foi utilizado o pacote estatístico SAS Learning 2.0, seguindo o procedimento para modelo misto, sendo selecionado o teste de covariância [AR(1), Ante (1), ARH (1), ARMA (1), CS, CSH, HF, TOEP, Lin (1), UN] que apresentou o menor valor do critério de Akaike (WOLFINGER & CHANG, 1995). Análise de regressão em função do tempo foi feita quando houve efeito significativo na ANAVA (Teste F, $p < 0,05$), selecionando-se o modelo que apresentou parâmetros significativos (Teste t, $p < 0,05$) e o mais alto coeficiente de determinação (R^2).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLO E PLANTA E ESTIMATIVA DA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE N, EM SOLOS CULTIVADOS COM CANA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

Os atributos químicos do solo das amostras coletadas nos sete municípios do Agreste nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 e 0,4-0,5 m são apresentados nas Tabelas 2 e 3 e nos cinco municípios do Sertão na Tabela 4 e 5, e todos foram avaliados quanto aos níveis de fertilidade segundo Alvarez, (1999).

4.1.1 Características químicas de solo e planta em solos cultivados com cana no semiárido Pernambucano

Bonito

No município de Bonito, o pH, variou de 4,9 a 6,6, decrescendo de acordo com a profundidade (Tabela 2). De acordo com Alvarez et al. (1999), as três primeiras camadas de solo apresentaram valores considerados altos, enquanto os das camadas de 0,3 a 0,4 m e de 0,4 a 0,5 m de profundidades foram classificados como bom e baixo, respectivamente.

Os teores de Ca^{2+} variaram de 1,1 a 5,5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, tendo decrescido com a profundidade (Tabela 2). Até 0,2 m de profundidade, o teor de Ca^{2+} foi considerado muito bom, e bom na camada de 0,2 a 0,3 m (ALVAREZ et al., 1999). A redução dos teores em profundidades permitiu a classificação dos teores de Ca^{2+} das duas últimas profundidades como médio e baixo. Os teores de Mg^{2+} variaram de 0,35 a 2,32 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$. Na profundidade 0,3 a 0,4 m, o solo foi classificado como muito bom, enquanto que nas profundidades de 0,0 a 0,1 e 0,2 a 0,3 m como bom, de 0,1 a 0,2 m como médio e de 0,4 a 0,5 m como baixo.

Os teores de K^+ variaram de 0,02 a 0,19 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, tendo sido encontrados os maiores valores nas duas primeiras camadas (Tabela 2). O teor de K^+ nas duas camadas de solo mais profundas foi classificado como muito baixo. As camadas de 0,0 a 0,1 m, de 0,1 a 0,2 m de 0,2 a 0,3 m, apresentaram teores de K classificados, respectivamente, como médio, alto e médio.

Tabela 2 - Médias e desvios padrões de pH (H₂O), Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Al³⁺, (H+Al), COT e P, em camadas de solos cultivados com cana-de-açúcar, em municípios do Agreste de Pernambuco.

Município	Camada (m)	pH (H ₂ O)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	(H+Al)	COT	N	P
			cmol _c dm ³						g Kg ⁻¹		mg dm ⁻³
Bonito	0,0 – 0,1	6,6 ± 0,03	5,52 ± 0,9	1,38 ± 1,1	0,17 ± 0,0	0,18 ± 0,1	0,0 ± 0,0	2,58 ± 0,1	10,0 ± 5,4	4,1 ± 0,06	2,0 ± 0,2
	0,1 – 0,2	6,2 ± 0,04	4,78 ± 1,1	0,65 ± 1,0	0,19 ± 0,0	0,32 ± 0,0	0,05 ± 0,0	2,9 ± 0,4	41,2 ± 15,2	5,4 ± 0,06	0,3 ± 0,1
	0,2 – 0,3	6,1 ± 0,05	2,52 ± 0,9	1,4 ± 1,5	0,1 ± 0,1	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	3,7 ± 0,3	36,3 ± 8,9	2,5 ± 0,2	1,0 ± 0,0
	0,3 – 0,4	5,5 ± 0,02	1,42 ± 0,1	2,32 ± 2,1	0,04 ± 0,0	0,04 ± 0,0	0,05 ± 0,0	4,1 ± 0,2	36,3 ± 9,3	2,4 ± 0,06	2,3 ± 0,32
	0,4 – 0,5	4,9 ± 0,02	1,12 ± 0,3	0,35 ± 0,2	0,03 ± 0,0	0,03 ± 0,0	0,05 ± 0,0	4,3 ± 0,3	20,7 ± 1,1	1,7 ± 0,5	0,7 ± 0,06
Canhotinho	0,0 – 0,1	4,4 ± 0,05	1,65 ± 0,6	2,05 ± 0,6	0,26 ± 0,0	0,07 ± 0,0	0,28 ± 0,1	11,2 ± 0,6	85,5 ± 6,1	5,78 ± 0,14	3,0 ± 0,17
	0,1 – 0,2	4,2 ± 0,01	1,42 ± 0,6	1,08 ± 0,6	0,16 ± 0,0	0,08 ± 0,0	0,55 ± 0,0	10,4 ± 0,4	56,3 ± 3,7	4,07 ± 0,14	0,2 ± 0,06
	0,2 – 0,3	4,2 ± 0,01	0,98 ± 0,4	1,15 ± 0,3	0,09 ± 0,0	0,07 ± 0,0	0,35 ± 0,1	7,8 ± 0,3	45,3 ± 5,4	3,34 ± 0,32	1,3 ± 0,06
	0,3 – 0,4	4,2 ± 0,01	1,42 ± 0,1	0,88 ± 0,2	0,05 ± 0,0	0,39 ± 0,0	0,18 ± 0,1	6,4 ± 0,4	39,4 ± 2,3	3,09 ± 0,01	0,0 ± 0,0
	0,4 – 0,5	4,3 ± 0,03	1,48 ± 0,1	0,92 ± 0,2	0,04 ± 0,0	0,38 ± 0,0	0,25 ± 0,0	6,5 ± 0,6	19,6 ± 7,0	3,05 ± 0,18	0,3 ± 0,1
Caruaru	0,0 – 0,1	6,1 ± 0,04	7,62 ± 0,5	3,02 ± 0,6	0,43 ± 0,0	0,63 ± 0,0	0,00 ± 0,0	2,5 ± 0,1	68,6 ± 4,6	5,80 ± 0,13	30,3 ± 0,9
	0,1 – 0,2	6,0 ± 0,04	6,65 ± 0,3	3,15 ± 0,9	0,15 ± 0,0	0,68 ± 0,0	0,00 ± 0,0	3,4 ± 0,2	55,7 ± 2,8	4,24 ± 0,09	26,0 ± 0,1
	0,2 – 0,3	5,9 ± 0,03	5,88 ± 0,2	2,62 ± 0,3	0,15 ± 0,0	0,68 ± 0,1	0,00 ± 0,0	3,2 ± 0,4	41,7 ± 0,6	3,98 ± 0,03	62,0 ± 0,6
	0,3 – 0,4	5,9 ± 0,03	4,65 ± 0,2	2,02 ± 0,9	0,11 ± 0,0	0,82 ± 0,1	0,00 ± 0,0	4,1 ± 0,2	33,6 ± 3,5	3,38 ± 0,07	26,3 ± 0,2
	0,4 – 0,5	5,8 ± 0,02	5,05 ± 0,1	1,98 ± 0,3	0,09 ± 0,0	0,60 ± 0,2	0,00 ± 0,0	3,9 ± 0,5	32,1 ± 3,0	2,91 ± 0,03	12,0 ± 0,6
João Alfredo	0,0 – 0,1	5,0 ± 0,03	8,65 ± 0,5	6,15 ± 0,4	0,29 ± 0,0	0,05 ± 0,0	0,05 ± 0,0	5,9 ± 0,3	12,9 ± 5,5	3,70 ± 0,58	65,0 ± 0,2
	0,1 – 0,2	5,4 ± 0,01	10,42 ± 0,4	6,95 ± 0,4	0,09 ± 0,0	0,10 ± 0,0	0,02 ± 0,1	5,2 ± 0,3	17,4 ± 0,0	3,29 ± 0,34	33,7 ± 0,2
	0,2 – 0,3	5,6 ± 0,02	10,05 ± 0,4	7,48 ± 0,6	0,07 ± 0,0	0,18 ± 0,0	0,05 ± 0,00	3,8 ± 0,4	7,0 ± 0	2,73 ± 0,01	28,0 ± 0,2
	0,3 – 0,4	5,7 ± 0,01	8,62 ± 0,5	7,35 ± 1,3	0,06 ± 0,0	0,27 ± 0,0	0,02 ± 0,1	3,8 ± 0,2	22,4 ± 1,9	3,01 ± 0,05	28,0 ± 0,2
	0,4 – 0,5	5,7 ± 0,03	8,72 ± 0,2	7,18 ± 0,1	0,03 ± 0,00	0,29 ± 0,0	0,08 ± 0,1	4,4 ± 0,4	17,5 ± 2,0	1,91 ± 0,32	36,0 ± 0,1

Continua...

Município	Camada (m)	pH (H ₂ O)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	(H+Al)	COT	N	P
			----- cmol _c dm ³ -----						g dm ³	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³
Lagoa dos Gatos	0,0 – 0,1	4,8 ± 0,02	1,68 ± 0,2	2,08 ± 0,6	0,01 ± 0,00	0,50 ± 0,0	0,23 ± 0,1	12,1 ± 0,8	94,6 ± 3,2	5,64 ± 0,41	2,7 ± 0,1
	0,1 – 0,2	4,2 ± 0,04	0,92 ± 0,1	0,58 ± 0,2	0,14 ± 0,05	0,42 ± 0,0	0,03 ± 0,1	12,8 ± 0,5	55,9 ± 5,5	4,05 ± 0,39	2,0 ± 0,2
	0,2 – 0,3	4,5 ± 0,03	0,55 ± 0,1	0,38 ± 0,5	0,06 ± 0,00	0,43 ± 0,0	0,00 ± 0,0	11,0 ± 1,1	56,7 ± 4,7	3,67 ± 0,19	0,0 ± 0,0
	0,3 – 0,4	4,3 ± 0,04	0,48 ± 0,1	0,42 ± 0,2	0,04 ± 0,00	0,43 ± 0,0	0,17 ± 0,1	9,0 ± 0,8	50,8 ± 7,2	3,17 ± 0,13	1,0 ± 0,0
	0,4 – 0,5	4,3 ± 0,02	0,55 ± 0,1	0,18 ± 0,5	0,04 ± 0,00	0,46 ± 0,0	0,10 ± 0,0	7,4 ± 0,4	42,5 ± 7,7	2,29 ± 0,01	0,0 ± 0,0
Limoeiro	0,0 – 0,1	5,5 ± 0,03	0,77 ± 0,1	0,15 ± 0,2	6,44 ± 0,70	3,22 ± 0,2	0,12 ± 0,1	3,2 ± 0,1	31,2 ± 1,5	2,99 ± 0,09	46,0 ± 0,9
	0,1 – 0,2	5,4 ± 0,10	1,17 ± 0,1	0,05 ± 0,1	5,46 ± 0,07	2,02 ± 0,0	0,08 ± 0,1	3,7 ± 1,0	21,2 ± 3,5	2,77 ± 0,12	39,5 ± 0,1
	0,2 – 0,3	5,2 ± 0,01	0,63 ± 0,1	0,62 ± 0,8	4,81 ± 0,12	2,02 ± 0,0	0,08 ± 0,1	3,6 ± 0,6	10,7 ± 5,0	2,50 ± 0,23	49,0 ± 0,1
	0,3 – 0,4	4,9 ± 0,03	0,60 ± 0,1	0,02 ± 0,2	6,23 ± 0,19	1,96 ± 0,1	0,12 ± 0,1	3,8 ± 0,4	12,3 ± 3,1	2,33 ± 0,17	17,5 ± 0,4
	0,4 – 0,5	4,7 ± 0,02	0,37 ± 0,3	0,05 ± 0,4	5,67 ± 0,37	1,81 ± 0,1	0,15 ± 0,0	3,1 ± 0,4	7,6 ± 4,6	1,56 ± 0,03	4,0 ± 0,1
Painelas	0,0 – 0,1	4,0 ± 0,02	0,33 ± 0,1	0,67 ± 0,2	0,15 ± 0,00	0,39 ± 0,0	1,30 ± 0,3	10,2 ± 0,4	41,8 ± 3,7	2,27 ± 0,08	17,0 ± 0,2
	0,1 – 0,2	3,8 ± 0,02	0,18 ± 0,2	0,28 ± 0,9	0,08 ± 0,00	0,43 ± 0,1	1,60 ± 0,0	11,4 ± 0,1	32,8 ± 6,8	2,85 ± 0,12	9,3 ± 0,1
	0,2 – 0,3	3,8 ± 0,02	0,45 ± 0,2	0,25 ± 0,2	0,03 ± 0,02	0,46 ± 0,0	1,97 ± 0,1	12,2 ± 0,4	27,3 ± 5,4	2,97 ± 0,02	3,7 ± 0,1
	0,3 – 0,4	3,9 ± 0,01	0,68 ± 0,2	0,25 ± 0,3	0,18 ± 0,01	0,50 ± 0,0	1,80 ± 0,0	11,3 ± 0,3	32,8 ± 9,9	2,53 ± 0,08	2,0 ± 0,0
	0,4 – 0,5	4,0 ± 0,08	0,42 ± 0,2	0,85 ± 0,1	0,17 ± 0,00	0,42 ± 0,0	1,83 ± 0,1	11,2 ± 0,3	21,6 ± 6,9	2,68 ± 0,47	1,7 ± 0,1

Fonte: O AUTOR

Tabela 3 - Médias e desvios padrões da Capacidade de Troca de Cátions efetiva (CTCe), CTC potencial (T), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m) e potencial de sódio total (PST) estimadas a partir da análise de solos, nos municípios do Agreste Pernambucano

Município	Camada	SB	CTCe	T	V	m	PST
	m	-----	cmol _c dm ³ -----		-----	%-----	
Bonito	0,00 – 0,10	7,25±0,34	7,25±0,34	9,82± 0,43	73,79±0,06	0,00±0,02	1,81±0,34
	0,10 – 0,20	5,94±0,13	5,99±0,13	8,84± 0,35	67,15±1,84	0,83±0,01	3,58±0,26
	0,20 – 0,30	4,16±0,69	4,21±0,69	7,84± 0,36	53,02±2,87	1,19±0,05	0,86±0,01
	0,30 – 0,40	3,8 ± 2,12	3,87±2,12	7,94± 2,08	48,05±4,18	1,29±0,17	0,50±0,18
	0,40 – 0,50	1,53±0,15	1,58±0,15	5,82± 0,31	26,24±1,60	3,17±0,02	0,44±0,00
Canhotinho	0,00 – 0,10	4,03±0,44	4,31±0,40	15,25±0,85	26,42±1,28	6,57±0,58	0,44±0,01
	0,10 – 0,20	2,74±0,11	3,29±0,11	13,14±0,54	20,87±0,78	16,71±0,06	0,62±0,12
	0,20 – 0,30	2,29±0,69	2,64±0,59	10,04±0,70	22,79±2,28	13,26±1,27	0,67±0,02
	0,30 – 0,40	2,74±0,13	2,92±0,09	9,12±0,49	30,02±1,21	6,28± 0,60	4,27±0,11
	0,40 – 0,50	2,82±0,17	3,07±0,17	9,31±0,71	30,26±2,24	8,15± 0,05	4,04±0,10
Caruaru	0,00 – 0,10	11,79±0,29	11,69±0,29	2,53±0,34	82,21±0,43	0,00± 0,01	4,43±0,12
	0,10 – 0,20	10,64±0,70	10,64±0,70	3,36±0,89	76,02±0,24	0,00± 0,04	4,89±0,31
	0,20 – 0,30	9,34± 0,16	9,34± 0,16	3,19±0,27	74,53±2,05	0,00± 0,01	5,46±0,22
	0,30 – 0,40	7,60± 0,96	7,60± 0,96	4,18±0,71	64,51±2,96	0,00± 0,08	6,99±0,50
	0,40 – 0,50	7,73± 0,48	7,73± 0,48	3,91±0,91	66,46±2,27	0,00± 0,04	5,19±1,16
João Alfredo	0,00 – 0,10	15,14±0,17	15,19±0,17	21,07±0,24	71,85±0,97	0,33± 0,00	0,22±0,07
	0,10 – 0,20	17,56±0,42	17,58±0,37	22,77±0,18	77,10±0,93	0,09± 0,24	0,46±0,07
	0,20 – 0,30	17,78±0,41	17,83±0,41	21,62±0,26	82,24±1,27	0,28± 0,01	0,81±0,07
	0,30 – 0,40	16,30±1,42	16,32±1,37	20,14±1,28	80,93±1,35	0,10± 0,26	1,34±0,05
	0,40 – 0,50	16,23±0,28	16,31±0,31	20,67±0,15	78,50±1,42	0,51± 0,24	1,42±0,08

Continua...

Município	Camada	SB	CTCe	T	V	m	PST
	m	----- cmol _c dm ³ -----			----- %-----		
Lagoa dos Gatos	0,00 – 0,10	4,27± 0,87	4,50± 0,91	16,32±1,55	26,17±1,80	5,18± 0,54	3,04±0,03
	0,10 – 0,20	2,06± 0,15	2,09± 0,17	14,88±0,36	13,85±1,38	1,59± 0,87	2,80±0,04
	0,20 – 0,30	1,43± 0,36	1,43± 0,36	12,37±0,81	11,52±3,44	0,00± 0,52	3,47±0,10
	0,30 – 0,40	1,37± 0,10	1,54± 0,07	10,33±0,75	13,25±2,17	10,85±1,14	4,16±0,35
	0,40 – 0,50	1,23± 0,33	1,33± 0,33	8,60±0,10	14,30±3,01	7,52± 0,27	5,31±0,30
Limoeiro	0,00 – 0,10	10,58±0,31	10,69±0,26	13,81±0,39	76,58±1,21	1,09± 1,27	23,34±0,95
	0,10 – 0,20	8,69±0,01	8,78± 0,05	12,37±1,02	70,29±4,67	0,95± 0,59	16,30±1,01
	0,20 – 0,30	8,08± 0,68	8,16± 0,65	11,70±0,41	69,05±4,35	1,02± 0,72	17,24±0,46
	0,30 – 0,40	8,81± 0,31	8,93± 0,33	12,65±0,72	69,66±1,22	1,31± 0,57	15,52±0,47
	0,40 – 0,50	7,89± 0,47	8,04± 0,47	11,01±0,17	71,62±3,47	1,87± 0,12	16,40±0,70
Panelas	0,00 – 0,10	1,54± 0,27	2,84± 0,50	11,72±0,67	13,16±0,93	45,74±2,60	3,32±0,13
	0,10 – 0,20	0,98± 0,65	2,58± 0,65	12,42±0,69	7,86±2,95	62,11±3,29	3,46±0,37
	0,20 – 0,30	1,19± 0,29	3,15± 0,34	13,34±0,38	8,90±1,66	62,35±0,91	3,42±0,06
	0,30 – 0,40	1,61± 0,31	3,41± 0,31	12,94±0,30	12,46±1,77	52,75±1,26	3,84±0,05
	0,40 – 0,50	1,86± 0,23	3,69± 0,26	13,08±0,40	14,21±1,16	49,67±0,79	3,18±0,06

Fonte: O AUTOR

O teor de Na^+ variou de 0,03 a 0,19 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$. As duas primeiras camadas apresentaram resultados maiores e com o aumento da profundidade os valores foram decrescendo. A classificação dos solos quanto à sodicidade foi realizada de acordo com as classes de PST propostas por Massoud (1971), citadas por Pizarro Cabello (1985; 1996) e Embrapa, (2013). Em todas as profundidades, o solo de Bonito foi classificado como não-sódico, tendo o PST variado de 0,44 a 3,58% (Tabela 3).

Os valores de N total estão muito relacionados ao teor de MOS, geralmente é encontrado maior concentração nas camadas superficiais (Alvarez, 1999), o que foi observado nos municípios do Agreste. O valor de N variou de 1,56 a 5,80 g kg^{-1} , o menor e maior valor respectivamente, na camada de 0,4 -0,5 m de Limoeiro e na camada de 0,1 -0,4 m de Caruaru. Todos os valores de N encontrados no Agreste apresentaram comportamento semelhante ao COT.

A SB variou entre 1,53 a 7,25 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, decrescendo com o aumento da profundidade (Tabela 3). Na camada de 0,0 a 0,1 m, a SB foi classificada como muito boa, a camada de 0,4 a 0,5 foi classificada como baixo e as demais camadas (0,1 a 0,4 m) foram classificadas como bom.

Os teores de Al^{3+} encontraram-se abaixo de $1\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, variando de 0,00, na superfície, a 0,05 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ nas demais profundidades, sendo classificado assim como muito baixo (Tabela 2). Semelhantemente, o valor de m variou de 0,00% a 3,17%, aumentando com a profundidade e recebendo a classificação de muito baixo (Tabela 3).

A CTCe variou de 1,58 a 7,27 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, decrescendo com o aumento da profundidade. Os valores de CTCe das duas primeiras profundidades 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m respectivamente 7,25 e 5,99 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ foram classificados como bom, das duas profundidades seguintes como médio e da última como baixo (Tabela 3). Os valores de H+Al aumentaram com a profundidade, variando de 2,58 a 4,29 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, sendo classificados como médios em todas as profundidades, resultado esperado considerando que os valores de pH e Al^{3+} tiveram o mesmo comportamento.

Os valores de T diminuíram à medida que a profundidade aumentou, variando de 5,82 a 9,82 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, sendo os valores das profundidades de 0,0 até 0,2 m classificados como bom e das demais como médio. Os valores de V apresentaram o mesmo comportamento e variaram de 26,2% a 73,8%, nas duas camadas superficiais foram classificadas como bom, das duas seguintes como médio e da última profundidade como baixo.

Houve aumento nas concentrações de COT com a profundidade, possivelmente por ser uma área de várzea e a MOS ter descido no perfil já que é uma área baixa e a água escoar pra

essa áreas, levando os nutrientes e MO formando deposito, assim como Na e Mg, que tiveram comportamento semelhante no solo desse município (Tabelas 2). Os teores variaram de 10,0 a 41,2 g Kg⁻¹. No entanto, os valores foram mínimos, sendo classificado como baixos na profundidade de 0,1 a 0,2 m e bom nas demais.

As concentrações de P no município variaram de 0,33 a 2,33 mg dm⁻³ e foram classificadas como baixas em todas as profundidades, de acordo com o manual de recomendação de adubação para Pernambuco (IPA, 2008).

O solo do local é um Argissolo (Tabela 1), que se apresenta com características químicas variáveis, podendo ser fértil ou não. Neste caso, como o solo apresenta os valores dos atributos químicos classificados de médio à alto, decrescendo com a profundidade, acredita-se que esse comportamento se deve ao efeito da calagem e da adubação em cobertura, proporcionando concentrações maiores na superfície do solo. No entanto, as condições climáticas e o manejo do solo podem estar desfavorecendo alguns atributos, como o P e MOS.

Canhotinho

Os valores de pH dos solos no município de Canhotinho variaram de 4,2 a 4,4, sendo classificado por Alvarez et al. (1999) como muito baixo. Os teores de Ca²⁺ variaram de 0,98 a 1,65 cmol_cdm⁻³, sendo maior na profundidade de 0,0 a 0,1 m e classificado como médio, as demais profundidades também tiveram a mesma classificação, exceto de 0,2 a 0,3 m que foi baixo (Tabela 2). Os teores de Mg²⁺ apresentaram comportamento semelhante, variando de 0,88 a 2,05 cmol_cdm⁻³, apenas na profundidade de 0,0 a 0,1 m a classificação foi muito bom, mas, a relação Ca/Mg está desbalanceada, sendo a ideal 4:1. Com exceção dos valores na profundidade de 0,3 a 0,4 m que ficou classificada como médio, nas demais profundidade apresentaram teor de Mg²⁺ bom (Tabela 2).

Os teores de K⁺ variam de 0,04 a 0,26 cmol_cdm⁻³, decrescendo com a profundidade. As profundidades 0,0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m foram classificadas, respectivamente, como bom e médio, e as três seguintes como baixo. Quanto aos teores de Na⁺, os valores foram maiores em profundidade, variando de 0,07 a 0,39 cmol_cdm⁻³ (Tabela 2). Os valores de PST também aumentaram com a profundidade, variando de 0,44% a 4,27% (Tabela 3), no entanto, foram mínimos, classificando o solo como não-sódico. A SB variou de 2,29 a 4,03 cmol_cdm⁻³, apresentando maior resultado na primeira camada do solo, sendo assim classificada como

bom. Já as demais profundidades, segundo Alvarez et al. (1999), foram classificadas como médio (Tabela 3).

Os teores de Al^{3+} variaram de 0,18 a 0,55 $cmol_c dm^{-3}$, classificando-os nas camadas, quanto a essa variável, como baixo nas profundidades de 0,0 a 0,10 m, 0,2 a 0,3 m e 0,4 a 0,5 m, muito baixo, na profundidade de 0,3 a 0,4 m e médio na de 0,1 a 0,2 m. Concomitantemente, nas profundidades em que o teor de Al^{3+} foram mais altos os teores de m também foram mais altos (Tabelas 2 e 3), mas não é um resultado negativo, considerando que os valores variaram de 6,28% a 16,71%, sendo os valores de m no solo classificado como baixo na profundidade de 0,1 a 0,2 m, e muito baixo nas demais profundidades.

A CTCe apresentou maior resultado na camada mais superficial do solo (Tabela 3), com valores variando de 2,64 a 4,31 $cmol_c dm^{-3}$, classificando o solo com teor de CTCe médio em todas as profundidades. Os teores de (H+Al) variaram de 6,38 a 11,22 $cmol_c dm^{-3}$, decrescendo com a profundidade (Tabela 2). O solo foi classificado, quanto a essa variável, como muito alto nas profundidades de 0,0 a 0,1 m e 0,1 a 0,2 m, e alto nas demais profundidades.

Os valores de T decresceram com o aumento da profundidade, variando de 9,12 a 15,25 $cmol_c dm^{-3}$, tendo a camada mais superficial apresentado maiores teores classificados como muito bons e as demais profundidades, como bons. Os valores de V variaram de 20,9% a 30,3%. As duas camadas mais profundas apresentaram a V mais altas, considerando que os valores de T foram menores nessas profundidades, esse já era um resultado esperado. No entanto, o valor de V foi baixo em todas as profundidades (Tabela 3).

O COT teve valores decrescentes em profundidade, sendo, com a variação de 19,6 a 85,5 $g Kg^{-1}$ (Tabela 2 e 3). Nas três primeiras profundidades o COT foi classificado como muito bom, e nas duas profundidades seguintes como Bom. O teor de P foi maior na profundidade de 0,0 a 0,1 m, variando de 0,0 a 3,00 $mg dm^{-3}$, e sendo classificado como baixo (IPA, 2008).

O solo de Canhotinho foi classificado como um Latossolo, que formado pelo processo de latolização é caracterizado por ser bastante intemperizado, mas pouco fértil devido a remoção da sílica e de bases trocáveis (NOVAIS et al., 2007). Possivelmente, devido a isso e ao manejo inadequado, o solo da área apresentou-se ácido, com elevado teor de (H+Al) e deficiente em bases trocáveis, consequentemente baixa saturação por bases. Como a cana estava no 10º ciclo (Tabela 1), as fontes de nutrientes do solo já estariam esgotadas pela falta de reposição por meio de uma adubação eficiente.

Caruaru

Os valores de pH no município de Caruaru variaram de 5,8 a 6,1, e foram decrescentes em profundidade (Tabela 2). Esse município apresentou um dos melhores resultados quanto a essa variável em todas as profundidades, sendo classificado por Alvarez et al. (1999) como alto na profundidade de 0,0 a 0,1 m e bom nas demais profundidades, apresentando-se numa faixa adequada para maioria das culturas (ALMEIDA, 2013).

Os teores de Ca^{2+} variaram de 4,65 a 7,62 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, e foram diminuindo com a profundidade, mas, apresentaram valores satisfatórios em todas as profundidades, sendo classificado como muito bom. Os teores de Mg^{2+} variaram de 1,98 a 3,15 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, e diminuíram em profundidade, com exceção da camada de 0,1 a 0,2 m. No entanto, os teores desse macronutriente foram classificados como muito bom em todas as profundidades.

Os teores de K^+ decresceram com a profundidade e variaram de 0,09 a 0,43 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, sendo classificado como muito bom e baixo, respectivamente, nas camadas de 0,0 a 0,1 m e 0,4 a 0,5 m. Nas demais profundidades o teor de K^+ foi classificado como médio. Os valores do teor de Na^+ variaram de 0,60 a 0,82 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ (Tabela 2). Do ponto de vista da fertilidade do solo esses valores não são bons, pois, estão maiores que os teores de K^+ , no entanto, segundo os valores do PST o solo foi classificado como não-sódico, com PST variando de 4,43% a 6,99% (Tabela 3). A SB variou de 7,60 a 11,69 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, diminuindo em profundidade, sendo classificada em todas as profundidades como muito bom (Tabela 3).

Os teores de Al^{3+} no município, em todas as profundidades estudadas, foram 0,0 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, conseqüentemente os valores de m também obtiveram o mesmo resultado, sendo ambas variáveis classificadas como muito baixo (Tabelas 2 e 3). Devido a esse resultado nos teores de Al^{3+} , os valores da CTCe, igualmente a SB, também variaram de 7,60 a 11,69 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, sendo classificada como muito bom nas três primeiras profundidades e bom nas duas últimas (Tabela 3).

Os teores de (H+Al) variaram de 2,53 a 4,18 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, sendo classificado em todas as profundidades como médio (Tabela 2). Os valores de T foram diminuindo com a profundidade, variando de 11,63 a 14,22 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, sendo classificado como bom em todas as profundidades (Tabela 3). Os valores de V decresceram em profundidade e variaram de 64,51% a 82,21%. Foram classificados como muito bom na profundidade de 0,0 a 0,1 m e bom nas demais profundidades.

As quantidades de COT e de MOS foram decrescentes com a profundidade, os valores de COT variando de 32,1 a 68,6 g Kg^{-1} (Tabelas 2 e 3). O solo foi classificado, quanto como

muito bom nas três primeiras camadas e como bom nas duas últimas. Os teores de P tiveram variação de 12,00 a 62,00 mg dm⁻³, classificando-o, segundo o IPA (2008), como alto.

O solo no município de Caruaru apresentou um ótimo resultado quanto à fertilidade. Segundo a Embrapa (2000), a cidade apresenta grande distribuição de Argissolos Amarelos, desenvolvidos de rochas do Pré-Cambriano em áreas úmidas, trata-se de solos profundos com fertilidade natural baixa a muito baixa. No entanto, os resultados obtidos na caracterização química são diferentes, possivelmente devido a recente adubação feita na área de plantio da cana, onde foi realizada a coleta do solo.

João Alfredo

Os valores de pH no município de João Alfredo assumiram valores crescentes com a profundidade, variando de 5,0 a 5,7 (Tabela 2). Nas profundidades de 0,0 a 0,1 m e 0,1 a 0,2 m, o pH foi classificado como baixo e nas demais profundidades, como bons.

Os teores de Ca²⁺ variaram de 8,62 a 10,42 cmol_cdm⁻³, apresentando maiores resultados nas profundidades de 0,1 a 0,2 m e 0,2 a 0,3 m. No entanto, em todas as profundidades foram classificados com teor de Ca²⁺ muito bom. Os teores de Mg²⁺ variaram de 6,16 a 7,48 cmol_cdm⁻³ e os maiores teores encontram-se nas profundidades de 0,2 a 0,3 m e 0,3 a 0,4 m. O Mg²⁺ foi classificado como muito bom em todas as profundidades. Vale ressaltar que os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺, em algumas profundidades, estiveram bastante acima da maior classificação descrita por Alvarez et al. (1999).

O teor de K⁺ variou de 0,03 a 0,29 cmol_cdm⁻³, na profundidade de 0,0 a 0,1 m obteve o maior teor, sendo classificado como bom. A medida que aumentava a profundidade o teor do nutriente diminuía, classificando-o como baixo e muito baixo. Os teores de Na⁺ tiveram comportamento diferente, assumindo valores crescentes com o aumento da profundidade. Variando de 0,05 a 0,29 cmol_cdm⁻³, os teores de Na⁺ foram classificados de acordo com o PST, esse variou de 0,22% a 1,42%, aumentado com a profundidade e classificando o solo como não-sódico (Tabela 3).

Os valores da SB variaram de 15,14 a 17,78 cmol_cdm⁻³, apresentando valores maiores nas profundidades de 0,0 a 0,1 m e 0,1 a 0,2 m (Tabela 3). O solo foi classificado quanto a essa variável como muito bom em todas as profundidades. Os teores de Al³⁺ variaram de 0,02 a 0,08 cmol_cdm⁻³, sendo classificado como muito baixo nas profundidades estudadas, consequentemente os valores de m variaram de 0,09% a 0,51%, classificado também como muito baixo (Tabela 2 e 3).

A CTCe variou entre 15,19 e 17,83 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, classificando o solo como muito bom nesse aspecto. Os teores de (H+Al) variaram de 3,84 a 5,93 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, sendo maiores nas profundidades de 0,0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m e assim, classificadas com alto teor de (H+Al) (Tabela 2). Nas demais profundidades a acidez potencial foi classificada como média. Os teores de T variaram de 20,14 a 22,77 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, classificando o solo como muito bom quanto a essa variável. Os valores de V variaram de 71,8% a 82,2%, sendo classificados como muito bons nas profundidades de 0,2 a 0,3 m e 0,3 a 0,4 m e como bons nas demais profundidades (Tabela 3).

Os resultados do COT variaram de 7 a 22 g kg^{-1} classificando-os como muito baixo na profundidade de 0,2-0,3 m e médio nas demais profundidades estudadas (Tabela 2). Conseqüentemente, os valores da MOS também obtiveram essa classificação com teores variando de 0,06 a 4,48 g kg^{-1} (Tabela 3). Os teores de P variaram de 28,00 a 65,00 mgdm^{-3} , com resultados mais expressivos na camada mais superficial, classificando o solo, quanto ao teor de P, como alto (Tabela 2).

Os teores dos nutrientes no município de João Alfredo apresentaram-se bons, no entanto, nas camadas superficiais, principalmente, o solo apresenta-se ácido e com elevado teor de (H+Al). Apesar de ser um Argissolo, os teores das bases trocáveis (Ca^{2+} e Mg^{2+}) deve ser resultante de adubação química, porém vê-se a necessidade de fazer a correção do solo com calcário para melhor aproveitamento desses nutrientes.

Lagoa dos Gatos

Os resultados do pH no município de Lagoa dos Gatos variaram de 4,2 a 4,8, classificando como muito baixo nas profundidades de 0,1 a 0,2 m, 0,3 a 0,4 m e 0,4 a 0,5 m e baixo nas profundidades de 0,0 a 0,1 m e 0,2 a 0,3 m (Tabela 2). Os teores de Ca^{2+} variaram de 0,48 a 1,68 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ sendo classificado por Alvarez et al. (1999) como médio na camada mais superficial e baixo nas quatro profundidades seguintes. Os teores de Mg^{2+} variaram de 0,18 a 2,08 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ com resultado classificado como muito bom na profundidade de 0,0 a 0,1 m, médio na profundidade de 0,1 a 0,2 m e baixo nas demais profundidades (Tabela 2).

Os teores de K^+ variaram de 0,01 a 0,14 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ e foram classificados como muito baixo na profundidade de 0,0 a 0,1 m, médio na profundidade de 0,1 a 0,2 m, e baixo nas demais profundidades (Tabela 2). Os teores de Na^+ variaram de 0,42 a 0,50 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, valores baixos, pois o PST foi classificado como não-sódico tendo variado de 2,80% a 5,31% (Tabelas 2 e 3), no entanto, os valores de Na^+ foram maiores que os de K^+ , mostrando um

desbalanceamento entre os dois cátions pois o Na^+ não é um nutriente essencial para cana.

Os valores da SB variaram de 1,23 a 4,27 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ apresentando valores decrescentes com a profundidade. Na profundidade de 0,0 a 0,1 m a SB foi classificada como boa, na de 0,1 a 0,2 m foi classificada como média e nas demais como baixa (Tabela 3). Os teores de Al^{3+} também foram baixos nos solos do município, variando de 0,00 a 0,23 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ os valores foram classificados como baixo na profundidade de 0,0 a 0,1 m e muito baixo nas profundidades seguintes (Tabela 2). Conseqüentemente, os valores de m também foram classificados como muito baixo em todas as profundidades e a variaram de 0,00% a 10,85% (Tabela 3).

Os resultados da CTCe também foram menores em profundidade, com variação de 1,33 a 4,50 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$. Ela foi classificada como média na profundidade de 0,0 a 0,1 m e baixa nas demais profundidades (Tabela 3). O (H+Al) variou de 7,37 a 12,82 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, sendo classificado nas três primeiras profundidades como muito alto, e nas duas últimas como alto (Tabela 2). Os valores de T variaram de 8,60 a 16,32 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ apresentando valores decrescentes com a profundidade. Na profundidade de 0,0 a 0,1 m foi classificado como muito bom, de 0,1 a 0,2 m, 0,2 a 0,3 m e 0,3 a 0,4 m foi classificado como bom, e na profundidade de 0,4 a 0,5 m como médio (Tabela 3). A V variou de 11,52% a 26,17% e foi classificada como baixa na profundidade de 0,0 a 0,1 m e muito baixa nas demais profundidades (Tabela 3).

Os valores de COT variou de 42,5 a 94,6 g Kg^{-1} , sendo decrescentes em profundidade (Tabelas 2 e 3). Os valores de COT foram classificados como muito bons em todas as profundidades. Os teores de P variaram de 0,00 a 2,67 mg dm^{-3} , apresentando maior resultado na camada de 0,0 a 0,1 m, no entanto, foram classificados como baixo em todas as profundidades (Tabela 2).

O solo de Lagoa dos Gatos é um Argissolo, com valores de nutrientes baixos e valores de pH e H+Al elevados. As características da classe do solo somada a falta de adubação, possivelmente, contribuíram para a baixa fertilidade desse solo.

Limoeiro

No município de Limoeiro, os valores de pH variaram de 4,7 a 5,5 e foram decrescentes com a profundidade. Sendo esse valor classificado como bom na profundidade de 0,0 a 0,10 m e baixa nas demais profundidades. Os teores de Ca^{2+} variaram de 0,37 a 1,17 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ classificando-se como muito baixo na profundidade de 0,4 a 0,5 m e baixo nas

demais profundidades. Os valores de Mg^{2+} variaram de 0,02 a $0,62\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ sendo classificado como médio na profundidade de 0,2 a 0,3 m e muito baixo nas demais profundidades (Tabela 2).

Os teores de K^+ variaram de 4,81 a $6,44\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ (Tabela 2), e foram classificados como muito bom, estando bastante acima da maior classificação descrita por Alvarez et al. (1999). Os teores de Na^+ variaram de 1,81 a $3,22\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, decrescendo com a profundidade essa variável foi classificado segundo os valores do PST, esse variou de 15,52% a 23,34%, classificando o solo como fortemente sódico na profundidade de 0,0 a 0,1 m e medianamente sódico nas demais profundidades (Tabela 2 e 3). Esse resultado não é bom, do ponto de vista da fertilidade, pois o Na^+ não é um elemento essencial. A presença de Na^+ nos solos afeta o rendimento da cana, devido à baixa absorção de água pelas raízes, causada pelos efeitos do potencial osmótico, ou devido à toxicidade de íons. Também pode reduzir a população microbiana, fazendo com que a taxa de mineralização seja baixa diminuindo, assim, a liberação de enxofre e nitrogênio da matéria orgânica para as plantas (CHAVES, 1998).

A SB variou de 7,89 a $10,58\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ sendo essa variável classificada como muito boa em todas as profundidades (Tabela 3). Os teores de Al^{3+} variaram de 0,08 a $0,15\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ e foi classificado como muito baixo nas profundidades estudadas, conseqüentemente, os valores de m também receberam essa classificação, variando de 0,95% a 1,87% (Tabelas 2 e 3). A CTCe variou de 8,04 a $10,69\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ e foi classificada como muito boa. Os teores de H+Al variaram de 3,13 a $3,84\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, sendo classificado como médio.

Os teores de T variaram de 11,01 a $13,81\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$. Sendo classificado como bom em todas as profundidades. Quanto a porcentagem de V, a variação foi de 69,05% a 76,58% sendo classificada como boa em todas as profundidades (Tabela 3).

Os teores de COT variaram de 7 a $31,2\text{g Kg}^{-1}$ e foi classificado como bom na primeira camada e como baixo e médio nas demais (Tabela 2), os valores foram decrescentes com a profundidade. Os teores de P variaram entre 4,00 e $49,00\text{mgdm}^{-3}$, sendo classificados como baixo na profundidade de 0,4 a 0,5 m e alto nas demais profundidades.

Segundo a Tabela 1, no município de Limoeiro a cana estar no seu primeiro ano de cultivo, e geralmente é feito o preparo do solo antes da implantação da cultura a fim de proporcionar condições necessárias ao seu desenvolvimento. Entretanto, nota-se que além de

se tratar de um Argissolo de baixa fertilidade natural, este não foi corrigido adequadamente, pois, algumas bases trocáveis estão em níveis muito baixos.

Panelas

No município de Panelas, os valores de pH variaram de 3,8 a 4,0, sendo classificados como muito baixo, ou seja, são solos ácidos (Tabela 2). Essa faixa de pH é prejudicial para o desenvolvimento da maioria das culturas, considerando que a faixa ideal é de 5,5 a 6,0 (ALVAREZ et al., 1999). Quanto aos teores de Ca^{2+} eles variaram de 0,33 a 0,68 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, isso classifica o teor do nutriente em muito baixo nas profundidades de 0,0 a 0,10 m e 0,10 a 0,2 m e baixo, nas demais profundidades. Os teores de Mg^{2+} variaram de 0,25 a 0,85 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ sendo classificado como baixo nas profundidades estudadas (Tabela 2).

Os teores de K^+ variaram de 0,03 a 0,18 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, sendo classificados como bons apenas na profundidade de 0,3 a 0,4 m, enquanto que nas profundidades de 0,0 a 0,1 m, 0,1 a 0,2 m e 0,4 a 0,5 m foram médios e na de 0,2 a 0,3 m baixo (Tabela 2). Os teores de Na^+ variaram de 0,39 a 0,50 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, considerados baixos, pois, o PST variou de 3,18% a 3,84%, classificando o solo como não-sódico (Tabelas 2 e 3).

Os resultados da SB variaram de 0,98 a 1,86 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ e foram classificados como médio na profundidade de 0,4 a 0,5 m e baixo nas demais profundidades (Tabela 3). Os teores de Al^{3+} ultrapassaram 1 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ (Tabela 2), podendo ser tóxico para as plantas cultivadas (LIMA, 2015). Os valores variaram de 1,30 a 1,83 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ e foram classificados como alto, conseqüentemente os valores de m também foram elevados, variando de 45,74% a 62,35%, esse resultado classifica essa variável como médio nas profundidades de 0,0 a 0,1 m e 0,4 a 0,5 m e como alto nas demais profundidades (Tabelas 2 e 3).

A CTCe variou de 2,58 a 3,69 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ e foi classificada como média em todas as profundidades. Quanto aos teores de (H+Al) esses foram classificados como muito alto em todas as profundidades, com variação de 10,18 a 12,16 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ esse já era um resultado esperado considerando que a acidez ativa do solo do município também foi elevada (Tabela 2). Os valores de T variaram de 11,72 a 13,34 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ classificando essa variável com teor bom em todas as profundidades. Os teores de V variaram de 7,86% a 14,21% sendo considerado muito baixo, o que era esperado já que a SB teve baixos resultados (Tabela 3).

O COT foi variou de 21,6 a 42,8 kg^{-1} sendo classificado como muito bom na primeira camada, como médio na última camada e como bom nas demais. Os teores de P variaram de

1,67 a 17,00 mg dm⁻³ decrescendo com a profundidade. Nas profundidades de 0,0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m o teor de P foi classificado como alto e médio, respectivamente. Já nas demais profundidades os teores foram baixos (Tabela 2).

O solo do município de Panelas foi classificado como um Latossolo, a baixa fertilidade é característica desse tipo de solo, esse aspecto associado ao baixo histórico (Apêndice B) de chuvas pode ter contribuído para os resultados obtidos, pois a água auxilia na disponibilidade de nutrientes do solo (Tabela 2). As práticas agrícolas como calagem e adubação, segundo os resultados, também se mostram ausentes na área estudada, podendo assim comprometer a produtividade.

Araripina

O município de Araripina o pH variou 5,56 a 5,89 entre as camadas, bom segundo a classificação agronômica de Alvarez (1999). O Ca²⁺ foi maior na camada de 0,0 a 0,1 entre as camadas variou de 6,53 a 17 cmol_cdm⁻³ e todos foram classificados como muito bons. O Mg²⁺ variou de 5,17 a 6,57 cmol_cdm⁻³ também classificados como muito bom em todas as profundidades. O Al³⁺ foi muito baixo em todas as camadas, variado entre 0,08 a 0,10 cmol_cdm⁻³. O H+Al variou de 3,71 a 4,57 apresentou valor médio segundo Alvarez (1999).

O COT apresentou-se muito bom nas profundidades de 0,0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m, bom de 0,2 a 0,3 a 0,4 m e muito baixo na camada de 0,4 a 0,5 m, decrescendo de acordo com a profundidade. O P variou entre 0,12 e 0,72 mg dm⁻³ com o maior valor na primeira camada, sendo classificados como baixo em todas as camadas, de acordo com a recomendação de adubação de cana de açúcar do IPA (2008).

O Na⁺ variou de 0,18 a 1,5 cmol_cdm⁻³ nas camadas, sendo considerado como baixo nas três primeiras camadas e alto nas últimas camadas, já que a PST nas camadas de 0,0 a 0,3 m ficou classificada como um solo não-sódico, e nas camadas de 0,3-0,4 e 0,4-0,5 m ficou classificado como solódico (EMBRAPA,2013). O K⁺ variou de 0,21 a 0,76 cmol_cdm⁻³ decresceu de acordo com a profundidade, sendo classificado como muito bom nas duas primeiras camadas e como bom nas demais.

Os valores de N nos solos do Sertão variaram de 0,92 a 4,34 g kg⁻¹, os valores foram compatíveis com o COT em todos os municípios, decresceram de acordo com a profundidade com exceção de Santa Cruz da Baixa verde.

Os valores da SB variaram de 12,17 a 25,47 cmol_cdm⁻³ nas profundidades, CTCe variou de 12,26 a 25,42 cmol_cdm⁻³ nas profundidades, e T variou de 16,30 a 29,65 cmol_cdm⁻³

nas profundidades, todos foram classificadas como muito bom. O V foi muito bom nas camadas de 0,0 a 0,1 m e 0,4 a 0,5 m, respectivamente 85,94 e 80,01 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, e foi classificado como bom nas demais camadas. O m foi muito baixo em todas as profundidades, variando de 0,39 a 1,35 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$.

Petrolina

No município de Petrolina o pH foi classificado como bom nas profundidades de 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m e nas demais profundidades foi classificado como baixo, variando de 4,85 a 5,54. O Ca^{2+} foi classificado como bom em todas as profundidades variando de 7,10 a 17,40 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$. O Mg foi classificado como muito bom em todas as profundidades, variando de 1,80 a 6,10 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$. O K^+ variou de 0,56 a 1,98 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, sendo classificado como muito bom em todas as camadas.

O Na^+ variou de 0,29 a 0,83 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, caracterizando uma PST de 1,31 a 2,99% classificando-se como não-sódico (EMBRAPA, 2013). O P variou de 0,23 a 1,04 mg dm^{-3} , sendo classificado em todas as camadas como baixo (EMBRAPA, 2008)

O Al^{3+} foi classificado como baixo na camada de 0,4-0,5 m com o valor de 0,32 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ e foi muito baixo nas demais profundidades variando de 0,02 a 0,12 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$. O H+Al foi classificado como bom em todas as profundidades variando de 5,83 a 6,77 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$. O COT decresceu de acordo com a profundidade (39,4 a 3,2 gkg^{-1}) sendo classificada as duas primeiras camadas como bom, a última camada baixo e as de 0,2 a 0,4 como médio (Alvarez, 1999).

A SB variou de 15,94 a 21,62 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, a CTCe variou de 15,96 a 21,72 variou de 15,94 a 21,62 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, e o T variou de 22,49 a 27,61 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, e todos foram classificados como muito bom em todas as profundidades. O V foi classificado como bom em todas as profundidades e variou de 70,96 a 78,27%. O m foi muito baixo em todas as camadas, variando de 0,1 a 1,59%.

Tabela 4 - Médias e desvios padrões de pH (H₂O), Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Al³⁺, (H+Al), COT e P, nas camadas de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 e 0,4-0,5 m, nos municípios do Sertão de Pernambuco

Município	Camada (m)	pH (H ₂ O)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H+Al	COT	N	P
			----- cmol _c dm ⁻³ -----					g Kg ⁻¹		mg dm ⁻³	
Araripina	0,0 – 0,1	5,75 ± 0,04	17,00 ± 0,29	6,57 ± 1,81	0,76 ± 0,03	1,14 ± 0,03	0,10 ± 0,0	4,18 ± 0,63	39,4±1,2	3,81±0,20	0,72±0,05
	0,1 – 0,2	5,59 ± 0,02	8,23 ± 0,23	5,33 ± 0,43	0,55 ± 0,32	0,27 ± 0,10	0,08 ± 0,0	4,57 ± 0,25	38,1± 1,8	3,65±0,23	0,17±0,08
	0,2 – 0,3	5,56 ± 0,05	6,53 ± 0,59	5,17 ± 0,96	0,29 ± 0,05	0,18 ± 0,06	0,08 ± 0,06	4,13 ± 0,17	19,8± 1,9	0,49±0,11	0,12±0,01
	0,3 – 0,4	5,64 ± 0,03	6,90 ± 0,10	7,07 ± 1,24	0,21 ± 0,00	1,33 ± 0,03	0,10 ± 0,06	4,54 ± 0,33	14,0± 3,9	2,42±0,09	0,15±0,05
	0,4 – 0,5	5,89 ± 0,06	6,93 ± 0,25	6,20 ± 0,34	0,21 ± 0,05	1,51 ± 0,07	0,10 ± 0,0	3,71 ± 0,17	3,2± 2,1	1,87±0,23	0,12±0,07
Petrolina	0,0 – 0,1	5,25 ± 0,02	9,90 ± 1,06	6,10 ± 0,65	1,78 ± 0,11	0,42 ± 0,42	0,12 ± 0,0	5,83 ± 0,85	36,7± 2,2	4,34±0,14	1,04±0,09
	0,1 – 0,2	5,31 ± 0,01	7,10 ± 5,68	4,50 ± 0,49	0,92 ± 0,02	0,29 ± 0,02	0,02 ± 0,0	6,55 ± 0,81	36,3± 0,7	4,02±0,06	1,03±0,06
	0,2 – 0,3	5,52 ± 0,04	16,50 ± 0,86	1,80 ± 0,60	0,63 ± 0,02	0,70 ± 0,03	0,13 ± 0,58	6,77 ± 0,29	24,1± 1,0	3,77±0,06	0,81±0,05
	0,3 – 0,4	5,54 ± 0,03	17,40 ± 1,06	2,83 ± 1,5	0,56 ± 0,02	0,83 ± 0,0	0,10 ± 0,0	6,00 ± 0,10	17,0± 6,8	2,71±0,19	0,82±0,06
	0,4 – 0,5	4,85 ± 0,06	12,43 ± 1,26	6,13 ± 0,72	0,62 ± 0,12	0,63 ± 0,06	0,32 ± 0,0	6,00 ± 0,34	6,6± 2,1	2,05±0,17	0,23±0,04
Santa Cruz da Baixa Verde	0,0 – 0,1	5,44 ± 0,05	1,77 ± 0,12	1,10 ± 0,81	0,27 ± 0,0	0,45 ± 0,0	0,08 ± 0,06	6,74 ± 0,10	14,8± 3,8	0,32±0,24	0,55±0,07
	0,1 – 0,2	4,82 ± 0,27	0,83 ± 0,25	1,73 ± 0,43	0,16 ± 0,02	0,45 ± 0,0	0,12 ± 0,10	6,19 ± 0,17	8,2± 1,4	1,58±0,04	0,47±0,04
	0,2 – 0,3	5,43 ± 0,02	2,43 ± 0,20	0,27 ± 0,31	0,15 ± 0,0	0,49 ± 0,0	0,10 ± 0,0	2,56 ± 0,33	9,5± 4,5	1,48±0,03	0,52±0,11
	0,3 – 0,4	5,39 ± 0,03	1,73 ± 0,06	1,33 ± 0,15	0,19 ± 0,02	1,27 ± 0,03	0,10 ± 0,0	4,37 ± 0,17	2,1± 3,7	0,50±0,01	0,90±0,36
	0,4 – 0,5	5,42 ± 0,02	1,37 ± 0,32	1,50 ± 0,50	0,18 ± 0,0	1,32 ± 0,05	0,10 ± 0,0	3,82 ± 0,25	5,8± 0,3	0,95±0,05	0,34±0,002
Santa Maria da Boa Vista	0,0 – 0,1	4,74 ± 0,07	4,43 ± 0,25	2,13 ± 0,26	0,30 ± 0,03	0,22 ± 0,04	0,12 ± 0,10	6,00 ± 0,50	19,2± 3,3	1,62±0,14	1,17±0,04
	0,1 – 0,2	4,57 ± 0,01	3,57 ± 0,12	1,50 ± 0,10	0,32 ± 0,02	1,27 ± 0,05	0,13 ± 0,06	4,81 ± 0,25	11,4± 2,4	1,28±0,05	0,95±0,09
	0,2 – 0,3	4,59 ± 0,00	4,87 ± 0,92	3,27 ± 0,23	0,15 ± 0,00	0,43 ± 0,03	0,50 ± 0,10	4,79 ± 0,59	16,6± 3,2	0,91±0,02	0,81±0,09
	0,3 – 0,4	5,01 ± 0,04	4,87 ± 0,23	2,10 ± 0,30	0,19 ± 0,02	1,40 ± 0,00	0,15 ± 0,07	3,33 ± 0,19	12,4± 4,9	1,10±0,07	0,32±0,03
	0,4 – 0,5	5,38 ± 0,28	5,50 ± 0,27	2,03 ± 0,25	0,19 ± 0,02	1,41 ± 0,03	0,10 ± 0,0	2,56 ± 0,17	12,8± 0,6	0,82±0,12	0,43±0,05
Triunfo	0,0 – 0,1	5,77 ± 0,03	5,43 ± 0,21	1,20 ± 0,15	0,97 ± 0,02	0,53 ± 0,03	0,13 ± 0,06	6,63 ± 0,42	52,2± 2,0	3,34 ± 0,23	5,84 ± 0,04
	0,1 – 0,2	5,52 ± 0,02	4,17 ± 0,6	2,17 ± 0,59	0,54 ± 0,02	1,35 ± 0,05	0,10 ± 0,00	7,29 ± 0,5	52,6± 5,9	3,02±0,06	0,51 ± 0,05
	0,2 – 0,3	5,33 ± 0,03	2,53 ± 0,23	2,00 ± 0,12	0,31 ± 0,01	0,04 ± 0,0	0,05 ± 0,06	5,80 ± 0,7	36,0± 10,9	2,54±0,01	0,04 ± 0,01
	0,3 – 0,4	5,21 ± 0,05	2,77 ± 0,57	1,33 ± 0,72	0,18 ± 0,10	0,08 ± 0,0	0,08 ± 0,06	7,51 ± 0,2	17,3± 2,5	2,52±0,02	0,02 ± 0,01
	0,4 – 0,5	5,78 ± 0,08	3,63 ± 0,02	1,07 ± 0,40	0,22 ± 0,12	0,51 ± 0,03	0,17 ± 0,06	3,82 ± 0,8	8,9± 5,4	2,15±0,05	0,36 ± 0,02

Fonte: O AUTOR

Tabela 5 - Médias e desvios padrões das variáveis Capacidade de Troca de Cátions efetiva (CTC_e), CTC potencial (T), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m), percentual de sódio trocável (PST) e matéria orgânica (MOS) estimadas a partir da análise de solo

Município	Camada	SB	CTC _e	T	V	m	PST
	m	----- cmol _c dm ⁻³ -----	-----	-----	----- %-----	-----	-----
Araripina	0,00 – 0,10	25,47 ± 1,82	25,57 ± 1,82	29,65 ± 2,33	85,94 ± 1,34	0,39 ± 0,03	3,87 ± 0,34
	0,10 – 0,20	14,39 ± 0,21	14,47 ± 0,16	18,96 ± 0,33	75,92 ± 1,04	1,15 ± 0,41	1,42 ± 0,51
	0,20 – 0,30	12,17 ± 0,46	12,26 ± 0,48	16,30 ± 0,60	74,69 ± 0,53	1,35 ± 0,45	1,12 ± 0,39
	0,30 – 0,40	15,51 ± 1,34	15,61 ± 1,34	20,05 ± 1,64	77,35 ± 0,75	0,64 ± 0,05	6,68 ± 0,46
	0,40 – 0,50	14,86 ± 0,27	14,96 ± 0,27	18,57 ± 0,41	80,01 ± 0,51	0,67 ± 0,01	8,12 ± 0,22
Petrolina	0,00 – 0,10	18,20 ± 0,42	18,32 ± 0,42	24,03 ± 1,24	75,81 ± 2,25	0,66 ± 0,01	1,75 ± 0,20
	0,10 – 0,20	15,94 ± 0,55	15,96 ± 0,55	22,49 ± 1,18	70,96 ± 2,38	0,10 ± 0,0	1,31 ± 0,05
	0,20 – 0,30	19,63 ± 0,60	19,76 ± 0,58	26,40 ± 0,89	74,38 ± 0,22	0,68 ± 0,30	2,65 ± 0,16
	0,30 – 0,40	21,62 ± 0,48	21,72 ± 0,48	27,61 ± 0,38	78,28 ± 0,65	0,46 ± 0,01	2,99 ± 0,04
	0,40 – 0,50	19,82 ± 0,63	20,13 ± 0,68	25,81 ± 0,72	76,77 ± 1,17	1,59 ± 0,05	2,46 ± 0,21
Santa Cruz da Baixa Verde	0,00 – 0,10	3,59 ± 0,75	3,67 ± 0,06	10,32 ± 0,85	34,51 ± 4,24	4,44 ± 1,45	4,34 ± 0,34
	0,10 – 0,20	3,18 ± 0,45	3,29 ± 0,35	9,36 ± 0,55	33,81 ± 2,92	6,17 ± 3,61	4,78 ± 0,28
	0,20 – 0,30	3,35 ± 0,17	3,45 ± 0,17	5,90 ± 0,37	56,78 ± 3,39	2,91 ± 0,14	8,38 ± 0,55
	0,30 – 0,40	4,53 ± 0,18	4,63 ± 0,18	8,90 ± 0,14	50,89 ± 1,75	2,16 ± 0,08	14,27 ± 0,12
	0,40 – 0,50	4,37 ± 0,38	4,47 ± 0,38	8,19 ± 0,61	53,30 ± 0,99	2,25 ± 0,20	16,12 ± 0,56
Santa Maria da Boa Vista	0,00 – 0,10	7,09 ± 0,04	7,20 ± 0,08	13,08 ± 0,54	54,23 ± 1,98	2,74 ± 1,35	1,67 ± 0,28
	0,10 – 0,20	6,65 ± 0,07	6,79 ± 0,07	11,46 ± 0,18	58,04 ± 1,54	1,96 ± 0,84	11,09 ± 0,63
	0,20 – 0,30	8,72 ± 1,01	9,22 ± 0,93	13,50 ± 1,25	64,51 ± 3,62	5,53 ± 1,65	3,19 ± 0,13
	0,30 – 0,40	8,56 ± 0,17	8,71 ± 0,22	11,88 ± 0,34	72,02 ± 0,86	1,71 ± 0,53	11,76 ± 0,33
	0,40 – 0,50	9,14 ± 0,04	9,24 ± 0,04	11,70 ± 0,14	78,14 ± 1,15	1,08 ± 0,0	12,08 ± 0,11
Triunfo	0,00 – 0,10	8,13 ± 0,01	8,26 ± 0,07	14,75 ± 0,40	55,11 ± 1,60	1,61 ± 0,68	3,56 ± 0,11
	0,10 – 0,20	8,22 ± 0,27	8,32 ± 0,27	15,51 ± 0,43	53,04 ± 2,43	1,20 ± 0,04	8,71 ± 0,46
	0,20 – 0,30	4,58 ± 0,20	5,02 ± 0,24	10,69 ± 0,81	45,88 ± 3,89	2,63 ± 1,01	0,40 ± 0,03
	0,30 – 0,40	4,37 ± 0,50	4,53 ± 0,55	11,87 ± 0,61	36,69 ± 2,41	3,62 ± 1,0	0,68 ± 0,03
	0,40 – 0,50	5,43 ± 0,40	5,94 ± 0,40	9,26 ± 0,88	58,87 ± 3,89	2,85 ± 1,11	5,53 ± 0,41

Fonte: O AUTOR

Santa Cruz da Baixa Verde

Em Santa Cruz da Baixa verde o solo apresentou pH considerado baixo em todas as camadas, variando de 4,82 a 5,44. O Ca^{2+} apresentou valores considerados médios em todas as camadas com exceção da camada 0,2-0,3 m que apresentou 2,43 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, classificado com bom. O Mg^{2+} apresentou valores variando de 0,27 a 1,73 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, sendo classificado como muito bom na camada de 0,1-0,2 m e bom nas demais camadas. O K^+ variou de 0,15 a 0,27 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, classificado como bom nas camadas 0,0-0,1 e 0,3-0,4 m e como médio nas demais camadas. O Na^+ aumentou de acordo com a profundidade de 0,45 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ nas duas primeiras camadas a 1,32 na camada de 0,4-0,5 m, com a PST variando nas camadas de 4,34 a 16,12%, as duas primeiras camadas foram classificadas como não-sódicos, as camadas de 0,2-0,3 e 0,3-0,4 m como solódicos e a 0,4-0,5 m como sódicos. O P variou de 0,34 a 0,90 mg dm^{-3} nas camadas e foi classificado como baixo (EMBRAPA, 2008).

O Al^{3+} apresentou-se Muito Baixo em todas as camadas variando de 0,08 e 0,12 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$. O H+Al variou de 2,56 a 6,74 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ nas camadas, sendo classificado como bom nas duas primeiras camadas e médio nas demais. O COT foi bom na primeira camada, 2,55 g Kg^{-1} , classificado como médio nas camadas 0,1-0,2 e 0,2-0,3, muito baixo na camada 0,3-0,4 e baixo na última camada, indicando uma baixa quantidade de MOS. A SB foi classificada como bom nas duas últimas camadas e como média nas primeiras, variando entre elas de 3,18 a 4,53 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$. A CTCe variou nas camadas de 3,29 a 4,63, foi classificada como bom na camada 0,3-0,4 m e nas demais classificadas como médio. O T variou de 5,90 a 10,32 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, sendo maior na primeira camada e classificada como bom nas camadas 0,0-0,1, 0,1-0,2 e 0,3-0,4 m, e nas camadas 0,2-0,3 e 0,4-0,5 m foi classificada como médio. O V variou de 33,81 a 56,78% sendo classificado como baixo nas camadas de 0,0 a 0,2 m e médio nas três últimas camadas. O m foi classificado como baixo em todas as camadas, com os valores entre 2,16 e 6,17 %.

Santa Maria da Boa Vista

O pH do solo de Santa Maria da Boa Vista foi classificado como baixo em todas as profundidades variando de 4,57 a 5,38. O Ca^{2+} variou de 3,57 a 5,50 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ nas profundidades, e o Mg^{2+} variou de 1,50 a 3,27 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$. Ambos foram classificados com bom na camada 0,1-0,2 m e muito bom nas demais camadas. O K^+ variou de 0,15 a 0,32 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, sendo classificado como muito bom na camada 0,1-0,2 m, como médio na camada 0,2-0,3 m e bom nas demais camadas.

O Na^+ variou de 0,22 a 1,41 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, o PST foi classificado como não-sódico nas camadas 0,0-0,1 e 0,2-0,3 m e como solódico nas demais camadas. O P 0,32 a 1,17 mg dm^{-3} , sendo classificado como baixo em todas as camadas.

O Al^{3+} variou de 0,10 a 0,50 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, e foi classificado como baixo na camada de 0,2-0,3 m e muito baixo nas demais camadas. O H+Al decresceu de acordo com a profundidade, de 6,00 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ na primeira camada a 2,56 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ na última, classificado como bom na primeira camada e médio nas outras.

O COT variou foi classificado como baixo em todas as camadas variando de 11,4 a 19,2 g kg^{-1} . A SB variou de 6,65 a 9,14 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ nas profundidades e foi maior na última camada, foi classificado como muito bom em todas as camadas. A CTCe variou de 6,79 a 9,24 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, e foi classificado como bom nas duas primeiras camadas e muito bom nas demais. A T foi classificado como bom em todas as profundidades variando de 11,46 a 13,50 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$. A V aumentou de acordo com a profundidade de 54,23% na primeira camada a 78,14% na camada de 0,4-0,5 m, sendo classificado como médio nas duas primeiras camadas e como bom nas demais. A saturação por alumínio foi classificado como baixa em todas as profundidades, variando de 1,08 a 5,53%.

Triunfo

No município de Triunfo o solo apresentou o pH variando de 5,21 a 5,78, foi maior na última camada e classificado como baixo nas camadas 0,2-0,3 e 0,3-0,4 m e bom nas demais camadas. O Ca^{2+} variou de 2,53 a 5,43 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, sendo classificado como muito bom nas duas primeiras camadas e bom nas três últimas. O Mg^{2+} variou 1,07 a 2,17 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ e foi classificado como muito bom nas camadas 0,1-0,2 e 0,2-0,3 e como bom nas outras camadas. O K^+ variou de 0,18 a 0,97 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, com classificação muito bom nas duas primeiras camadas, a camada de 0,2-0,3 e 0,4-0,5 m como bom e a camada de 0,3-0,4 m foi médio.

O Na^+ variou de 0,04 a 1,35 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, com os valores de PST variando de 0,40 a 8,71%, com caráter solódico na camada 0,1-0,2 m e não-sódico nas demais. O P varia de 0,02 a 5,84 mg dm^{-3} , em todas as profundidades foram classificadas como baixo.

O Al^{3+} foi muito baixo em todas as camadas variando de 0,08 a 0,17 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$. O H+Al foi bom nas camadas de 0 a 0,4 m variando de 5,80 a 7,51 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ variando de 5,80 a 7,51 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ e médio na última camada (3,82 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$).

O COT variou de 8,19 a 52,2 g kg^{-1} , sendo classificado como muito bom nas duas primeiras camadas e como médio e baixo nas demais camadas.

A SB variou de 4,37 a 8,22 cmol_cdm^3 , nas profundidades de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m foi classificada como muito boa e as demais camadas como boas. A CTCe variou de 4,53 a 8,32 cmol_cdm^3 nas duas primeiras camadas foi classificada como muito bom e nas demais como bom. A T variou de 9,26 a 15,51 sendo classificada como bom em todas as camadas exceto na camada de 0,1-0,2 m que foi classificada como muito bom. A m foi baixa em todas as profundidades, variando de 1,20 a 3,62%.

A acidez ativa, avaliada pelo pH, tem muita importância na qualidade do solo, pois está diretamente ligada a disponibilidade dos nutrientes e a capacidade de absorção pelas plantas, sendo a sua tolerância variável de acordo com a cultura ou cultivar (ALVAREZ et al., 1999; POTAFOS, 1998). De modo geral, os valores de pH foram decrescentes com a profundidade no Agreste (Tabela 2), diferente do que ocorreu no Sertão (Tabela 4) que não seguiu um padrão. Cerca de 63% das amostras foram classificadas, de acordo com Alvarez et al. (1999), com pH muito baixo e baixo (Tabela 4) e o Sertão apresentou pH classificado como baixo 56%. Esse resultado é considerado normal, pois os solos brasileiros são em sua maioria muito ácidos até 0,40 m de profundidade e com baixa disponibilidade de nutrientes (LIMA, 2015).

Aproximadamente 26% das amostras apresentaram os valores de pH classificados como bom no Agreste (Tabela 6) e 44% no Sertão (tabela 7). O pH do solo variando de 5,5 – 6,0 está numa faixa adequada para maioria das culturas, devido a maior disponibilidade e aproveitamento dos nutrientes no solo (ALMEIDA, 2013). Apenas 11,43% das amostras do Agreste apresentaram pH alto. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2015) ao avaliar diferentes solos sob sistemas de cultivo orgânico, em conversão para orgânico, convencional e área com mata nativa em três municípios do Agreste paraibano. O autor encontrou valores de pH variando de 4,7 a 8,6. Os valores de pH mais elevados nos sistemas orgânicos e em conversão para o orgânico foram atribuídos a maior disponibilidade de matéria orgânica, enquanto que os valores de pH baixos no sistema convencional em relação aos demais sistemas deste estudo foi atribuído a constante utilização de adubos nitrogenados solúveis de fontes amoniacais pelos produtores.

Tabela 6 - Interpretação dos atributos químicos de solos cultivados com cana de açúcar, segundo os níveis de fertilidade Alvarez et al. (1999), no Agreste de pernambucano.

Classe	fi	Fr(%)	Fk	Classe	fi	fr(%)	Fk
pH				Ca²⁺			
Muito Baixo	13	37,14	37,14	Muito Baixo	3	8,58	8,58
Baixo	9	25,71	62,85	Baixo	13	37,15	45,73
Bom	9	25,71	88,56	Médio	6	17,14	62,87
Alto	4	11,43	100	Bom	1	2,86	65,73
Muito Alto	0	0	100	Muito Bom	12	34,29	100
Total	35	100	100	Total	35	100	100
Mg²⁺				K⁺			
Muito Baixo	4	11,43	11,43	Muito Baixo	4	11,43	11,43
Baixo	7	20,00	31,43	Baixo	12	34,28	45,71
Médio	6	17,14	48,57	Médio	9	25,71	71,42
Bom	5	14,29	62,86	Bom	4	11,43	82,85
Muito Bom	13	37,14	100	Muito Bom	6	17,14	100
Total	35	100	100	Total	35	100	100
P				Na/PCT			
Baixo	19	54,28	54,28	Não-sódico	29	82,85	82,85
Médio	1	2,86	57,14	Solódico	1	2,86	85,71
Alto	15	42,86	100	Sódico	5	14,29	100
Total	35	100	100	Total	35	100	100
Al³⁺				CTCe			
MuitoBaixo	25	71,43	71,43	Muito Baixo	0	0	0
Baixo	4	11,43	82,86	Baixo	5	14,28	14,28
Médio	1	2,86	85,72	Médio	13	37,14	51,42
Alto	5	14,28	100	Bom	5	14,28	65,70
Muito Alto	0	0	100	Muito Bom	12	34,29	100
Total	35	100	100	Total	35	100	100
(H+Al)				T			
Muito Baixo	0	0	0	Muito Baixo	0	0	0
Baixo	0	0	0	Baixo	0	0	0
Médio	18	51,43	51,43	Médio	4	11,43	11,43
Alto	7	20	71,43	Bom	24	68,57	80,00
Muito Alto	10	28,57	100	Muito Bom	7	20,00	100
Total	35	100	100	Total	35	100	100
V				m			
Muito Baixo	9	25,71	25,71	Muito Baixo	29	82,86	82,86
Baixo	7	20,00	45,71	Baixo	1	2,86	85,72
Médio	2	5,71	51,42	Médio	3	8,57	94,29
Bom	14	40,00	91,42	Alto	2	5,71	100
Muito Bom	3	8,57	100	Muito Alto	0	0	100
Total	25	100	100	Total	35	100	100
COT				SB			
Muito Baixo	22	62,86	62,86	Muito Baixo	0	0	0
Baixo	13	37,14	100	Baixo	8	22,86	22,86
Médio	0	0	100	Médio	6	17,14	40,00
Bom	0	0	100	Bom	5	14,28	54,28
MuitoBom	0	0	100	MuitoBom	16	45,71	100
Total	35	100	100	Total	35	100	100

fi - frequência simples; Fr(%) – frequência percentual; Fk - Frequência percentual acumulada.

Fonte: O AUTOR

O Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ são cátions trocáveis importantíssimos, pois fornecem condições ideais para o desenvolvimento das plantas. Para Tomé Júnior (1997) valores de Ca^{2+} inferiores $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ são considerados baixos. No entanto, segundo as classes de interpretação de fertilidade do solo descrita por Alvarez et al. (1999) a maioria das amostras estudadas, pouco mais de 37%, foram classificadas como baixo e 34,29% como muito bom (Tabela 4) para o Agreste e no Sertão 16% como médio, 20% como bom e 64% como muito bom (Tabela 7).

Quanto aos teores de Mg^{2+} no solo estes foram classificados como muito baixo, baixo, médio, bom e muito bom (ALVAREZ et al., 1999), tendo a maioria das amostras, pouco mais de 37%, se adequando a última classificação (Tabela 4). Em algumas amostras a relação Ca/Mg está desbalanceada, distante da relação 4/1 ou 3/1, por apresentar valor de Ca^{2+} mais alto (ALMEIDA, 2013). Já no Sertão 68% das amostras foram classificadas como muito bom, não havendo problema de desbalanceamento.

No Agreste o teor de K^+ nas amostras de solo estudadas ficaram entre baixo (34,28%) e médio (25,71%), segundo a classificação de fertilidade proposta por Alvarez et al. (1999). No entanto, algumas amostras apresentaram um teor classificado como bom (11,43%) e muito bom (17,14%) na superfície do solo (Tabela 4). Já os municípios do Sertão apresentaram a classificação variando de médio a muito bom, ficando 40% das amostras como bom e 40% como muito bom. Ao avaliar áreas em processo de desertificação na região semiárida do Estado de Pernambuco, Martins et al. (2010) encontrou valores de K variando de 0,217 a $0,607 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Os resultados encontrados por Martins et al. (2010) foram semelhantes aos encontrados neste trabalho para região do Sertão.

A classificação dos solos quanto à sodicidade foi realizada de acordo com as classes de PST (EMBRAPA, 2013). Os teores de Na^+ nos solos estudados no Agreste mantiveram-se baixos ao longo do perfil, cerca de 82 % das amostras apresentaram PST menor que 7%, sendo classificadas como não-sódico. Cerca de 3% das amostras avaliadas foram classificadas como solódico. Já nos municípios do Sertão 68% das amostras foram classificadas como não-sódico e 28% como solódico. Os solos do Agreste e Sertão classificados como sódicos (PST>15%) foram todas as camadas do município de Limoeiro correspondendo a 14,3% das amostras do Agreste e a camada de 0,4-0,5 m de Santa Cruz da Baixa verde correspondendo a 4% das amostras do Sertão.

Tabela 7 - Interpretação dos atributos químicos de solos cultivados com cana-de-açúcar, segundo Alvarez et al. (1999), no Sertão pernambucano

Classe	fi	fr(%)	Fk	Classe	fi	fr(%)	Fk
				pH			
Muito Baixo	0	0	0	Muito Baixo	0	0	0
Baixo	14	56	56	Baixo	0	0	0
Bom	11	44	100	Médio	4	16	16
Alto	0	0	100	Bom	5	20	36
Muito Alto	0	0	100	Muito Bom	16	64	100
Total	25	100	100	Total	25	100	100
				Ca²⁺			
				Mg²⁺			
Muito Baixo	0	0	0	Muito Baixo	0	0	0
Baixo	1	4	4	Baixo	0	0	0
Médio	0	0	4	Médio	5	20	20
Bom	7	28	32	Bom	10	40	60
Muito Bom	17	68	100	Muito Bom	10	40	100
Total	25	100	100	Total	25	100	100
				K⁺			
				P			
Baixo	25	100	100	Não-sódico	17	68	68
Médio	0	0	100	Solódico	7	28	96
Alto	0	0	100	Sódico	1	4	100
Total	25	100	100	Total	25	100	100
				Na⁺/PST			
				Al³⁺			
Muito Baixo	23	92	92	Muito Baixo	0	0	0
Baixo	2	8	100	Baixo	0	0	0
Médio	0	0	100	Médio	4	16	16
Alto	0	0	100	Bom	6	24	40
Muito Alto	0	0	100	Muito Bom	15	60	100
Total	25	100	100	Total	25	100	100
				CTCe			
				(H+Al)			
Muito Baixo	0	0		Muito Baixo	0	0	0
Baixo	0	0		Baixo	0	0	0
Médio	13	52		Médio	2	8	8
Alto	12	48		Alto	12	48	56
Muito Alto	0	0		Muito Alto	11	44	100
Total	25	100	100	Total	25	100	100
				T			
				V			
Muito Baixo	0	0	0	Muito Baixo	25	100	100
Baixo	3	12	12	Baixo	0	0	100
Médio	9	36	48	Médio	0	0	100
Alto	11	44	92	Alto	0	0	100
Muito Alto	2	8	100	Muito Alto	0	0	100
Total	25	100	100	Total	25	100	100
				m			
				COT			
Muito Baixo	2	8	8	Muito Baixo	0	0	0
Baixo	2	8	16	Baixo	0	0	0
Médio	6	24	40	Médio	3	12	12
Alto	7	28	68	Alto	5	20	32
Muito Alto	8	32	100	Muito Alto	17	68	100
Total	25	100	100	Total	25	100	100
				SB			

fi - frequência simples; Fr(%) – frequência percentual; Fk - Frequência percentual acumulada.

Fonte: O AUTOR

Em alguns casos o teor de Na^+ foi maior que o de K^+ em todas as profundidades estudadas, isso não é um ponto positivo no que diz respeito a produtividade e fertilidade do solo. O Na^+ não é um nutriente essencial aos vegetais, o excesso de Na^+ trocável dificulta a absorção de água do solo pelas plantas, induz à toxicidade de íons principalmente de Na^+ e Cl^- , causa desequilíbrio nutricional e impede a infiltração de água no solo, provocando redução do crescimento e diminuição do rendimento das culturas (AMORIM et al., 2008; HOLANDA et al., 2010). Possivelmente, os valores mais elevados no teor de Na^+ foi devido à localização do plantio amostrado em área de várzea, o que pode ter acumulado água e devido à drenagem inadequada do solo favoreceu o acúmulo de sais.

A SB é um resultado muito importante, pois consiste na soma das bases Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ , esses influenciam na CTCe, ou seja, na capacidade do solo adsorver cátions em forma trocável, que servirão de nutrientes às plantas (ALMEIDA, 2013). Nos municípios estudados, cerca de quase 46% das amostras do Agreste (Tabela 6) e 68% do Sertão (Tabela 7) foram classificados como muito boa segundo Alvarez (1999).

Os teores de Al^{3+} encontraram-se abaixo de $1\text{cmol}_c\text{ dm}^{-3}$, pouco mais de 71% das amostras do agreste e 92% das amostras do Sertão foram classificadas como muito baixo (Tabela 6 e 7). Isso é um bom resultado, pois a acidez do solo e teores elevados de Al^{3+} são prejudiciais ao desenvolvimento das plantas, chegando a ser tóxico quando se aproxima de $1\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$ (LIMA, 2015). Isso também pode ser visto na saturação por Al (m), que indica a porcentagem da CTCe ocupada por Al^{3+} , quase 83% das amostras do agreste e 100% das amostras do Sertão, foram classificados como muito baixo (Tabelas 6 e 7), mostrando ser solos não álicos, ou seja, mais de 50% da CTCe encontra-se ocupada por bases trocáveis e não por Al^{3+} (EMBRAPA, 2006).

A adição do Al^{3+} ao valor da SB resulta na CTC e no pH atual do solo (EMBRAPA, 2002), e representa a capacidade do solo de adsorver elementos trocáveis que servirão de nutrientes às plantas. De maneira geral a CTCe nos solos estudados ficou classificada como média (37,14%) ou muito boa (34,29%) no Agreste e no Sertão 60% como muito bom e 24% bom (ALVAREZ et al., 1999) (Tabelas 6 e 7).

A (H+Al) é composta pela acidez trocável e não trocável. Nos solos estudados, 51,43% das amostras do Agreste (Tabela 6) e 52% das amostras do Sertão (Tabela 7) foram classificadas, segundo Alvarez et al. (1999), com teor de (H+Al) médio, pode-se notar que em solos com o pH mais ácido o teor de Al^{3+} foi maior e conseqüentemente a acidez potencial (Tabelas 2 e 6). No entanto, 20% e 28,57% das amostras foram classificadas com (H+Al) alto

e muito alto, respectivamente, sendo os maiores teores nas camadas com pH mais baixo no Agreste. Já no Sertão 48% das amostras foi classificado com (H+Al) alto. Com o valor de acidez potencial pode-se calcular a capacidade de troca catiônica (CTC potencial ou T) e a saturação por bases (V). Na maioria dos municípios do Agreste os valores de T foram diminuindo com a profundidade, sendo a maior parte das amostras, 68,57%, classificadas por Alvarez et al. (1999) como bom (Tabelas 2 e 6). Nos municípios do Sertão cerca de 92% das amostras (Tabela 7) de T foram classificadas como alta e muito alta. Nem sempre a alta CTC potencial quer dizer melhor fertilidade, porque esse atributo também envolve os teores de Al e H, elementos característicos da acidez do solo, mas, se a maior parte do T do solo está ocupada por cátions essenciais como o Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ pode-se dizer que é um solo favorável para a nutrição das plantas (ALMEIDA, 2013).

O V é usado para separar solos férteis dos não férteis, respectivamente quando $V > 50\%$ e $V < 50\%$ (EMBRAPA, 2006). Das amostras estudadas, no Agreste 40% foram classificadas como bom, entretanto 25,71% e 20,00% foram classificados como muito baixo e baixo (Tabela 6), No Sertão 80% das amostras ficaram classificadas entre médio e alto.

O COT influencia diretamente na fertilidade do solo, a partir dele pode-se saber a quantidade de MOS presente em um determinado solo. Segundo Araújo et al. (1994), os maiores teores de matéria orgânica também podem ser uma razão para maiores teores de Ca, Mg, K e Na, devido a atuação dos ácidos orgânicos que podem influenciar na liberação desses elementos do material de origem. Em algumas amostras analisadas no Agreste os valores de COT decresceram com a profundidade (Tabela 2), semelhante ao ocorrido nos municípios de Araripina e Petrolina no Sertão do estado (Tabela 4). Embora os valores de COT não tenham diminuído de forma decrescente, os mais superficiais, de 0,0 a 0,3, sempre foram maiores que os das profundidades finais. Esse resultado era esperado, pois sabe-se que a MOS tende a se concentrar na superfície do solo, a resposta foi semelhante as encontradas por Almeida (2013) que visando à indicação de áreas mais férteis, estudou a influência do material de origem na diversificação dos solos da região de transição entre Zona da Mata e Agreste do Estado de Pernambuco. O autor selecionou áreas de plantio de bananeira, onde abriu trincheiras para visualização do perfil e através da análise química feita em laboratório constatou que a concentração de MOS decrescia ao longo dos perfis estudados, sendo os maiores valores observados nos horizontes A.

Lima Neto et al. (2009) objetivando proceder à caracterização morfológica, física e química de horizontes coesos e não coesos em Latossolos e Argissolos, do ambiente dos

tabuleiros costeiros do Estado de Alagoas, constatou que os teores de alguns nutrientes e do COT eram decrescentes, sendo a maior concentração na camada superficial dos solos.

Segundo a classe de interpretação de fertilidade do solo descrita por Alvarez et al. (1999), o COT ficou classificado como muito baixo e baixo, sendo 62,82% e 37,14% respectivamente na região do Agreste. Conseqüentemente, a concentração de MOS também ficou entre essas duas classificações, sendo 54,28% das amostras muito baixo e 45,71% baixo (Tabela 6). Esse é um resultado esperado, considerando que as áreas onde os solos foram coletados já são cultivados com cana há muitos anos e sem um manejo do solo adequado, resultando em solos com baixo teor de matéria orgânica. Os solos estudados no Sertão apresentaram 84% dos valores de COT classificados entre médio a muito alto, e os valores de MOS ficaram todos entre médio e muito alto, com cerca de 80% classificado entre alto e muito alto.

De maneira geral os teores de P foram maiores na superfície, profundidade 0,0 -0,1 m, em todos os municípios (Tabela 2 e 4), resultado adequado considerando que a superfície do solo é mais fértil e o P um elemento de baixa mobilidade no solo. Avaliando a influência de sistemas de preparo do solo sobre as propriedades físicas e químicas de um Latossolo Amarelo sobre o sistema radicular da soja, Azevedo et al. (2007) observou que os teores de P disponível diminuíram com a profundidade e foram maiores nas camadas de 0,0 -0,05 e 0,05-0,1 m, o autor ainda atribuiu esse resultado aos estoques mais elevados de COT na superfície do solo. O teor de P foi classificado como baixo, médio e alto segundo o Manual de Recomendação de Adubação do Solo para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008) para a cana. Pouco mais de 54% das amostras do Agreste e 100% das amostras do Sertão foram classificadas com baixo teor de P e cerca de 43% das amostras do Agreste foi classificada com alto teor de P (Tabela 6 e 7).

De acordo com os teores de nutrientes na folha +1 de cana, os mais limitantes para a produção foram N, P, K e o S (Tabela 8). Isso pode ter sido ocasionado pela ausência de adubação ou pela aplicação de fertilizantes sem análise do solo, tendo sido aplicadas doses abaixo da necessidade da cultura (LANA et al., 2010).

Os teores de N foram baixos, segundo a faixa de suficiência da Embrapa, em quase todos os municípios do Agreste (variando de 8,75 a 17,07 g kg⁻¹), com exceção de Canhotinho (20,52 g kg⁻¹) e Pannels (19,01 g kg⁻¹).

Os teores de K, P e S na folha índice da cana cultivada em Bonito situaram-se abaixo da faixa de suficiência, ou seja, apresentaram-se deficientes nesses nutrientes (Tabela 8), de acordo com Silva (2009) e os teores de Ca e Mg apresentaram-se adequados. Esses valores

são correspondentes ao obtidos na análise de solo (Tabela 2), considerando que o solo apresentou teores de Ca e Mg bons, enquanto que os de K e P estavam baixos, o que também foi reproduzido na planta.

A variedade CB 45-3 cultivada em Canhotinho apresentou teores de P e S abaixo da faixa de suficiência e de K, Ca e Mg, dentro da faixa de suficiência (Tabela 5) (SILVA, 2009). Os valores do solo desse município estão abaixo dos adequados para que o solo seja considerado fértil (Tabela 2 e 3). Os baixos teores de P, associados à sua alta capacidade de fixação no solo, contribuíram para a baixa disponibilidade à cultura.

Os teores de nutrientes na folha índice das variedades Rosa e Caiana, cultivadas em Caruaru, estavam suficientes. Já a variedade Coimbatore apresentou-se deficiente em S e P. Considerando que os teores dos nutrientes no solo deste município apresentaram-se bons do

Tabela 8 - Médias, desvio padrões e faixa de suficiência dos teores de P, K, Ca, Mg, S, Fe e Mo em folha +1 de cana-de-açúcar em municípios do Agreste de Pernambuco

Município	Variedade	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mo
		g kg ⁻¹					mg/kg		
Bonito	SP784764	10,22± 1,35	0,65 ± 0,04	6,75 ± 0,37	5,35 ± 0,56	2,30 ± 0,32	0,92 ± 0,11	43,05±8,40	0,98 ± 0,07
Canhotinho	CB 45-3	20,52± 1,14	1,36 ± 0,28	10,71 ± 1,30	4,73 ± 0,80	1,93 ± 0,16	1,02 ± 0,27	55,77±5,38	1,09 ± 0,02
Caruaru	Caiana	14,82± 1,68	2,09 ± 0,11	13,03 ± 0,38	6,77 ± 1,34	1,67 ± 0,26	1,52 ± 0,16	145,7± 34,4	0,99 ± 0,05
	Coimbatore	16,09± 1,22	1,45 ± 0,04	13,67 ± 3,33	8,56 ± 3,10	2,47 ± 0,93	1,25 ± 0,06	117,2 ± 30,5	0,12 ± 0,03
	Rosa	15,59± 1,40	2,02 ± 0,03	15,34 ± 1,39	5,40 ± 0,16	1,89 ± 0,13	1,59 ± 0,35	136,5 ± 40,8	1,05 ± 0,03
João Alfredo	CB 45-3	17,07±0,49	1,58 ± 0,14	10,49 ± 1,13	6,79 ± 0,36	2,68 ± 0,14	2,00 ± 0,23	92,07±6,14	1,13 ± 0,07
Lagoa dos Gatos	CB 45-3	13,40± 0,42	0,81 ± 0,11	5,58 ± 0,96	6,41 ± 0,73	2,32 ± 0,28	0,45 ± 0,24	114,9 ± 30,21	0,78 ± 0,10
Limoeiro	SP791011	8,75±0,84	1,45 ± 0,32	14,70 ± 3,34	3,37 ± 0,59	1,72 ± 0,22	1,52 ± 0,14	44,54±12,17	1,07 ± 0,07
Panelas	CB 45-3	19,18± 1,56	1,53 ± 0,40	11,06 ± 0,44	4,71 ± 0,78	2,12 ± 0,32	0,67 ± 0,34	71,42±22,61	0,84 ± 0,07
Faixa de Suficiência (EMBRAPA, 2009)		18-25	1,5 – 3,0	10 - 16	2,0 – 8,0	1,0 – 3,0	1,5 – 3,0	40-250	0,05 – 0,20

Fonte: O AUTOR

ponto de vista da fertilidade (Tabela 2 e 3), as diferenças apresentadas pelas variedades, provavelmente devem-se a distintas exigências nutricionais. Coimbatore deve ser mais exigente em S e P que a Rosa e a Caiana.

No município de João Alfredo, os teores de todos os macronutrientes encontraram-se dentro da faixa de suficiência (Tabela 8). Esse resultado era esperado, pois o município apresentou uma das melhores classificações quanto à fertilidade do solo, não apresentando problemas no teor dos nutrientes (Tabela 2).

Em Lagoa dos Gatos, K, P e S estavam abaixo da faixa de suficiência, enquanto os de Ca e Mg estavam dentro da faixa de suficiência (Tabela 8).

Os teores dos nutrientes no município de Limoeiro encontram-se dentro da faixa de suficiência, com exceção do P que está um pouco baixo do adequado (Tabela 8). Já no município de Panelas apenas o teor de S está abaixo da faixa de suficiência.

Considerando que no Agreste as porcentagens de MOS foram classificadas como muito baixas e baixas (Tabela 3), possivelmente o baixo nível do teor na folha +1 S pode ser resultante disso. Resultados semelhantes foram encontrados por Dias et al. (2013), ao avaliarem o estado nutricional da laranja-pera na Amazônia Central e os autores concluíram que o S é um dos elementos que apresenta maior deficiência nutricional na cultura. Malavolta (1986) descreveu seis causas para os baixos teores de S nas plantas, entre elas estão pobreza dos solos em matéria orgânica, combinada com dificuldades de mineralização, uso contínuo de adubos fosfatados e nitrogenados concentrados e pouca adubação orgânica.

O Fe se apresentou dentro da faixa de suficiência ($40-250 \text{ mg kg}^{-1}$) para todas as variedades amostradas no Agreste, variando de $43,05 \text{ mg kg}^{-1}$ para variedade SP784764, cultivada em Bonito a $145,7 \text{ mg kg}^{-1}$ para variedade Caiana cultivada em Caruaru. O Molibdênio se apresentou dentro da faixa de suficiência ($0,05-0,20 \text{ mg kg}^{-1}$) ou acima dela pra todos os municípios variando de 0,12 a $1,13 \text{ mg kg}^{-1}$ para os municípios do Agreste, chegando a ser cinco vezes maior em Canhotinho.

Nos municípios do Sertão, os macronutrientes que se encontram em deficiência são N, P, K e S. O N apresentou-se abaixo da faixa de suficiência em todos municípios, com valores entre 7,92 e 11,01 g kg⁻¹ (EPSTEIN; BLOM, 2006).

Em Araripina, Petrolina e Santa Maria da Boa Vista, os valores de P estavam dentro da faixa de suficiência (Tabela 8). Os de K variaram de 4,15 a 6,57 g kg⁻¹ e nenhum dos municípios apresentou valores dentro da faixa de suficiência (Tabela 8). O teor de P na planta não foi compatível aos teores no solo, que foram baixos. Também os valores de K na planta e no solo foram divergentes já que o solo apresentou valores altos de K, provavelmente devido à absorção de N.

O Ca apresentou-se dentro da faixa de suficiência no município de Petrolina (7,19 g kg⁻¹) e acima da faixa de suficiência nos demais municípios do Sertão, variando de 8,10 a 9,87 g kg⁻¹. O Mg ficou dentro da faixa de suficiência em todos municípios, variando de 1,49 a 1,98 g kg⁻¹. Os valores de Ca e Mg na cana foram compatíveis com os valores encontrados nos solos.

Apenas em Petrolina, o S estava dentro da faixa de suficiência. Nos outros municípios, ficou abaixo da faixa de suficiência. Embora o S tenha uma alta relação com a MOS, os valores não foram compatíveis.

As concentrações de Fe foram, em média, 8 vezes abaixo do valor mínimo da faixa de suficiência, com valor médio de 5 mg kg⁻¹. Já as de Mo, semelhante ao que foi encontrado no Agreste, foram cerca de 4 vezes maiores que o valor máximo da faixa de suficiência.

Tabela 9 - Médias, desvio padrões e faixa de suficiência dos teores de P, K, Ca, Mg, S, Fe e Mo em folha +1 de cana-de-açúcar, em municípios do Sertão de Pernambuco

Município	Variedade	N	P	K	g kg ⁻¹				
					Ca	Mg	S	Fe	Mo
Araripina	Caiana	11,01 ± 0,88	2,10 ± 0,19	5,30 ± 0,18	8,10±1,56	1,73±0,20	1,24 ± 0,32	5,09 ± 0,08	0,85 ±0,11
Petrolina	Fita	9,35 ± 0,90	2,33 ± 0,41	6,57± 0,65	7,19±0,97	1,49±0,39	1,92 ± 0,29	5,11 ± 0,10	0,93 ± 0,04
Santa Cruz da Baixa Verde	Paia	8,15 ± 0,70	1,48 ± 0,74	3,62 ± 0,39	8,99±0,99	1,68±0,65	1,23 ± 0,14	5,24 ± 0,12	0,83 ± 0,13
Santa Maria da Boa Vista	Fita	9,85 ± 0,25	2,07 ± 0,29	5,30 ± 0,18	9,87±2,90	1,98±0,94	0,59 ± 0,14	5,14 ± 0,09	0,83 ± 0,5
Triunfo	Não identificada	7,92 ± 0,44	1,22 ± 0,30	4,15 ± 0,66	8,61±1,05	1,63±0,45	0,45 ± 0,24	5,19 ± 0,10	1,05 ± 0,06
Faixa de Suficiência (EMBRAPA, 2009)		18-25	1,5 – 3,0	10 - 16	2,0 – 8,0	1,0 – 3,0	1,5 – 3,0	40-250	0,05-0,20

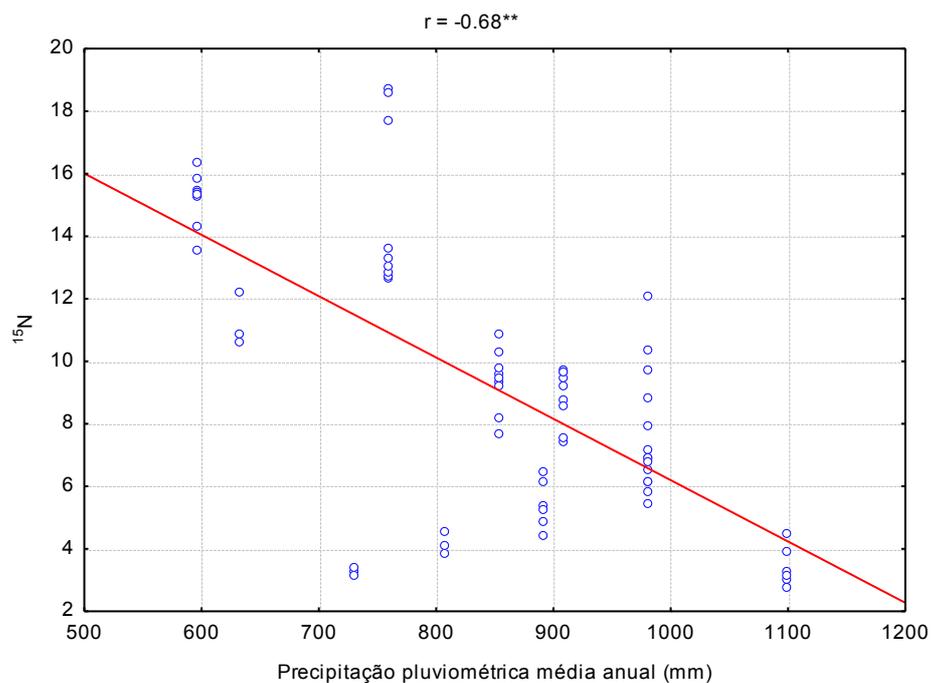
Fonte: O AUTOR

4.1.2 Estimativa da fixação biológica de nitrogênio (FBN), em cana pela técnica da abundância natural de ^{15}N em municípios do semiárido pernambucano

As plantas referência dos municípios do Agreste apresentaram δN^{15} variando de 1,6 a 18,3‰ (Tabela 10) e as dos municípios do Sertão de 2,98 a 15,83 ‰ (Tabela 12). São valores em uma faixa muito ampla, semelhante ao que foi observado por Freitas et al, (2015) em florestas pernambucanas, também ao longo do gradiente de chuvas estadual. Em outras regiões a faixa também é ampla: Boddey et al (2003) encontraram variação de 5,20 a 26,48‰, em canaviais de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Pernambuco (SANTOS 2014; SILVA, 2017).

Se observa que o sinal δN^{15} , apresentou uma correlação negativa ($R = 0,68$) (Figura 3) com a pluviosidade média de 10 anos, com exceção do município de Petrolina no Sertão, semelhante ao que foi encontrado por Freitas et al. (2015) quando aumentou as chuvas diminuiu o sinal de δN^{15} . De maneira geral, os solos mais intemperizados tendem a ter sinais isotópicos menores do que os solos menos intemperizados, como é o caso dos solos do Agreste e Sertão que apresentam menor ação das chuvas e perdas por lixiviação, além de ter menos desgaste por conta de cultivo.

Figura 2 - Correlação entre os sinais $\delta^{15}\text{N}$ (‰) nas plantas referência e a precipitação pluviométrica média anual (mm) dos últimos 10 anos



Fonte: O AUTOR

No Agreste, o menor valor de δN^{15} para cana foi de 2,8‰, na variedade CB 45-3, em Lagoa dos Gatos, e o maior (11,0 ‰) na variedade Caiana, em Caruaru.

Tabela 10 - Valores de δN^{15} em cana-de-açúcar e espécies de referência em municípios do Agreste de Pernambuco

Municípios			δN^{15} (‰)
Bonito	Cana	SP784764	3,2 B
	Referências	<i>Ipomoea purpea</i> (L.) Roth	3,2 B
		<i>Euphorbia heterofila</i> (L.)	11,2A
		<i>Urochloa decumbes</i> (Stapf)	2,4 B
Canhotinho	Cana	CB 45-3	5,0 B
	Referências	<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	6,0 A
		<i>Astrea lobata</i> (L.) Klotzsch	4,9 B
		<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth	3,2 C
Caruaru	Cana	Caiana	11,0 C
	Referências	Corimbatore	10,0 C
		Rosa	10,8 C
		<i>Cenchrus echinatus</i> L	12,8 C
		<i>Momordica charantia</i> L.	18,3 A
		<i>Euphorbia heterofila</i> (L.)	13,3 B
João Alfredo	Cana	CB 45-3	6,9 C
	Referências	<i>Setaria paviflora</i> (Poir.) Kerguelen	9,2 A
		<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) Willd.	9,7A
		<i>Sorghum arundinaceum</i> (Desv.) Stapf	7,8 B
Lagoa dos Gatos	Cana	CB 45-3	2,8 B
	Referências	<i>Urochloa decumbes</i> (Stapf) R.D.Webster	2,8 B
		<i>Paspalum maritimum</i> Trind.	1,6 C
		<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth	4,2A
Limoeiro	Cana	SP791011	4,5C
	Referência	<i>Cyperus rotundus</i> L.	7,6 B
		<i>Astrea lobata</i> (L.) Klotzsch	6,5 B
		<i>Portulacea oleraceae</i> L.	10,7A
		<i>Chamaesyce hyssopifolia</i> (L.) Small	6,9 B
		<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers	6,2 BC
Panelas	Cana	CB 45-3	6,19C
	Referência	<i>Urochloa decumbes</i> (Stapf) R.D.Webster	9,5AB
		<i>Astrea lobata</i> (L.) Klotzsch	8,7A
		<i>Urochloa decumbes</i> (Stapf) R.D.Webster	10,3 B

Médias seguidas de letras iguais na coluna, para cada município, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: O AUTOR

No Sertão, o menor foi 3,65%, na variedade “paia” (provavelmente corruptela de “palha”), em Santa Cruz da Baixa Verde, e o maior valor em Araripina (13,65%). O alto valor em Araripina está de acordo com o encontrado por Freitas et al. (2015) em espécies da vegetação nativa (16,20%).

Tabela 11 - Valores de δN^{15} em cana-de-açúcar e espécies de referência em municípios do Sertão de Pernambuco

Municípios			δN^{15} (‰)
Araripina	Cana	Caiana	13,65B
		<i>Richardia brasiliensis</i> Gomes	15,49A
	Referências	<i>Sida rhombifolia</i> L.	15,00A
		<i>Solanum paniculatum</i> L.	15,83A
Petrolina	Cana	Fita	6,70 B
	Referências	<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth	8,01A
Santa Cruz da Baixa Verde	Cana	Paia	3,65A
	Referências	<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth	3,17B
		<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist	3,30AB
Santa Maria da Boa Vista	Cana	Fita	5,55A
	Referências	<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L.	5,72A
		<i>Amaranthus blitum</i> L.	5,37A
Triunfo	Cana	Não identificada	3,78B
	Referência	<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist	4,22A
		<i>Centratherum punctatum</i> Cass.	2,98C
		<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist	4,22A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, as comparações são feitas separadamente para cada município.

Fonte: O AUTOR

A FBN, calculada em função do sinal médio de δN^{15} para as referências de cada município, descartando dois sinais muito altos, discrepantes das outras espécies de referência na mesma área (Tabela 12), variou de 0 a 40,9%, incluindo Agreste e Sertão. Se estes sinais discrepantes fossem considerados as estimativas de fixação seriam mais altas, mas é melhor ser conservativo e fazer os cálculos sem eles.

No agreste, as variedades SP784764 (Bonito) e CB 45-3 (Canhotinho e Lagoa dos Gatos), (Tabela 12), e no Sertão as variedades Paia (Santa Cruz da Baixa Verde), Fita (Santa Maria da Boa Vista) e uma variedade não identificada em Triunfo não apresentaram FBN. Embora a variedade CB 45-3 não tenha apresentado fixação nos municípios citados acima, fixou 31,2% em Panelas. A variedade Fita fixou N quando cultivada em Petrolina, mas não

em Santa Maria da Boa Vista, ambos municípios da borda do São Francisco, no Sertão. Estas diferenças de comportamento confirmam que diversos fatores além da variedade podem interferir no processo de fixação (FAGAN et al. 2007; FIGUEIREDO et al., 2008).

Tabela 12 – Proporção de N nas canas derivado da fixação biológica (%Ndda) e quantidade total e derivada da fixação em canaviais de diferentes variedades, nos municípios do Semiárido pernambucano

Município	Variedade	Média δN^{15} Referência	Ndda	Matéria Seca	Total N	N Fixado
		(‰)	(%)	t/ha	Kg ha ⁻¹	
Agreste						
Bonito	SP784764	2,78 ± 0,58	0	17,7 ± 7,8	191 ± 87	0
Canhotinho	CB 45-3	4,71 ± 1,39	0	9,0 ± 2,4	81 ± 38	0
	Caiana	13,03 ± 0,39	15,3 ± 6,9	109 ± 21,3	914 ± 83	140 ± 13
Caruaru	Coimbatore	13,03 ± 0,39	23,0 ± 4,3	41,6 ± 11,3	446 ± 129	103 ± 29
	Rosa	13,03 ± 0,39	16,8 ± 2,9	38,9 ± 13,9	273 ± 43	46 ± 7
João Alfredo	CB 45-3	8,56 ± 0,66	19,7 ± 5,9	17,3 ± 5,1	193 ± 42	41 ± 8
Lagoa dos Gatos	CB 45-3	3,04 ± 1,06	0	6,7 ± 2,3	81 ± 38	0
Limoeiro	SP791011	7,58 ± 1,83	40,9 ± 7,0	14,2 ± 2,4	129 ± 19	53 ± 7
Panelas	CB 45-3	9,00 ± 0,81	31,2 ± 5,0	9,6 ± 2,2	69 ± 18	22 ± 5
Sertão						
Araripina	Caiana	15,3 ± 0,52	12,4 ± 4,5	56,7 ± 13,8	340 ± 49	42 ± 6
Petrolina	Fita	7,07 ± 1,32	11,9 ± 5,7	38,8 ± 8,2	152 ± 29	18 ± 3
Santa Cruz da Baixa Verde	Paia	3,16 ± 0,14	0	29,2 ± 7,2	118 ± 40	0
Santa Maria da Boa Vista	Fita	5,31 ± 0,80	0	22,7 ± 8,3	130 ± 40	0
Triunfo	Não identificada	3,2 ± 0,62	0	22,0 ± 4,5	100 ± 22	0

Médias seguidas de Desvio Padrão médio.

Fonte: O AUTOR

No Agreste, as variedades cultivadas em Caruaru fixaram N, com destaque para a Coimbatore com %Ndda de 23%. No entanto, a maior quantidade de Ndda ocorreu na Caiana (140 kg ha⁻¹) (Tabela 12) com 11 meses (Tabela 1), que fixou apenas 15% de seu N, mas que tinha uma biomassa muito maior e um conteúdo total de N de 914 kg ha⁻¹ (Tabela 12). A variedade CB 45-3, cultivada em João Alfredo, fixou 19,7%. A variedade com menor acumulação de N foi a CB 45-3 em Panelas (69 kg ha⁻¹), Canhotinho e Lagoa dos Gatos (ambos 81,2 kg ha⁻¹). No Sertão, a variedade Caiana fixou 12,4 %, em Araripina, e a Fita 11,9%, em Petrolina. A CB 45-3 estava com três meses em todos os plantios amostrados, mas

o tipo de solo não parece ter afetado a FBN já que houve fixação tanto no Latossolo como no Argissolo, e quando a planta foi cana planta ou soca (Tabela 1).

Santos (2014) encontrou fixações de 37,1 e 39,6% nas variedades RB867515 e RB92579, cultivadas em Carpina, na Zona da Mata de Pernambuco, valores próximos aos que foram encontradas neste trabalho. Silva (2017) também relatou uma ampla faixa de fixações em canaviais da Zona da Mata de Pernambuco e de Alagoas e em área irrigada no Sertão da Bahia, sendo os valores em Carpina de 43 a 48%, próximos dos encontrados em Limoeiro na presente pesquisa.

Os valores de N_{da} encontrados neste trabalho, tanto no Agreste quanto no Sertão, confirmam que pode haver muita variação como foi observado por Boddey, (2003) que encontrou variação na FBN de -12,3 a 71,7% em canaviais de SP, MG, RJ e PE. Como os plantios amostrados no presente trabalho são de pequenos produtores e, em sua maioria, não recebem adubação nitrogenada ou recebem quantidades de N muito abaixo das retiradas com as colheitas, eram esperadas FBN maiores. No entanto, sabe-se que diversos fatores podem interferir na FBN, desde a inoculação do microrganismo até os processos finais da fixação. Os principais fatores são pH do solo, temperatura, disponibilidade hídrica e disponibilidade de nutrientes. (FAGAN et al. 2007; FIGUEIREDO et al., 2008; SILVA et al. 2010).

Os municípios em que não foi verificada FBN no Agreste tiveram as maiores pluviosidades médias anuais no ano de amostragem da cana (2017), assim como Triunfo, no Sertão, que teve acima de 1000 mm (Apêndice B). Dentre os municípios que apresentaram fixação no Agreste só Panelas teve pluviosidade média acima de 1000 mm.

Como regime de chuvas da região semiárida é escasso, a disponibilidade hídrica pode ter afetado a FBN. O estresse hídrico pode reduzir a atividade da nitrogenase, ou a movimentação de água no floema, acumulando ureídeos e aspartato nas folhas e diminuindo a síntese de leghemoglobina (HUNGRIA; VARGAS 2000; FAGAN et al., 2007).

Os teores de K⁺, em todas as profundidades, e de P, nas duas primeiras camadas, correlacionaram-se positivamente com a FBN (Tabela 13). A correlação da FBN com o K no solo pode estar associada com a necessidade de K para manter taxas altas de redução de acetileno e atividade enzimática nos nódulos envolvida na assimilação de amônia, formação de aminoácidos, fornecimento de carbono e transdução de energia (DIVITO, 2014). Embora as bactérias endofíticas que fixam o N₂ na cana não formem nódulos, o princípio para realização da fixação é o mesmo, mediado pela enzima nitrogenase. Ainda, é possível associar o aumento da FBN ao aumento da tolerância ao estresse hídrico. Yunis (2010) observou que

quando as plantas são submetidas a estresse hídrico, há menor redução na FBN quando o fornecimento de K é adequado, ou seja, o K aumenta a tolerância da planta à baixa disponibilidade de água, favorecendo a FBN.

Tabela 13- Coeficientes de correlação entre fixação biológica de N e atributos químicos do solo

Atributo	Prof. (m)	r*	Atributo	Prof (m)	r*	Atributo	Prof (m)	r*
pH	0,0 - 0,1	-0,17	SB	0,0 - 0,1	0,18	COT	0,0 - 0,1	-0,19
	0,1 - 0,2	0,03		0,1 - 0,2	0,24		0,1 - 0,2	-0,26
	0,2 - 0,3	-0,04		0,2 - 0,3	0,28		0,2 - 0,3	-0,44
	0,3 - 0,4	-0,06		0,3 - 0,4	0,30		0,3 - 0,4	-0,16
	0,4 - 0,5	-0,18		0,4 - 0,5	0,30		0,4 - 0,5	-0,17
Ca ²⁺	0,0 - 0,1	-0,10	Al ³⁺	0,0 - 0,1	0,36	N	0,0 - 0,1	-0,09
	0,1 - 0,2	-0,02		0,1 - 0,2	0,32		0,1 - 0,2	-0,08
	0,2 - 0,3	0,05		0,2 - 0,3	0,34		0,2 - 0,3	0,20
	0,3 - 0,4	0,06		0,3 - 0,4	0,41		0,3 - 0,4	0,22
	0,4 - 0,5	0,01		0,4 - 0,5	0,46		0,4 - 0,5	0,12
Mg ²⁺	0,0 - 0,1	-0,02	(H+Al)	0,0 - 0,1	-0,18	CTCe	0,0 - 0,1	0,20
	0,1 - 0,2	0,11		0,1 - 0,2	-0,09		0,1 - 0,2	0,28
	0,2 - 0,3	0,10		0,2 - 0,3	0,14		0,2 - 0,3	0,32
	0,3 - 0,4	0,07		0,3 - 0,4	0,19		0,3 - 0,4	0,34
	0,4 - 0,5	0,21		0,4 - 0,5	0,33		0,4 - 0,5	0,35
K ⁺	0,0 - 0,1	0,65*	P	0,0 - 0,1	0,67*	T	0,0 - 0,1	0,13
	0,1 - 0,2	0,64*		0,1 - 0,2	0,73*		0,1 - 0,2	0,24
	0,2 - 0,3	0,65*		0,2 - 0,3	0,55		0,2 - 0,3	0,38
	0,3 - 0,4	0,67*		0,3 - 0,4	0,47		0,3 - 0,4	0,44
	0,4 - 0,5	0,66*		0,4 - 0,5	0,27		0,4 - 0,5	0,45

*Valores que foram significativos. Fonte: O AUTOR

Os teores de P nas camadas superficiais do solo (0 a 0,20 cm) foram positivamente correlacionados ($r^* = 0,67$ e $r^* = 0,73$) com a FBN (Tabela 13). De maneira geral, onde houve FBN as concentrações de P estavam classificadas como adequadas para a cultura da cana segundo classificação do IPA (2008). O P está diretamente relacionado à produção e consumo de energia e quando fornecido em baixa quantidade há redução da atividade da nitrogenase e produção de ATP reduzindo a FBN (SILVA et al., 2010; CAMARA, 2014). Desse modo, quando o P está em baixa disponibilidade no solo, pode haver redução da AN e da FBN.

O teor de K na cana-de-açúcar teve uma forte correlação com a FBN (Tabela 14) com r de 0,74. Segundo Divito (2014), a oferta adequada de K é necessária para sustentar as taxas de redução do acetileno já que ele atua diretamente as enzimas, além de estar envolvido na

assimilação de amônia, formação de aminoácidos, fornecimento de carbono e transdução de energia. Já os demais nutrientes não apresentaram correlação significativa.

Tabela 14 - Coeficientes de correlação entre fixação biológica e concentrações de nutrientes na cana

Nutriente	r	Nutriente	r
N	0,04	Ca	-0,49
P	0,22	Mg	0,00
K	0,74*	Fe	0,28
S	0,27	Mo	0,31

*Valores que foram significativos. Fonte: O AUTOR

4.2 INDICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM DE CANA PARA DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE DA NITROGENASE

As atividades da nitrogenase (AN) foram 40 vezes maiores nas raízes que nos colmos (Tabela 14), com valores intermediários nas folhas, ainda sete vezes menores que os das raízes. Santos (2014) também observou que a atividade da enzima nas raízes de cana foi maior que nas folhas +1, e obteve diferença, em média, de 71% e 190% respectivamente, nas variedades RB867515 e RB92579.

Tabela 15 - Atividade da nitrogenase (AN) em folhas, colmos e raízes de cana-de-açúcar

COLMO	FOLHA	RAIZ
----- micromol C ₂ H ₄ H ⁻¹ g ⁻¹ -----		
0,1358 C	0,8876 B	6,7598 A
FATOR		F
TECIDO		679,76**
BLOCO		1,18 ^{NS}
CV (%)		15,16

Médias seguidas por letras iguais não diferem pelo teste de Tukey (p>0,05).

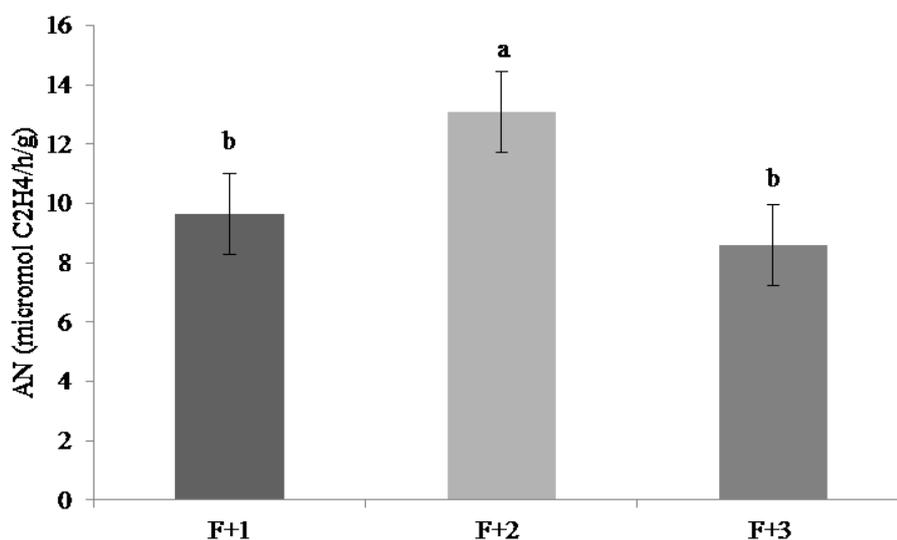
Fonte: O AUTOR

Provavelmente, a região das raízes apresenta maior colonização devido ao fato desta região ser o local com maiores concentrações de exsudatos e ser alta fonte de energia e nutrientes necessários para o ciclo das células bacterianas. Silva (2012) constatou que a presença das bactérias endofíticas nas raízes de três variedades de cana, aos quatro meses de cultivo, foi maior que nas folhas numa grandeza de 10² população de bactéria por grama de tecido vegetal fresco (UFC/g de TVF).

A AN nas folhas de cana apresentou variação entre 8,5 e 13,10 mmol de C_2H_4 $h^{-1} g^{-1}$, com o maior valor observado na F+2 (Figura 3). A AN nas F+1 e F+3 não diferiram. Desse modo, ao buscar-se avaliar a AN em apenas uma folha, recomenda-se o uso da F+2 (Figura 3).

Em diversos estudos, a AN em folha de cana tem sido determinada na folha +1 (SILVEIRA; CROCOMO,1990; ARMAS et al,1992; LI-PING et al; 2007; HEMAPRABHA et al, 2013). Entretanto, como ressaltaram Raij et al (1996), a escolha da folha F+1 tem sido justificada pelo seu uso nas análises para diagnoses nutricionais.

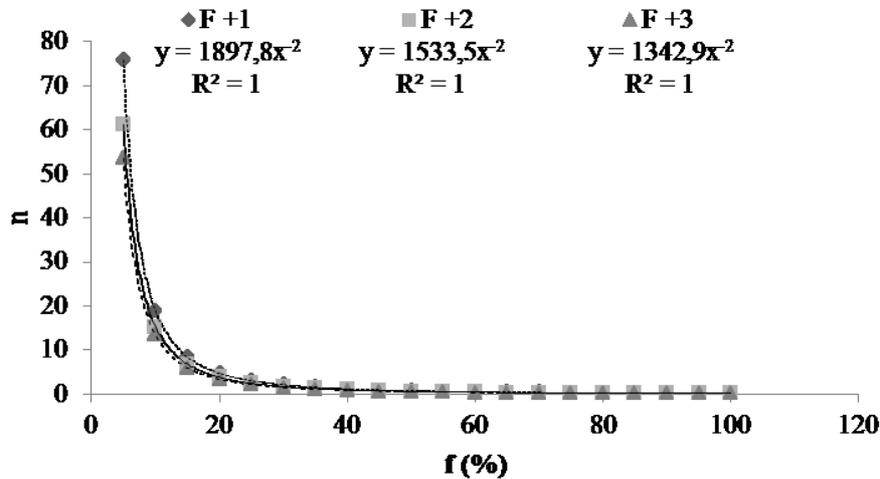
Figura 3 - Atividade da nitrogenase (AN) em diferentes folhas de cana-de-açúcar. Letras iguais não diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$).



Fonte: O AUTOR

O número de folhas simples para formar uma amostra composta aumentou à medida que o limite de variação (f) diminuiu, ou seja, quanto menor a tolerância ao erro, maior deve ser o número de folhas a serem coletadas para representar uma parcela (Figura 6). Desse modo, o número de folhas (n) foi em média de 24 para valores de f de 8%, respectivamente. 80% é demais; pode estimar para ficar abaixo de 10% e talvez abaixo de 5%, mas justificando que os números aumentam muito com uma queda no f relativamente pequena.

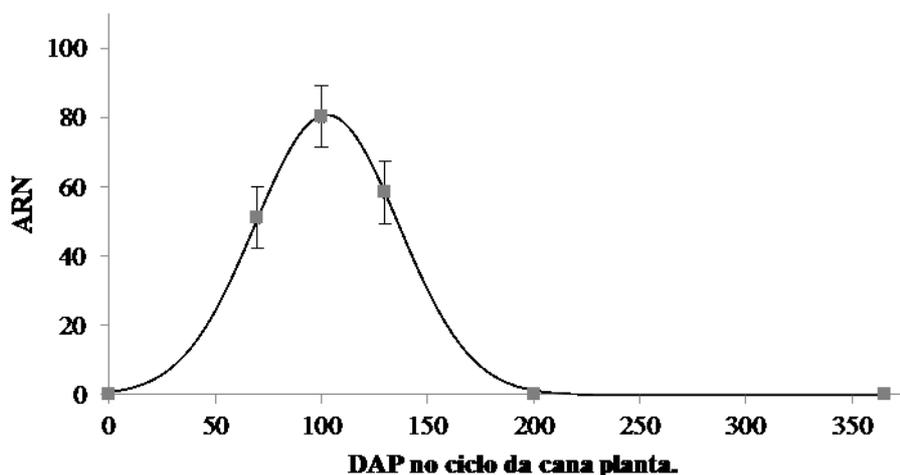
Figura 4 - Número de amostras simples (n) em função limite de variação em relação à média (f) e utilizado para compor uma amostra composta de folhas para determinação da atividade da nitrogenase (AN) em cana-de-açúcar



Fonte: O AUTOR

De maneira geral, a ARN em folha +1 das variedades de cana durante o período de avaliação se ajustou ao modelo de regressão de pico (Figura 5), podendo identificar o período de máxima atividade da enzima. A ARN foi máxima aos 102 DAP, atingindo cerca de 81%, e posteriormente iniciou-se um período de declínio até aproximadamente os 200 DAP, sendo nula após isso. Provavelmente até os 200 DAP a cana já tinha absorvido todo o N necessário para completar seu ciclo. Desse modo, quando se desejar avaliar a AN, deve-se determiná-la até os 200 DAP (deve ser antes de 200; no intervalo das duas medidas, cerca de 60 e 130 dias).

Figura 5 - Atividade relativa da nitrogenase (ARN) em folha +1 de cana-de-açúcar durante ciclo de cana-planta



Fonte: O AUTOR

De acordo com Jadoski et al. (2010) e Oliveira et al. (2011), a maior demanda de N pela cana, se dá no período inicial do ciclo da cana planta, até os 200 DAP, sendo utilizado no perfilhamento e desenvolvimento da planta. Por este motivo uma menor atividade da nitrogenase após os 200 dias.

Silva (2016) aos 50 dias após a germinação em canas inoculadas (DAG), período de processo inicial de crescimento, a cana apresentou menor valor de da AN quando comparada com a avaliação aos 100 DAG, na folha +1.

5 CONCLUSÃO

Fósforo, enxofre e potássio foram os nutrientes mais limitantes para o cultivo da cana no Agreste e no Sertão de Pernambuco.

Os sinais isotópicos foram bastante variáveis entre municípios ($\delta N^{15} = 1,6$ a $15,8\text{‰}$) e tenderam a diminuir com o aumento na pluviosidade.

As variedades de cana no Agreste fixaram mais nitrogênio que as do Sertão, com destaque para as variedades SP791011 com 41% do N das plantas fixado em Limoeiro e CB 45-3, com 30% fixado em Panelas, ambas sem fixação nos demais municípios. Caiana fixou tanto no Agreste, (Caruaru, 15,3%) quanto no Sertão (Araripina, 12,4%). Já a variedade Fita fixou N em Petrolina, mas não em Santa Maria da Boa Vista. As causas das ausências de fixação não foram determinadas, mas a fixação tendeu a aumentar com o aumento das concentrações de K e o P no solo.

A atividade da nitrogenase foi maior nas raízes que nas folhas e nos colmos. A folha F+2 é a mais indicada para avaliação da atividade enzimática e pelo menos quatro delas devem ser amostradas para avaliar a atividade da nitrogenase com erro de 20% e pelo menos 24 para erro menor que 8%. O período de máxima atividade da enzima aconteceu por volta dos 102 dias após o plantio ou rebrota da cana.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. C. **Mineralogia de solos e sua relação com a fertilidade natural na transição Mata-Agreste Norte do estado de Pernambuco**. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2013, 139f. Tese (Doutorado em Ciência do solo).
- ALVAREZ V, V. H. et al. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5º aproximação**. Viçosa-MG, 1999.
- AMORIM, J. R. A.; et al. Qualidade da água na agricultura irrigada. In: Albuquerque, P. E. P.; Durães, F. O. M. (Ed.). **Uso e manejo de irrigação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. cap. 6, p. 255-316.
- APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Monitoramento pluviométrico dos últimos 10 anos**. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>> Acesso em: 20 abril, 2018.
- ARAÚJO, Q. K.; et al. Ação da queima e da percolação sobre propriedades químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo variação uma. **Revista Ceres**, v. 41, p. 537-558, 1994.
- ARMAS, R et al.. Influence of ammonium and nitrate on the growth and photosynthesis of sugarcane. **Journal of Plant Physiology**, v. 140, p. 531–535, 1992.
- ASSIS, C. A.; et al. Estimation of the nitrogen fixation by sugarcane cultivar NiF-8 using N dilution and natural abundance techniques. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 48, p. 283–285, 2002.
- AZEVEDO, D. M. P.; et al.. Atributos físicos e químicos de um Latossolo-Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no cerrado maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 1, p. 32 - 40, 2007.
- BAPTISTA, R. B.; et al. Variations in the ¹⁵N natural abundance of plant-available N with soil depth: Their influence on estimates of contributions of biological N₂ fixation to sugar cane. **Applied Soil Ecology**, v. 73, p. 124–129, 2014.
- BARRETO, A. C.; et al. Determinação estatística do número de amostras simples de solo por área para avaliação de sua fertilidade. **Revista Ceres**, 1974.

BDE. Base de dados do estado. **Estrutura geral das mesorregiões de Pernambuco.**

Disponível em: <<http://www.bde.pe.gov.br/estruturacaogeral/mesorregioes.aspx>> Acesso em: 01 mai, 2018.

BIGGS, I. M.; et al. N natural abundance studies in Australian commercial sugarcane. **Plant and Soil**, v. 238, p. 21–30, 2002.

BODDEY, L. H.; et al. A Avaliação da fixação biológica de N₂ associada a leguminosas e não-leguminosas utilizando a técnica da redução do acetileno: história, teoria e prática. Seropédica – RJ: **Embrapa Agrobiologia**, 2007.

BODDEY, R.M; et al.. Use of the ¹⁵N natural abundance technique for the quantification of the contribution of N₂ fixation to sugarcane and other grasses. **Australian Journal Plant Physiol.** v.28. p.889–895, 2001.

BODDEY, R.M.; et al. Endophytic nitrogen fixation in sugarcane: present knowledge and future applications. **Plant and Soil.** v.252 p.139–149, 2003.

BODDEY, R.M; et al.. Biological nitrogen fixation associated with sugar cane and rice: Contributions and prospects for improvement. **Plant and Soil.** v 174. p.195-209, 1995.

CARDOSO, J.A.F. **Atributos químicos e físicos do solo e matéria orgânica do solo sob mangueira irrigada e caatinga nativa na região do vale do submédio São Francisco.** Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Juazeiro – BA, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). 2014.78f.

CHALK, M. Estimation of N₂ fixation by isotope dilution: an appraisal of techniques involving ¹⁵N enrichment and their application. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 17, p. 389–410, 1985.

CHAVES, L. H. G.; et al. Avaliação da fertilidade dos solos das várzeas do município de Sousa, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.262-267, 1998.

CNI, Confederação Nacional da Indústria, **Indicadores CNI**, 2007. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/>> acesso em: 08, nov, 2018.

COELHO, C. H. M. et al. Identificação de genótipos de cana-de-açúcar quanto ao potencial de contribuição da fixação biológica de nitrogênio. **Agronomia**, v. 37, p. 37–40, 2003.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira** - Cana-de-açúcar SAFRA 2013/14. Conab, v. 1, n. Abril, p. 1–14, 2014.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira** - Cana-de-açúcar SAFRA 2017/18. Conab, v. 4, p. 1–18, 2017.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira** - Cana-de-Açúcar SAFRA 2015/2016, v.2 n.1 - Primeiro Levantamento, Brasília, abr. 2015.

CPRM. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Macau, estado do Rio Grande do Norte**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. 11 p.

DAWSON, T. E.; BROOKS, P. D. **Fundamentals of stable isotope chemistry and measurement**. In: Unkovich M. et al. (Ed.). *Stable isotope techniques in the study of biological processes and functioning of ecosystems*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 2001. cap. I, p. 1-18.

DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA - DNPEA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, Série Pedologia nº 14 **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do estado de Pernambuco**, 1973, vol. I, Recife-PE, 418 p.

DIVITO, G.A.; SADRAS, V.O. How do phosphorus, potassium and sulphur affect plant growth and biological nitrogen fixation in crop and pasture legumes? A meta-analysis. **Field Crops Research**. v. 156, p.161–171, 2014.

DIAS, J. R. M.; et al. Níveis críticos e faixas de suficiência nutricional em laranja-pêra na Amazônia Central obtidas pelo método DRIS. **Acta Amazonica**. v. 43, ed. 3, p. 239 – 246. 2013.

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (Eds.) *Cana-de-açúcar: Bioenergia, açúcar e álcool – Tecnologias e perspectivas*. Viçosa, 2010. 577 p.

DÖBEREINER, J. **Azotobacter em solos ácidos**. **Boletim do Instituto de Ecologia e Experimentação Agrícolas**. Rio de Janeiro: Boletim do Instituto de Ecologia e Experimentação Agrícolas. , 1953.

EMBRAPA, Adubação e correção do solo: Procedimentos a serem adotados em função dos resultados da análise do solo. **Circular Técnica 63**. Campina Grande/PB, 2002. p. 5 - 6.

EMBRAPA, Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco. **Boletim de Pesquisa 11**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006. p. 306.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes** / editor técnico, Fábio Cesar da Silva. - 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 627 p., 2009.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3 ed. rev. ampl. - Brasília, DF: Embrapa 2013, 353 p.

EMBRAPA. Solos UEP. Recife. 2006. Disponível em:
<www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.html>. Acesso em: 22 de nov, 2017.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional**. Ministério de Minas e Energia. 2014. 288p. Disponível em:
<<https://ben.epe.gov.br/downloads/RelatorioFinalBEN2014.pdf>>. Acesso em: 01 mai, 2018.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. 2 ed. Londrina: Planta, 2006.402 f.

FAGAN, E. B.; et al.. Physiology of biologic fixation nitrogen in soybean – a review. **Revista da FZVA.**, v.14, n.1, p. 89-106. 2007.

FIGUEIREDO, M.V.B.; et al. Fatores bióticos e abióticos à fixação biológica de N². In: FIGUEIREDO, M.V.B.; BURITY,H. A.; STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. **Agrobiodiversidade: o novo desafio para a agricultura**. Agrolivros, 2008, 568p.

- FRANCO, H. C. J.; et al. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions. **Field Crops Research**, v. 121, p. 29–41, 2011.
- FREITAS A. D. S.; et al. Nodulação e fixação de nitrogênio por forrageiras da caatinga cultivadas em solos do semiárido. **Revista Brasileira de Zootecnia** v.40, p.1856–1861, 2011.
- FREITAS, A. D. S.; SAMPAIO, E. V. S. B. Fixação biológica do N₂ em leguminosas arbóreas da Paraíba e de Pernambuco. In: MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. **Fertilidade do solo e produção de biomassa no semiárido**. Recife: Ed. Universitária UFPE, 2008. p. 27-46.
- FREITAS, A. D. S.; et al. Nitrogen isotopic patterns in tropical forests along a rainfall gradient in Northeast Brazil. **Plant Soil** v.391 p.109–122. 2015.
- FREITAS, A. D. S.; et al. How much nitrogen is fixed by biological symbiosis in tropical dry forests? 2. Herbs. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v. 94, p. 181–192, 2012.
- GILBERT, R. A.; et al. The effect of genotype, environment and time of harvest on sugarcane yields in Florida, USA. **Field Crops Research**, v. 95, p. 156-170, 2006.
- GUHA, A. K.; PHUKAN, A. K. Why vanadium complexes perform poorly in comparison to related molybdenum complexes in the catalytic reduction of dinitrogen to ammonia (Schrock cycle): a theoretical study. **Inorganic Chemistry**, v. 50, p. 8826–33, 19, 2011.
- HARDY, R. W.; et al. The acetylene-ethylene assay for N² fixation: laboratory and field evaluation. **Plant physiology**. v. 43, p. 1185–207, 1968.
- HEMAPRABHA, G.; et al. S. Evaluation of drought tolerance potential of elite genotypes and progenies of sugarcane (*Saccharum sp. hybrids*). **Sugar Tech**, v. 15, n. 1, p. 9–16, 2013
- HERNANDES, A.; et al. Amostragem para diagnose do estado nutricional e avaliação da fertilidade do solo em caramboleiras. **Bragantia**. v. 70, n. 3, p.657-663, 2011.
- HERNANDEZ, J. A; et al. Metal trafficking for nitrogen fixation: NifQ donates molybdenum to NifEN/NifH for the biosynthesis of the nitrogenase FeMo-cofactor. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 105, p. 11679–84, 19, 2008.

HERRIDGE, D. F.; et al. Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. **Plant and Soil**, v. 311, p. 1–18, 11 2008.

HOEFSLOOT, G. et al. Biological nitrogen fixation is not a major contributor to the nitrogen demand of a commercially grown South African sugarcane cultivar. **Plant and Soil**, v. 277, p. 85–96, 2005.

HOLANDA, J. S.; et al. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal/CNPq, 2010. cap. 4, p. 41-60.

HU, Y.; et al. Extending the carbon chain: hydrocarbon formation catalyzed by vanadium/molybdenum nitrogenases. **Science**, v. 333, p. 753–5, 5, 2011.

HUNGRIA, M. & VARGAS, M. A. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. **Field Crops Research**, v. 65, p. 151-164. 2000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de dados, SIDRA**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>>. Acesso em 28 de junho, 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/panorama>> Acesso em: 21 de março, 2018.

IPA – Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**. Recife, 2a aproximação, 2. ed. rev., IPA, 198p., 2008.

JADOSKI, C. J.; TOPPA, E. V. B.; JULIANETTI, A.; et al. Fisiologia do desenvolvimento do estágio vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 3, p. 169–176, 2010.

KOFFLER, N. F.; et al. Caracterização edáfo-climática das regiões canavieiras do Brasil: Pernambuco. Piracicaba: **IAA/Planalsucar**; 1986.

LAJTHA, K.; MICHENER, R.H. (ED.). **Stable isotopes in ecology and environmental science**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1994. 316 p.

LANA, R. M. Q.; et al. Levantamento do estado nutricional de plantas de *Coffea arabica* L. pelo DRIS, na região do Alto Paranaíba – Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1147-1156, 2010.

LIMA NETO, J. A.; et al. Caracterização e gênese do caráter coeso em Latossolos amarelos e Argissolos da região dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas; **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 33, p.1001-1011, 2009.

LIMA, M. S. **Relações solo-floresta em fragmento de Mata Atlântica em Pernambuco**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciências Florestais, Recife, Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) 2015. 95f.

LI-PING, W.; et al. Effects of molybdenum on nitrogen metabolism of sugarcane. **Sugar Tech**, v. 9, n. 1, p. 36–42, 2007.

LOPES, C. A. Variabilidade de isótopos estáveis de carbono e de isótopos estáveis de nitrogênio. 2001. **Exame Geral de Qualificação** (Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Departamento de Biologia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2001. 47 f.

MALAVOLTA, E. **Efeitos de doses e fontes de enxofre em culturas de interesse econômico**. IV – Café. São Paulo, Centro de Pesquisa e Promoção do Sulfato de Amônio, 1986. 41p. (Boletim Técnico, 4)

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Editora Agronômica Ceres, São Paulo. 2006. 638p.

MARTINELLI, L. A.; et al. A. Utilização das variações naturais delta C¹³ no estudo de cadeias alimentares em ambientes aquáticos: Princípios e perspectivas.. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 2, p. 859-882, 1988.

MARTINS, C. M.; et al. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.1883-1890, 2010.

MORAIS, R. F.; et al. Contribution of biological nitrogen fixation to Elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Plant and Soil**: v. 349. p. 1-12, 2012.

NAMKELEJA, Y. MTEI, K.; NDAKIDEMI, P. A. Isolation and molecular characterization of elite indigenous rhizobia nodulating *Phaseolus* bean (*Phaseolus vulgaris* L.) **American Journal of Plant Sciences**, v.7 n.14. 2016.

NARITOMI, J. **Herança colonial, instituições e desenvolvimento**. 2007. Dissertação (Mestrado em Economia) Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. 100 f.

NOVAIS, R. F.; et al. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

OLIVEIRA, E. C. A. et al. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 579–588, 2011.

PEOPLES, M. B.; et al. Quantification of nitrogen fixation. In: LEIGH, G. J. (Ed.). **Nitrogen fixation at the millennium**. [S.l.]: Elsevier Science B.V., 2002. p. 357–389.

PETERSON B. J.; FRY, B. Stable isotopes in ecosystem studies. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 18, p. 293-320, 1987.

PIZARRO CABELLO, F. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos**. 2. ed. Madrid: Editorial Agrícola Española S. A., 1985. 542 p.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación**. 2. ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1996. 471 p.

POTAFOS, **Manual internacional de fertilidade do solo/Tradução e Adaptação de Alfredo Scheid Lopes**. 2. Ed. Ver. e ampl. Piracicaba SP. 1998. 177 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Fundação IAC, 1996. p. 233-243.

RIDESA, REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROENERGÉTICO Disponível em: < <https://www.ridesa.com.br/censo-varietal> > Acesso em 07 de nov, 2018.

- RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu, São Paulo, 1995, 101p.
- SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Matéria orgânica do solo no bioma caatinga. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 419-441.
- SALVAGIOTTI, F.; CASSMAN, K. G.; SPECHT, J. E.; et al. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. **Field Crops Research**, v. 108, p. 1–13, 2008.
- SAMPAIO, E.V.S.B. Características e potencialidades. In: GARIGLIO, M.A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A; KAGEYAMA, P. Y. Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga. Ministério do Meio Ambiente. Brasília/DF. Serviço Florestal Brasileiro. 2010. 368p.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; TIESSEN, H.; ANTONINO, A. C. D.; SALCEDO, I. H. Residual N and P fertilizer effect and fertilizer recovery on intercropped and sole-cropped corn and beans in semiarid northeast Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 70, p. 1-11, 2004.
- SANTANA, A. C. A. **Estimativa dos teores de nitrogênio na folha diagnóstico e biomassa da cana-de-açúcar por espectrorradiometria**. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) Universidade Federal Rural de Pernambuco – Recife, PE. 2017.114f.
- SANTOS, R.L. **Molibdênio no metabolismo e na fixação biológica de nitrogênio em cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado em Ciência do solo) Universidade Federal Rural de Pernambuco – Recife, PE. 2014. 135f.
- SCHULTZ, N. et al. Avaliação agronômica de variedades de cana-de-açúcar inoculadas com bactérias diazotróficas e adubadas com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 2, p. 261–268, 2012.
- SHEARER, G.; KOHL, D.H. N₂ fixation in field settings: estimations based on natural ¹⁵N abundance. **Australian Journal of Soil Research** v. 13, p. 699-756, 1986.
- SILVA, A. A. **Fixação biológica de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em diferentes condições edafoclimáticas do nordeste brasileiro**. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) Universidade Federal de Pernambuco – Recife, PE. 2017. 70f.

SILVA, F.C., ed. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica/Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2009. 627p.

SILVA, G. C. A Representação socio-econômica da cana de açúcar para região da Zona da Mata de Pernambuco. **Geoambiente on-line** – UFG, 2010. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/geoambiente/article/viewFile/26005/14974>> Acesso em: 20 de nov, 2017.

SILVA, M. A. **Bactérias diazotróficas e adubação molíbdica na contribuição da fixação biológica de N₂ em cana planta**. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) Universidade Federal Rural de Pernambuco – Recife, PE. 2016. 107f.

SILVA, M. O.; FREIRE, F. J.; LIRA JUNIOR, M. A.; KUKLINSKY-SOBRAL, J.; COSTA, D. P.; LIRA-CADETE, L. Isolamento e prospecção de bactérias endofíticas e epifíticas na cana-de-açúcar em áreas com e sem cupinicida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p.1113-1121, 2012.

SILVEIRA, J. A. G.; CROCOMO, O. J. Assimilação de nitrogênio em cana-de açúcar cultivada em presença de elevado nível de N e de vinhaça no solo. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 2, p. 7–15, 1990.

TAIZ, L. & ZEIGER, e. **Fisiologia vegetal**. 3º ed, Porto Alegre: Artmed, 2004, 722 p.

TAULÉ, C.; et al. The contribution of nitrogen fixation to sugarcane (*Saccharum officinarum* L.), and the identification and characterization of part of the associated diazotrophic bacterial community. **Plant and Soil**, v. 356, p. 35–49, 26, 2011.

TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.

TRIVELIN, P. C. O.; et al. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquâmonia ¹⁵N e ureia ¹⁵N aplicado ao solo em complemento a vinhaça. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v 30, p 1375-1385, 1995.

UNKOVICH, M.; et al. **Stable isotope techniques in the study of biological processes and functioning of ecosystems**. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 2001. 291 p.

URQUIAGA, S.; et al. Avaliação da eficiência do processo de fixação biológica de nitrogênio em diferentes variedades de cana-de-açúcar. **Agronomia**, v.37, n.1, p.55-58, 2003.

URQUIAGA, S.; et al. Evidence from field nitrogen balance and ^{15}N natural abundance data for the contribution of biological N_2 fixation to Brazilian sugarcane varieties. **Plant and Soil**, v. 356, n. 1–2, p. 5–21, 2012.

VASCONCELOS, A. C. M. **Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual**. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal-SP. 2002. 140 p.

WEARE, W. W.; et al. Catalytic reduction of dinitrogen to ammonia at a single molybdenum center. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 103, p. 17099–106, 2006.

WOLFINGER, R.; CHANG, M. Comparing the SAS ® GLM and MIXED **Procedures for Repeated Measures**. Disponível em:
<<http://support.sas.com/rnd/app/stat/papers/mixedglm.pdf>>. Acesso em: 27 nov, 2017.

YOSHIZAWA, J. M.; et al. Insertion of heterometals into the NifEN-associated iron-molybdenum cofactor precursor. **Journal of Biological Inorganic Chemistry**. v. 15, p. 421–8, 2010.

YOUNIS, M., Responses of *Lablab purpureus* (L.) sweet/rhizobium symbiosis and growth to potassium supply under different water regimes. **Journal of Plant Nutrition**. v. 33, p. 1400–1409. 2010.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO PARA HISTÓRICO DAS ÁREAS

Histórico das Áreas

Local de coleta:

Área:

Tipo de solo:

Profundidade:

Variedades de cana:

Adubação:

Frequência de adubação:

Tempo de exploração:

Cana Planta/Cana Soca:

Dias após plantio:

Nº de parcelas:

Obs.:

APÊNDICE B – PLUVIOSIDADE MÉDIA DE 10 ANOS DOS MUNICÍPIOS DO SEMIÁRIDO QUE OS CANAVIAIS FORAM AMOSTRADOS

Pluviosidade de 10 anos, nos municípios amostrados no Agreste

Ano	Bonito	Canhotinho	Caruaru	João Alfredo	Lagoa dos Gatos	Limoeiro	Panelas
2007	890	821	678	711	-	-	-
2008	957	917	597	1067	-	-	-
2009	1041	858	738	999	-	-	-
2010	1212	1499	817	919	-	-	-
2011	1339	1301	1016,7	1609	-	-	-
2012	484	359	350,4	602	-	-	-
2013	701	787	643,5	917	782,4	922	710
2014	969	1130	503	787	966	893	936,5
2015	-	623	400	803	832,8	757	676
2016	487	523	477	773	661	726	439
2017	1728	1168	729	626	1026	739	1031
Média	981	908	632	892	854	807	759

Fonte: APAC, 2017

Pluviosidade de 10 anos, nos municípios amostrados no Sertão

Ano	Araripina	Petrolina	Santa Cruz da Baixa Verde	Santa Maria da Boa Vista	Triunfo
2007	656	348	857	360	1003
2008	633	631	857	493	1512
2009	876	762	1065	644	1667
2010	600	382	780	387	1120
2011	696	282	1175	353	1704
2012	289	128	289	142	301
2013	706	331	483	220	772
2014	470	462	813	358	1239
2015	555	126	550	178	926
2016	553	354	605	296	676
2017	515	147	549	84	1170
Média	595	359	729	319	1099

Fonte: APAC, 2017

**ANEXO A – QUADROS PARA AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE, SEGUNDO
ALVAREZ ET AL (1999), COM CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS ADEQUADAS**

Classes de interpretação para a acidez ativa do solo (pH)^{1/}

Classificação química							
Ac. elevada	Muito	Acidez elevada	Acidez média	Acidez fraca	Neutra	Alcalinidade fraca	Alcalinidade elevada
< 4,5		4,5 – 5,0	5,1 – 6,0	6,1 – 6,9	7,0	7,1 – 7,8	> 7,8
Classificação agrônômica ^{2/}							
	Muito Baixo		Baixo		Bom		Alto
	< 4,5		4,5 – 5,4		5,5 – 6,0		6,1 – 7,0
							Muito Alto
							> 7,0

^{1/} pH em H₂O, relação 1:2:5, TFSA: H₂O. ^{2/} A qualificação utilizada indica adequado (Bom) ou inadequado (muito baixo e baixo ou baixo e muito alto). Fonte: (ALVAREZ et al., 1999).

Classes de interpretação de fertilidade do solo para a matéria orgânica e para o complexo de troca catiônica

Característica	Unidade ^{1/}	Classificação				
		Muito Baixo	Baixo	Médio ^{2/}	Bom	Muito Bom
Carbonoorgânico (C.O.) ^{3/}	dag/kg	≤ 0,40	0,41 – 1,16	1,17 – 2,32	2,33 – 4,06	> 4,06
Matéria orgânica (M.O.) ^{3/}	dag/kg	≤ 0,70	0,71 – 2,00	2,01 – 4,00	4,01 – 7,00	> 7,00
Cálcio trocável (Ca ²⁺) ^{4/}	cmol _c /dm ³	≤ 0,40	0,41 – 1,20	1,21 – 2,40	2,41 – 4,00	> 4,00
Magnésio trocável (Mg ²⁺) ^{4/}	cmol _c /dm ³	≤ 0,15	1,16 – 0,45	0,46 – 0,90	0,91 – 1,50	> 1,50
Acidez trocável (Al ³⁺) ^{4/}	cmol _c /dm ³	≤ 0,20	0,21 – 0,50	0,51 – 1,00	1,01 – 2,00 ^{11/}	> 2,00 ^{11/}
Soma de bases (SB) ^{5/}	cmol _c /dm ³	≤ 0,60	0,61 -1,80	1,81 – 3,60	3,61 – 6,00	> 6,00
Acidez potencial (H+Al) ^{6/}	cmol _c /dm ³	≤ 1,00	1,01 – 2,50	2,51 – 5,00	5,01 – 9,00 ^{11/}	> 9,00 ^{11/}
CTC efetiva (t) ^{7/}	cmol _c /dm ³	≤ 0,80	0,81 – 2,30	2,31 – 4,60	4,61 – 8,00	> 8,00
CTC pH 7 (T) ^{8/}	cmol _c /dm ³	≤ 1,60	1,61 – 4,30	4,31 – 8,60	8,61 – 15,00	> 15,00
Saturação por Al ³⁺ (m) ^{9/}	%	≤ 15,0	15,1 – 30,0	30,1 – 50,0	50,1 – 75,0 ^{11/}	> 75,0 ^{11/}
Saturação por bases (V) ^{10/}	%	≤ 20,0	20,1 – 40,0	40,1 – 60,0	60, 1 – 80,0	> 80,0

^{1/} dag/kg = % (m/m); cmol_c/dm³ = meq/100 cm³. ^{2/} O limite superior desta classe indica o nível crítico. ^{3/} Método Walkley & Black; M.O. = 1,724 x C.O. ^{4/} Método KCl 1 mol/L. ^{5/} SB = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺. ^{6/} H + Al, Método Ca(OAc)² 0,5 mol/L, pH 7. ^{7/} t = SB + Al³⁺. ^{8/} T = SB + (H + Al). ^{9/} m = 100 Al³⁺/t. ^{10/} V = 100 SB/T. ^{11/} A interpretação destas características, nestas classes, deve ser alta e muito alta em lugar de bom e muito bom. Fonte: (ALVAREZ et al., 1999).