

HENRIQUE SOARES DE ALBUQUERQUE

DESEMPENHO AGROENERGÉTICO, USO DE ÁGUA E DE
NUTRIENTES POR CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADA NA
CHAPADA DO ARARIPE

Serra Talhada - Pernambuco

2013

HENRIQUE SOARES DE ALBUQUERQUE

DESEMPENHO AGROENERGÉTICO, USO DE ÁGUA E DE
NUTRIENTES POR CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADA NA
CHAPADA DO ARARIPE

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Tavares da Rocha.
Co-Orientadores: Prof. Dr. Fernando José Freire;
Prof. Dr. Emídio Cantídio Almeida. de Oliveira

Serra Talhada - Pernambuco

2013

FICHA CATALOGRÁFICA

A345d Albuquerque, Henrique Soares de
Desempenho agroenergético, uso de água e de nutrientes por cana-de-açúcar cultivada na Capada do Araripe./ Henrique Soares de Albuquerque. – 2013.
71 f.: il.

Orientador: Alexandre Tavares da Rocha
Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, 2013.
Inclui referências.

1 Cana-de-açúcar – Poder calorífico. 2. Bioenergia. 3. Gesso – Solo. I. Rocha, Alexandre Tavares da, orientador. II. Freire, Fernando José, Co-Orientador. III. Oliveira, Emídio Cantídio Almeida de, Co-Orientador. IV. Título

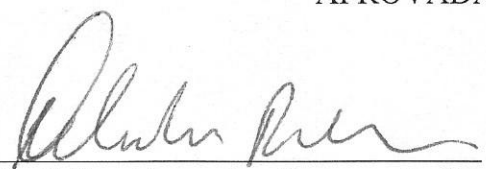
CDD 631


HENRIQUE SOARES DE ALBUQUERQUE

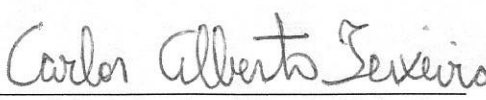
DESEMPENHO AGROENERGÉTICO, USO DE ÁGUA E DE
NUTRIENTES POR CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADA NA
CHAPADA DO ARARIPE

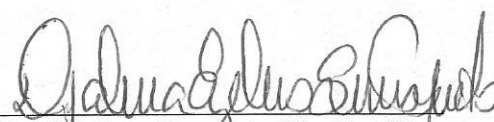
Dissertação apresentada à Universidade Federal
Rural de Pernambuco, como parte das exigências
do Programa de Pós-Graduação em Produção
Vegetal para obtenção do título de Mestre.

APROVADA: 28 de fevereiro de 2013


Prof. Dr. Alexandre Tavares da Rocha,
(UAST/UFRPE)


Prof. Dr. Fernando José Freire,
(DEPA/UFRPE)


Prof. Dr. Carlos Alberto Teixeira,
(UAST/UFRPE)
Examinador externo ao Programa


Dr. Djalma Euzébio Simões Neto
(EECAC/UFRPE)
Examinador externo ao Programa

Dedico,

A minha família.

AGRADECIMENTOS

A DEUS por tudo em minha vida.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Unidade Acadêmica de Serra Talhada - Universidade Federal Rural de Pernambuco pela oportunidade de formação e de firmiação na vida acadêmica.

Ao Professor Alexandre Tavares da Rocha pela orientação.

Aos conselheiros, Professores José Fernando Freire e Emídio Cantídio Almeida de Oliveira pela assistência prestada em todas as etapas do mestrado.

Aos Professores do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal e dos cursos da Unidade Acadêmica de Serra Talhada - UFRPE pelo exemplo e pela dedicação na formação de seus alunos.

Ao Dr. Marcos Ribeiro e Doutorando Renato Lemos dos Santos pela colaboração.

Ao Engenheiro Agrônomo José Alves Tavares da Estação Experimental do Instituto de Pesquisa Agropecuária do Estado de Pernambuco IPA pela atenção e apoio nas atividades.

Aos Funcionários da UAST- UFRPE, pelo carinho e apoio.

Aos companheiros mestres, mestrandos, e futuros agrônomos da UAST, Professores e Alunos dos cursos, pela dedicação e alegria nos trabalhos de campo e nas horas de laboratório.

Ao Grupo Agroindustrial Japungu S/A, FACEPE/Promata, Usinas e Empresas Agrofield e Cropsan, pela oportunidade de crescimento profissional.

A Escola Técnica Agropecuária do Pajeú de Serra Talhada - PE pela iniciação na docência.

A todos que fazem à Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina - EECAC - UFRPE especialmente ao Dr. Djalma Euzébio por apoiar na iniciação no universo da cultura da cana-de-açúcar.

Aos Amigos da turma do mestrado de 2011 e demais colegas do programa de pós-graduação em Produção Vegetal, pela troca de experiências nos últimos anos.

Aos Funcionários da UAST - UFRPE, pelo carinho e apoio.

A minha esposa Neilza e aos meus filhos Henrico e Rafael pelo incentivo permanente e incondicional.

E aos meus Pais, e todos familiares e amigos pelo incentivo.

BIOGRAFIA

ALBUQUERQUE, H. S., filho de Assis Araújo de Albuquerque e Genilda Soares da Silva, nasceu em Timbaúba - PE, em 28 de setembro de 1972. cursou o nível fundamental terminando na Escola Jornalista Jáder de Andrade na cidade de Timbaúba - PE e o 1º, 2º e 3º ano do nível médio, na referida escola, terminando o Curso em Habilitação Básica em Crédito e Finanças em 1990. Em agosto de 1996, ingressou no Curso de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Graduou-se Engenheiro Agrônomo em maio 2002. Atuou na área de pesquisa e desenvolvimento do Grupo Agroindustrial Japungu S/A em Santa Rita - PB no período de 2002 a 2005. Atuou no ano de 2006 com Bolsa de Cooperação Técnica da FACEPE na supervisão e cooperação técnica aos Projetos de Desenvolvimento de Pequenas Indústrias de Processamento de Cana-de-açúcar, Frutas e Plantas Medicinais do Programa de Desenvolvimento Sustentável da Zona da Mata de Pernambuco - PROMATA / Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco. Atuou no período de 2007 à 2008 na área comercial de representação de produtos agropecuários e pesquisa e desenvolvimento de produtos fitossanitários nas empresas Agrofield e Cropsan, ambas com sede em Recife-PE. Atuou como professor substituto de Topografia e Desenho Técnico Aplicado pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada - PE no período de 2009 a 2011. Em março de 2011 iniciou o Curso de Mestrado em Produção Vegetal na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, em Serra Talhada - PE, concluindo em 28 fevereiro de 2013.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 15 |
| 2.1 A QUESTÃO ENERGÉTICA E AS ESTRATÉGIAS PARA DO PÓLO GESSEIRO DA CHAPADA DO ARARIPE | 15 |
| 2.1.1 Biomassa energética..... | 16 |
| 2.2 A CANA-DE-AÇÚCAR..... | 17 |
| 2.2.1 Origem, classificação botânica, aspectos morfofisiológicos e constituição..... | 17 |
| 2.2.2 Síntese histórica e importância agroenergética da cana-de-açúcar para Pernambuco e Brasil..... | 18 |
| 2.2.3 Características agroenergéticas de cana-de-açúcar..... | 19 |
| 2.3 CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS DA CHAPADA DO ARARIPE E O CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR..... | 21 |
| 2.4 MANEJO DOS SOLOS E O USO DA ÁGUA E DOS NUTRIENTES POR VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADAS NO SERTÃO DO ARARIPE..... | 23 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS | 25 |
| 3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL..... | 25 |
| 3.1.1 Caracterização química e física do solo..... | 26 |
| 3.2 CARACTERÍSTICAS DAS VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR..... | 28 |
| 3.3 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL..... | 29 |
| 3.4 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO CAMPO EXPERIMENTAL..... | 30 |
| 3.5 ANÁLISES DAS CARACTERÍSTICAS AGROENERGÉTICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR..... | 31 |
| 3.5.1 Determinação da produção de matéria fresca, umidade e matéria seca..... | 31 |
| 3.5.2 Determinação de fibras em detergente neutro e ácido, lignina e cinzas..... | 31 |
| 3.5.3 Determinação do poder calorífico superior..... | 33 |
| 3.6 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO USO DE NUTRIENTES POR VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR..... | 34 |
| 3.6.1 Extração e eficiência de nutrientes..... | 34 |
| 3.7 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA POR VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR..... | 34 |
| 3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 35 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 35 |
| 4.1 DESEMPENHOS AGROENERGÉTICO DAS VARIEDADES DE CANA-DE- AÇÚCAR..... | 35 |
| 4.1.1 Produção de matéria fresca, matéria seca e umidade..... | 35 |
| 4.1.2 Análise da produção de fibras, lignina e cinzas..... | 39 |
| 4.1.3 Avaliação do poder calorífico das variedades..... | 44 |
| 4.2 USO DA ÁGUA POR VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADAS NA CHAPADA DO ARARIPE | 46 |
| 4.3 USO DE NUTRIENTES POR VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADAS NA CHAPADA DO ARARIPE..... | 48 |
| 5 CONCLUSÕES | 58 |
| REFERÊNCIAS | 59 |

FIGURA

Figura 1. Precipitação pluvial e evapotranspiração mensal de referência (ET_o) do período de fevereiro de 2010 à abril 2011 (ano 1) e abril de 2011 à abril de 2012 (ano 2).

..... 26

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Caracterização química e física do solo nas profundidades de 0,0 a 0,2 m e 0,2 a 0,4 m na área do ensaio de campo na Estação Experimental de Araripina do Instituto Agrônomo de Pernambuco em Araripina/PE 2010 27
- Tabela 2.** Produção de matéria fresca (MF), umidade e matéria seca (MS) da parte aérea de três variedades de cana-de-açúcar, na presença e ausência de gesso aos 14 meses após o plantio (ano 1) e aos 12 meses após o 1º corte (ano 2), respectivamente; média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis 36
- Tabela 3.** Teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina na matéria seca de três variedades de cana-de-açúcar, na presença e ausência de gesso aos 14 meses após o plantio (ano 1) e aos 12 meses após o 1º corte (ano 2), respectivamente; média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis 40
- Tabela 4.** Teores de cinzas de três variedades de cana-de-açúcar, na presença ou ausência de gesso aos 14 meses após o plantio (ano 1) e aos 12 meses após o 1º corte (ano 2), respectivamente; média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis 43
- Tabela 5.** Poder calorífico superior (PCS) em MJ kg⁻¹ liberados por três variedades de cana-de-açúcar, na presença e ausência de gesso aos 14 meses após o plantio (ano 1) e aos 12 meses após o 1º corte (ano 2), respectivamente; média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis..... 44
- Tabela 6.** Eficiência de uso da água - EUA e eficiência de uso da água da chuva - EUC em (kg m³) da parte aérea de três variedades de cana-de-açúcar, no ciclo de cana planta (ano 1) e cana soca (ano 2), na presença e ausência de gesso, respectivamente; média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis 47
- Tabela 7.** Teores de nitrogênio e fósforo na parte aérea de três variedades de cana-de-açúcar em g kg⁻¹, na presença e ausência de gesso aos 14 meses após plantio (ano 1) e aos 12 meses após 1º corte (ano 2), respectivamente; média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis..... 49

- Tabela 8.** Teor de cálcio, magnésio e enxofre na parte aérea de três variedades de cana-de-açúcar em g kg^{-1} , na presença e ausência de gesso aos 14 meses após plantio (ano 1) e aos 12 meses após 1º corte (ano 2), respectivamente, média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis..... 51
- Tabela 9.** Conteúdo de nitrogênio, fósforo na parte aérea de três variedades de cana-de-açúcar em kg ha^{-1} , no ciclo de cana planta (ano 1) e cana soca (ano 2), na presença ou ausência de gesso, respectivamente; média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis 53
- Tabela 10.** Conteúdo de cálcio, magnésio e enxofre na parte aérea de três variedades de cana-de-açúcar em kg ha^{-1} , no ciclo de cana planta (ano 1) e cana soca (ano 2), na presença ou ausência de gesso, respectivamente; média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis 54
- Tabela 11.** Eficiência do uso de nitrogênio e fósforo (kg kg^{-1}) da parte aérea de três variedades de cana-de-açúcar, no ciclo de cana planta (ano 1) e cana soca (ano 2), na presença ou ausência de gesso, respectivamente; média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis..... 56
- Tabela 12.** Eficiência do uso de cálcio, magnésio e enxofre (kg kg^{-1}) da parte aérea de três variedades de cana-de-açúcar, no ciclo de cana planta (ano 1) e cana soca (ano 2), na presença ou ausência de gesso, respectivamente; média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis..... 57

RESUMO

Albuquerque, H. S. **Desempenho agroenergético, uso de água e de nutrientes por cana-de-açúcar cultivada na Chapada do Araripe**. 2013. 71f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)- Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada, 2013. -

O pólo Gesseiro do Araripe está entre os grandes consumidores de lenha e carvão do semiárido de Pernambuco, demanda que tem sido atendida, em parte, por espécies vegetais extraídas da Caatinga. A utilização de biomassa da cana-de-açúcar para fins energéticos pode ser uma alternativa para desenvolvimento sustentável na região. Porém, a produção vegetal no semiárido depende de diversos fatores, como o suprimento de água, resistência das plantas ao estresse hídrico e o manejo químico dos solos, muitas vezes distróficos, como ocorre na Chapada do Araripe. O gesso produzido na região é uma alternativa de baixo custo para o manejo químico de solos visando aumentar o acesso das culturas a água e nutrientes. Assim, o objetivo da pesquisa foi estudar a produção de biomassa para fins energéticos por variedades de cana-de-açúcar cultivadas na Chapada do Araripe, e o impacto da gessagem de solos no potencial agroenergético de cana-de-açúcar em ambiente semiárido. Nesse contexto, foram testadas três variedades de cana-de-açúcar: RB867515, RB92579 e RB962962; em solo distrófico da chapada do Araripe na presença e ausência de gesso, em arranjo fatorial (3X2) distribuídos em blocos casualizados com quatro repetições. O experimento foi conduzido no período de 2010 a 2012, considerando dois ciclos de cultivo da cana-de-açúcar, no Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, em Araripina, Pernambuco. Para tanto, foram avaliadas a produção de biomassa e características energéticas, tais como teor de fibras, lignina e poder calorífico superior. Foram determinadas também a eficiência do uso da água pelas variedades de cana-de-açúcar, e a extração e a eficiência de uso de nutrientes das variedades nos dois ciclos de cultivo. Os dados foram submetidos à análise de variância sendo os efeitos significativos comparados estatisticamente por teste de médias ($p < 0,05$). A aplicação de gesso não afetou o desempenho agroenergético das variedades cultivadas no semiárido, tampouco a eficiência de uso da água pelas mesmas. As variedades responderam de modo específico e diferenciado ao estresse hídrico, diminuindo, em média, a produtividade em 38% na cana-soca, mantendo o poder calorífico dentro da faixa recomendada para material bioenergético, em torno de 17 MJ kg^{-1} . De modo geral, a variedade que teve melhor relação entre produtividade e poder calorífico superior foi a RB962962. A aplicação de gesso proporcionou, na cana-soca, maior concentração e extração de enxofre pelas variedades, bem como maior extração de nitrogênio no segundo ciclo.

Palavras-chave: bioenergia, *Saccharum* spp., poder calorífico, semiárido, gesso

ABSTRACT

Albuquerque, H. S. **Agroenergetic performance, water use and nutrients by sugar cane cultivated in Chapada do Araripe**. 2013. 71f. (Dissertation, Master in Plant Production)-Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Serra Talhada, 2013.

The Araripe Gypsum District is among the major consumers of firewood and coal of Pernambuco State Semiarid. This demand by energy has been partially contemplated to species extracted from the Caatinga biome. The use of biomass from sugarcane for energy purposes can be an alternative for sustainable development in the region. However, plant production in semi-arid depends on several factors, as the water supply, resistance of plants to water stress and the chemical management of soils, dystrophic often in the Chapada do Araripe soils. The gypsum produced in the region is a low-cost alternative to chemical soil management aiming to increase the access of water and nutrients to crops. Thus, objective of the research was to study the production of biomass for energy purposes by varieties of sugar cane grown in the Chapada do Araripe, and the impact of the application of gypsum in soils in the agronergetic potential of sugarcane in semi-arid environment. In this context, were tested three varieties of sugarcane: : RB867515, RB92579 e RB962962; cultivated in Chapada do Araripe dystrophic soil, in the presence and absence of gypsum, in factorial arrangement (3x2) distributed in randomized blocks with four replications. The experiment was conducted during the period from 2010 to 2012, two consecutive cycles of sugar cane growth, in Research Unit of Instituto Agrônômico de Pernambuco, in Araripina city, Brazil. For this purpose, were made the determinations of the production of biomass and energy characteristics, such as fibre content, lignin and Higher heating value. Additionally, were determined the efficiency of water use by the varieties of sugarcane, and the extraction and nutrient use efficiency of varieties in the two growing cycles. The data were subjected to analysis of variance being the significant effects compared by Tukey mean test ($p < 0,05$). The application of gypsum did not affect the agroenergetic performance of varieties cultivated in the semiarid. The varieties responded specifically and differently to water stress, declining, on average, the productivity by 38%, keeping the calorific value within the recommended range for bioenergetic material, around 17 MJ kg⁻¹. The better relationship between productivity and calorific value was obtained by the variety RB962962. The application of gypsum provided, in the sugarcane, greater concentration and extraction of sulfur by varieties, as well as higher nitrogen extraction by the second cycle.

Key words: bioenergy, *Saccharum* spp., heating value, semi-arid, gypsum

1 INTRODUÇÃO

A produção de energia de forma alternativa através de biomassa vegetal representa hoje um grande desafio para a ciência. Os combustíveis fósseis e seus derivados ocasionam conseqüências desastrosas para o planeta, pois são fontes finitas de energia e contribuem para acelerar o efeito estufa que tem ameaçado o equilíbrio climático do planeta (QUESADA et al., 2004).

O Brasil, utilizando tecnologias de produção de biomassa energética tem se destacado no cenário mundial pela alta demanda do setor industrial em desenvolvimento face às fontes esgotáveis de energia originada do petróleo. Além disso, destacam-se a produção do etanol a partir da cana-de-açúcar, o carvão vegetal oriundo de plantações de eucaliptos, a cogeração de eletricidade do bagaço da cana, o uso da biomassa em indústria de papel e celulose, resíduos de árvores e etanol de segunda geração estabelecendo uma competição comercial com o petróleo, de modo mais limpo, renovável e geradora de empregos (GOLDEMBERG & LUCON, 2007).

No semiárido brasileiro, especialmente no Estado de Pernambuco, também tem crescido a demanda energética. Em contraste com o aumento da demanda energética está a baixa capacidade de geração de energia além da energia das usinas hidroelétricas mais próximas. Em conseqüência, o ritmo de perda da vegetação no semiárido alcança 2,7% ao ano (ARAÚJO FILHO & BARBOSA, 2000), motivado pelo crescimento econômico da região, que tem aumentado a demanda energética principalmente para atender às indústrias cerâmicas, alimentares, de cimento, de gesso e siderúrgicas, que usam lenha como fonte energética. Assim a produção de lenha passou a ser a motivação para o corte em muitas áreas, com ou sem plantio posterior (MENEZES & SAMPAIO, 2000). Vale destacar que parte da lenha disponibilizada vem da Caatinga, bioma exclusivo do Brasil, que se distribui em uma área de aproximadamente 735 km², e que vem recebendo todo o impacto ambiental do desenvolvimento econômico da região.

Em meio a Caatinga encontra-se a microrregião de Araripina, Pernambuco, formada por dez municípios, ocupando mais de 11% da área do estado e que tem como principal atividade econômica a extração e processamento de gipsita para a produção de gesso para diversos fins. O pólo gesseiro atende mais de 90% da demanda nacional de gesso. Em conseqüência, a atividade vem provocando a devastação da vegetação da caatinga da região e degradação ambiental por meio da utilização de lenha extraída da

Caatinga como fonte energética para o processamento do Gesso (ALBUQUERQUE, 2002; GALINDO, 2007).

Além das perdas pela atividade de exploração, a produção de biomassa pela vegetação da Caatinga é baixa, de maneira geral, em função da elevada temperatura e baixa umidade relativa do ar, que promovem grandes perdas por evapotranspiração (MENEZES & SAMPAIO, 2000). A produção total de matéria seca é próxima de 3-5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, em média, com máxima possível de 15-20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹; pouco se sabe sobre a produção de raízes, e uma estimativa superficial do estoque constante é de 8-12 Mg ha (TIESSSEN et al., 1998).

Dentro da perspectiva de minimizar os efeitos da devastação da Caatinga, alguns trabalhos estão sendo desenvolvidos no Araripe com objetivo de viabilizar a produção de biomassas energéticas para o Poló Gesseiro, como, por exemplo, a sobrevivência e volumetria de espécies florestais exóticas e nativas (BARROS et al., 2010), a adaptação de cultivares de capim elefante (SANTOS, 2011), e o rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos de eucaliptos (GADELHA et al., 2012).

Entre as opções para a produção de biomassa em abundância destaca-se a cana-de-açúcar, cultura histórica no Estado de Pernambuco e que compõe o mais antigo setor agroindustrial do país (ROSA et al., 2005). No entanto a exploração da cultura ocorre nas regiões mais úmidas do Estado, face às exigências da cultura por umidade, onde tem um papel de destaque na geração de bioeletricidade a partir da combustão do bagaço após moagem que, em muitos casos, superam a demanda energética das usinas, fazendo com que as mesmas comercializem a energia excedente para abastecer os municípios.

A Chapada do Araripe, visto o clima mais ameno em função dos índices pluviométricos mais elevados, pode ser considerada como uma região mais apta a produção vegetal, inclusive para as gramíneas. No entanto, as mesmas condições favoráveis a produção vegetal condicionam ao longo do tempo a formação de solos mais intemperizados, semelhantes aos solos das regiões mais úmidas, marcados pela lixiviação de bases, elevada acidez e saturação por alumínio (JACOMINE, 1996). As limitações causadas pela acidez do subsolo limitam a produtividade agrícola, sobretudo no crescimento do sistema radicular das culturas com efeitos diretos na absorção de água e nutrientes (ECHART & CAVALLI-MOLINA, 2001; MIGUEL et al., 2010)

De acordo com Sumner (1986), Quaggio (2000) e Rocha et al. (2008) o gesso adiciona cálcio ao solo, condicionando o ambiente radicular de modo que as culturas

passam a acessar as reservas de água e nutrientes nas camadas mais profundas do perfil do solo. Melhorando a disponibilidade hídrica, a cana-de-açúcar é capaz de usar a água de modo eficiente, convertendo em produção de biomassa, inclusive em ambiente semiárido, conforme constatado por Silva et al. (2011) em trabalhos com a cultura em sistemas irrigados do semiárido. Vale ressaltar que gesso é um insumo abundante na região e capaz de melhorar as condições químicas do perfil cultural dos latossolos distróficos, comuns na Chapada do Araripe, possibilitando maior acesso da planta a água e nutrientes.

Diante do exposto, o objetivo da pesquisa foi estudar a produção de biomassa para fins energéticos por variedades de cana-de-açúcar cultivadas na Chapada do Araripe, e o impacto da gessagem de solos no potencial agroenergético de cana-de-açúcar em ambiente semiárido.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A QUESTÃO ENERGÉTICA E AS ESTRATÉGIAS PARA O PÓLO GESSEIRO DA CHAPADA DO ARARIPE

Segundo Figueirôa et al. (2005), o uso de biomassa a partir da lenha no Nordeste ocorre desde o início da colonização e vem se intensificando e aumentando a pressão sobre os recursos florestais naturais. A questão agrava-se devido ao aumento populacional, atribuído à urbanização, a expansão das fronteiras agropecuárias e a industrialização.

De acordo com a interpretação das informações espaciais sobre o desmatamento ocorridos na Chapada do Araripe, até o ano de 2009, Horstmann et al. (2011) constataram que aproximadamente 65% já foram desmatados. Andrade (2007) atribuiu à retirada da lenha para abastecimento dos fornos das indústrias gesseiras, a expansão da cultura da mandioca e o pastoreio de animais nas épocas secas, como atividades que contribuíram para a degradação e destruição da vegetação da região.

O Pólo Gesso do Araripe é um Arranjo Produtivo Local (APL) formado predominantemente por empresas de micro, pequeno e médio porte, que geram 12 mil empregos diretos e 60 mil indiretos na região. O APL do Gesso responde por 95% da produção de gesso do país, e possui reserva estimada em 1,2 bilhão de toneladas, que equivale a 18% das jazidas brasileiras (SINDUGESSO, 2012). A área é constituída por mineradoras, calcinadoras e fábricas de pré-moldados os quais totalizam 480 empresas

onde 95% destas são classificadas como micro e pequenas empresas. O percentual de 60% da produção do gesso é comercializado para o sudeste (SEBRAE, 2011).

Neste contexto, e de acordo com as fiscalizações do IBAMA (2010), foi noticiado o aumento de 3% para 15% o consumo de lenha proveniente de planos de manejo e que 70% das 140 empresas produtoras de gesso em Pernambuco na ocasião das fiscalizações já atuam de forma legalizada, sendo o estoque de lenha para consumo oriundo de planos de manejo. Porém 30% das empresas apresentam-se ainda ilegais e estão sujeitas a punições e a obrigação de recompor a vegetação da Caatinga devastada.

No Pólo Gesseiro, para atender a perspectiva de demanda energética de 1,9 milhões de metros de estere a partir do consumo de energéticos florestais, seriam necessários cerca de 12,7 mil hectares/ano explorados sob a forma de manejo florestal para atender a essa demanda, número distante de vegetação disponível na região para suprir esse mercado consumidor (SECTMA-PE, 2007).

2.1.1 Biomassa energética

O uso do termo biomassa e sua importância do ponto de vista energético ocorreram por volta de 1975, corresponde a toda matéria orgânica de origem animal ou vegetal, incluindo os materiais transformados naturalmente e artificialmente, passíveis de utilização para fins energéticos (MESA PÉREZ, 2004). A construção da biomassa vegetal ocorre no processo da fotossíntese, onde a luz, gás carbônico atmosférico (CO₂) e água são transformados em carboidratos constituintes dos blocos de construção da biomassa. Além de converter menos de 1% da luz solar em energia química a fotossíntese armazena a energia solar nas ligações químicas dos compostos orgânicos estruturais da biomassa das plantas e animais (TAIZ & ZEIGER, 2004).

A energia contida na planta pode ser recuperada mediante vários processos, dos quais o mais simples é a combustão (TAIZ & ZEIGER, 2004). As espécies herbáceas perenes, por suas características fisiológicas, vêm se destacando pela alta produção de biomassa no Brasil, a exemplo do capim-elefante *Pennisetum purpureum* (Elephant grass). No mundo as principais espécies gramíneas estudadas para produção de biomassa são *Panicum virgatum* (Switchgrass), *Phalaris arundinacea* (Reed canary Grass), *Mischantus giganteus* (E-grass) (SMEET et al., 2009).

Na chapada do Araripe, Segundo Gadelha et al. (2012), a produtividade de biomassa a partir do corte de madeiras de árvores de curta rotação demonstraram resultados satisfatórios com os clones de híbridos de *Eucalyptus*, superando os resultados

obtidos por Barros et al. (2010) que na ocasião, estudaram biomassas em área de caatinga sob regime de manejo florestal e nas áreas de plantios com Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.), Jurema - *Mimosa tenuiflora* (Willd.) e Angico (*Anadenanthera columbrina*).

Em Pernambuco, e no Brasil, a produção de açúcar e álcool pelas agroindústrias canavieiras leva à produção de biomassa, na forma de “bagaço”, e que já tem sido utilizado para a produção de energia termelétrica em Usinas e destilarias e, em alguns casos, tem os excedentes de energia disponibilizados para as concessionárias de energia elétrica dos seus Estados. Assim, a cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) por sua capacidade de acumulação de massa seca poderá surgir no semiárido como cultura também capaz de crescer e produzir grandes quantidades de materiais ligno-celulósicos, o que a fará mais versátil economicamente e independente da indústria açucareira (CAMPO ZABALA, 1998).

2.2 A CANA-DE-AÇÚCAR:

2.2.1 Origem, classificação botânica, aspectos morfofisiológicos e constituição

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) originária do Sudeste da Ásia é uma gramínea bem adaptada às regiões tropical e subtropical, possui sistema fotossintético C4, ciclo semiperene, que pertence à divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, subclasse Commelinidae, ordem Cyperales, família Poaceae, tribo Andropogonae e subtribo Saccharininae. (LUCCHESI, 2001; TAIZ & ZEIGER, 2004).

A espécie *S. officinarum* (L.), chamada de “cana nobre”, foi amplamente cultivada, servindo de material para cruzamentos devido à maior riqueza sacarina (FIGUEIREDO et al., 1995; MATSUOKA et al., 1999). Atualmente são cultivados apenas híbridos interespecíficos de *Saccharum* spp, desenvolvidos para aliar a rusticidade de espécies como *S. spontaneum* às qualidades das variedades nobres de *S. officinarum* (GOMES & LIMA, 1964).

As principais características morfofisiológicas do gênero (*Saccharum* spp.) são: crescimento do caule em colmos, folhas que possuem lâminas de sílica nas bordas e bainha abertas. O hábito de crescimento da cana-de-açúcar dependendo das características da variedade pode ser ereto, semi-decumbente e decumbente e possui um alto desempenho do metabolismo fotossintético quando submetida a temperaturas entre 30 e 40 °C (TAIZ & ZEIGER, 2004).

A constituição dos colmos, conforme Maschio (2011), é a parte mais importante da planta do ponto de vista econômico, e apresenta os seguintes constituintes de interesse agroenergético: fibra 10 a 12%, composta por celulose, hemicelulose e lignina, o caldo (82 a 90%), apresenta 75 a 82% de água e 18 a 25% de sólidos solúveis quando em estágio de maturação, sendo estes últimos os constituintes decisivos na indústria sucroenergética. Ainda com relação aos sólidos solúveis, 1 a 2% são não-açúcares (sais inorgânicos e orgânicos) e o restante açúcares, sendo 14 a 24% sacarose, 0,2 a 1,0% glicose e 0,5% frutose.

2.2.2 Síntese histórica e importância agroenergética da cana-de-açúcar para Pernambuco e Brasil

O cultivo da cana-de-açúcar foi introduzido no país no período colonial no século XVI através da Capitania de São Vicente, a partir das expedições portuguesas de Martins Afonso de Souza, e foi trazida na mesma época para capitania de Pernambuco por Duarte Coelho Pereira, consolidando-se pela área ocupada e pela produção de cana-de-açúcar, assumindo, naquele período, a posição de destaque entre as demais atividades produtivas da época, e consagrou-se como uma das principais culturas da economia Brasileira (FERNANDES, 1990; GOMES, 2006; VARNHAGEN, 1975).

O Brasil possui atualmente uma área de 8,368 milhões de hectares ocupados por esta cultura, com produção de 571.439,3 milhões de toneladas. Isso fez do setor sucroenergético o terceiro em importância econômica no cenário do agronegócio brasileiro, contribuindo para 2,7% do Produto Interno Bruto (PIB) em 2011, aliando-se a segmentos de importância social pela geração de maior número de empregos e ambiental por compor a matriz energética pela produção de energia renovável e limpa (CONAB, 2012; GOLDEMBERG & LUCON, 2007; IBGE, 2012;).

Portanto, além de projetar o país como líder na posição mundial de produtores de açúcar e etanol e como o maior exportador desses produtos, a produção de cana-de-açúcar possibilitou a implantação em larga escala do etanol combustível renovável alternativo ao petróleo. Soma-se a isso o conhecimento científico e tecnológico que foram desenvolvidos pelo Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (PLANALSUCAR) na década de 1970, e que segue atualmente sob responsabilidade da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do setor Sucroalcooleiro (RIDESA), fundada pelas Universidades

Federais e que tem como atividade principal a pesquisa no Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar (SIMÕES NETO, 2008).

2.2.3 Características agroenergéticas da cana-de-açúcar

As variedades lançadas pela RIDESA, identificadas pela sigla “RB” - República Federativa do Brasil, ocupam 58 % da área de cana-de-açúcar cultivada no Brasil, ou seja, cerca de quatro milhões e quinhentos mil hectares. Estas variedades com características diversas tornam o Brasil um país com tecnologia e competência para produzir energia renovável e auto-sustentável (RIDESA, 2010).

A cana-de-açúcar é uma planta de metabolismo fotossintético C₄, considerada altamente eficiente na conversão de energia radiante em energia química, com taxas fotossintéticas calculadas em até 100 mg dm⁻² h⁻¹ de CO₂ fixado. Entretanto, esta alta atividade fotossintética, não se correlaciona diretamente com a elevada produtividade de biomassa. A grande capacidade da cana-de-açúcar para a produção de matéria orgânica reside na alta taxa de fotossíntese por unidade de superfície de terreno, que é influenciado pelo Índice de Área Foliar (IAF). Além disso, o longo ciclo de crescimento da planta resulta em elevadas produções de matéria seca (CASTRO et al., 2005).

O credenciamento de um material como biomassa se faz a partir dos estudos de suas características energéticas, ou seja, pelos teores de fibras, lignina, umidade e poder calorífico (VALE et al., 2000). No que diz respeito à biomassa da cana-de-açúcar, a produção de energia no processo de combustão deve apresentar-se com características agroenergéticas desejáveis, viabilizadas após as análises dos parâmetros seletivos do material ligno-celulósico, os quais devem se destacar quanto à produção de matéria seca, possuir baixo teor de umidade, altos teores de fibras, lignina e poder calorífico, além de possuir baixo teor de impurezas ou cinzas (JORGE et al., 2005).

As fibras normalmente são divididas em função da solubilidade dos constituintes da célula vegetal em detergentes neutros e ácidos. O detergente neutro separa o conteúdo celular formado principalmente de proteínas, gorduras, carboidratos solúveis, pectina e outros constituintes solúveis em água da parede celular. Portanto, a chamada de Fibra em Detergente Neutro (FDN) é constituída basicamente de celulose, hemicelulose, lignina, proteína danificada pelo calor, proteína da parede celular e cinzas.

Na determinação da Fibra em Detergente Ácido (FDA), é utilizado um detergente específico utilizado para solubilizar o conteúdo celular, a hemicelulose e os minerais

solúveis que, além de ter maior parte da proteína insolúvel, constituiu-se em um resíduo insolúvel quase que sua totalidade por celulose e lignina (lignocelulose), por proteína danificada pelo calor, por parte da proteína da parede celular e por minerais insolúveis (cinzas) (VAN SOEST, 1965).

Quesada (2005) estudou parâmetros quantitativos e qualitativos de capim elefante e o potencial energético desta espécie e afirmou que materiais que apresentam teores de FDA acima de 52% da matéria seca são de boa qualidade para queima, assim como teores de lignina acima de 10%. Morais, et al. (2009) estudando as características energéticas de cinco genótipos de capim elefante em três ciclos encontrou valores médios dos teores de fibras de 47,2%, lignina 9,2% e cinzas 3,4% onde o primeiro e segundo teores foram considerados elevados e o último abaixo dos valores críticos aceitáveis.

Outro fator importante é o poder calorífico do material, característica quantitativa de energia na forma de calor que é liberada na combustão completa de uma unidade de massa do combustível e que corresponde ao poder calorífico superior (PCS) do material examinado. Já o poder calorífico inferior é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após se deduzir as perdas com a evaporação da água (DINIZ et al., 2004; JARA, 1989; QUIRINO et al., 2005).

A biomassa oriunda do bagaço da cana-de-açúcar vem sendo utilizado na produção de energia, e corresponde a cerca de 30% da quantidade processada, podendo atingir poder calorífico médio de $7,74 \text{ MJ kg}^{-1}$ ($1.850 \text{ kcal kg}^{-1}$), considerando um material com 50% de umidade (COELHO, 1999). Maschio (2011) analisou a energia total de 14 variedades de cana-de-açúcar nas condições de textura argilosa e 10 variedades em textura franco-arenosa, submetidas às lâminas de 100% de irrigação plena e com redução de 70% desta lâmina, e obteve valores médios estimados de energia total incluindo o palhiço e bagaço das variedades de cana-de-açúcar de $186,1 \text{ MJ m}^2 \text{ safra}^{-1}$ no solo com textura argilosa e com 100% da lâmina e $151,5 \text{ MJ m}^2 \text{ safra}^{-1}$ com redução da lâmina, enquanto que na textura franco-arenosa com 100% da lâmina $170,7 \text{ MJ m}^2 \text{ safra}^{-1}$ e com redução da lâmina $154,6 \text{ MJ m}^2 \text{ safra}^{-1}$.

Segundo (Ripoli & Molina 1991 e Ripoli et. al., 2000) as estimativas encontradas para valores energéticos a partir de variedades de cana-de-açúcar estudadas no Brasil, encontraram resultados equivalentes de $280,73 \text{ MJ ha}^{-1}$, distribuídos da seguinte maneira: 24% na produção de etanol, 37% no bagaço queimado na usina e, ou, caldeira da destilaria e 39% nos ponteiros, folhas verdes e secas. Neste contexto Jorge et al. (2005) estudaram

em Cuba a diversificação de cultivos pelo uso de biomassa energéticas a partir de variedades de cana-de-açúcar, tradicionais e energéticas, e encontraram resultados de produção de matéria seca (MS) em toneladas por hectare por ano de 30-82 t MS ha⁻¹ ano⁻¹ e 50-100 t MS ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, e PCS de 4600 kcal kg⁻¹ e 4600-4800 kcal kg⁻¹, em base seca. Santos et al. (2011) comparando o PCS de três espécies de capim-elefante e a suas produções de matéria seca no semiárido Pernambucano, obteve maior quantidade de energia produzida por unidade de área com a espécie Cameroon com produção de 580,99 MJ ha⁻¹.

2.3 CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS DA CHAPADA DO ARARIPE E O CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Os solos da região do semiárido nordestino delimitados em função da vegetação caatinga apresentam-se com variações em suas características físicas e químicas. Na visão de Jacomine (1996), nesta região existem diversas classes de solos, as quais variam em função do grau de evolução, atividade da argila, saturação por bases, textura, presença de sais solúveis e sódio trocável, além de características físicas como permeabilidade, profundidade, porosidade e densidade global.

No Sertão do Araripe, a Chapada do Araripe abrange uma extensão de 800 mil hectares, nos Estados de Pernambuco, Paraíba e Ceará. Seu relevo varia de plano a levemente ondulado, mecanizável em grande parte de sua área. De acordo com Jacomine (1996) na Chapada ocorre predominância dos Latossolos, 21% destes recobertos pela vegetação de Caatinga. Estes solos são profundos, bem drenados, com horizonte superficial pouco espesso e contêm baixos teores de matéria orgânica. Vale destacar que os Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos são predominantemente ácidos e quimicamente pobres, comuns em regiões úmidas e que também ocupam grandes extensões nas chapadas e nas áreas de cobertura.

A acidez do solo é um problema que ocorre comumente no mundo, principalmente nas regiões tropicais úmidas limitando a produção agrícola. Os solos destas regiões são submetidos a intenso processo do intemperismo que, por sua vez, responde pela acidificação desses solos por meio da remoção de cátions alcalinos e alcalinos terrosos e da permanência de íons hidrogênio e alumínio no complexo de troca. O alumínio tóxico reduz o crescimento radicular (ADAMS & PEARSON, 1970; PAVAN et al., 1982),

especialmente o ápice das raízes (KOCHIAN, 1995) que, inicialmente, tornam-se alongadas e, posteriormente, engrossam e não se ramificam normalmente, dificultando o acesso a reservas de água e nutrientes em camadas mais profundas do solo (CLARKSON, 1967; McCORMICK & BORDEN, 1972; TANG et al., 2003)

Assim, os solos ácidos e saturados por alumínio demandam pela adequação do manejo químico do solo que permita que a planta possa explorar um maior volume de solo e, conseqüentemente, maior volume de água para produzir a matéria seca (MALAVOLTA, 1997). De acordo com Peixoto et al. (2007), a toxidez por alumínio em plantas de sorgo aliado ao estresse hídrico ocasionam reduções no peso da matéria seca, diminuem tanto o número de raízes, como seu comprimento, e estes problemas estão associados a aumentos no raio médio e no volume radicular.

A toxidez por alumínio de acordo com Furlani (1993) provoca a fixação do fósforo, altera a absorção e o transporte de vários nutrientes como cálcio, magnésio e fósforo, diminuem a taxa de respiração e interfere de forma negativa nas reações enzimáticas responsáveis pela deposição de polissacarídeos nas paredes celulares. Oliveira (2012) analisando o comportamento de variedades de cana-de-açúcar submetidas a concentrações crescentes de alumínio percebeu mudanças morfológicas no ápice das raízes, taxa de alongamento radicular, perda de células epidérmicas da coifa e desintegração da coifa, o que desfavorece a absorção de água e nutrientes podendo até levar ao confundimento com sintomas visuais de deficiência de fósforo e cálcio.

Gesso tem sido a mais promissora das alternativas para a redução da saturação por alumínio no subsolo atingindo profundidades além da camada arável (SUMNER, 1995; QUAGGIO, 2000). O gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) é o nome comercial dado ao mineral semi-hidrato obtido da calcinação da gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), rocha gipsífera formada em bacias sedimentares. Trata-se de um evaporito constituído em sedimentares, cujas idades geológicas podem variar do Paleozóico e Cenozóico (DNPM, 2001).

Nos primórdios do século XVIII inicialmente na Europa, a gipsita era moída aplicada na agricultura como corretivo de solos. Na região Nordeste, o gesso disponível é a gipsita moída oriunda do pólo gesseiro do Araripe, (DNPM, 2001).

O gesso tem mostrado eficiência quando aplicado em solos, como foi comprovado na redução de teores de alumínio e manganês (ILLERA, et al., 2004a), na redução da saturação por alumínio (BAKKER et al., 1999), na redução da acidez em profundidade (QUAGGIO, 2000; FARINA et al., 2000; OLIVEIRA & PAVAN, 1996), e no

fornecimento de cálcio e enxofre (CAIRES et al., 2002), entre outros usos agrícolas e ambientais.

A produção de biomassa energética obtida da cana-de-açúcar no semiárido nordestino especificamente na região da Chapada do Araripe poderá ser incrementada pelo emprego do gesso nos Latossolos dessa região. Alguns aspectos estudados por Rocha et al. (2008) corroboram o efeito positivo direto da aplicação do gesso mineral no crescimento e maior distribuição percentual radicular da cana-de-açúcar em subsuperfície em Latossolo Amarelo Distrocoeso típico.

Saldanha et al., (2007) corroboram o efeito do gesso produzido no Pólo Gesseiro do Araripe aplicado em Latossolo Amarelo na região sul da Zona da Mata de Pernambuco cultivados com cana-de-açúcar, onde foi reduzido os teores de alumínio trocável e a saturação por alumínio. Dentro desta perspectiva e de acordo com Morelli et al. (1987, 1992) e Raij et al. (1998) o gesso promoveu a correção do alumínio e incrementou a saturação por bases em camadas mais profundas.

2.4 MANEJOS DE SOLOS E O USO DA ÁGUA E DE NUTRIENTES POR VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADAS NO SERTÃO DO ARARIPE

A Gessagem pode ainda melhorar a utilização de água e de nutrientes pelas culturas. Shigaki et al. (2003) relata que a cultura da cana pode ser severamente afetada pela baixa exploração do sistema radicular em solos álicos, uma vez que a cana-de-açúcar é uma planta de elevado consumo de água, necessitando de 250 partes de água para formar uma parte de matéria seca. Assim, se os teores de alumínio no solo forem elevados o sistema radicular das culturas pode ter o seu crescimento inibido pela toxicidade ao elemento, diminuindo o acesso a água e nutrientes.

A eficiência do uso da água pela planta pode ser incrementada tanto por práticas de manejo de solo, as quais afetam os processos de evapotranspiração pelas modificações nas trocas energéticas do sistema-solo-planta, como, por exemplo, práticas de manejo nutricional da planta, que influenciam o aproveitamento da água devido às alterações na eficiência fisiológica da mesma (HATFIELD et al., 2001). De acordo com esses autores, mudanças implementadas no manejo do solo podem aumentar a eficiência do uso da água

de 25 a 40%, enquanto modificações no manejo de nutrientes para as plantas podem incrementar esse índice de 15 a 25%.

Dentro do aspecto nutricional das gramíneas, é importante destacar o papel fundamental do nitrogênio no aumento da produção de massa seca da planta (BATISTA & MONTEIRO, 2006; BONFIM-SILVA et al., 2007). Estudos têm demonstrado que espécies de gramíneas bem supridas com nitrogênio incrementam a eficiência do uso da água do solo (SHANGGUAN et al., 2000; STOUT & SCHNABEL, 1997).

De Bona (2008) observou que a adição de nitrogênio via adubação, aumentou a eficiência do uso da água no primeiro e terceiro crescimentos, onde as doses de nitrogênio proporcionaram a máxima eficiência do uso da água para produção de massa seca do capim-Marandu. Esses resultados corroboram com o trabalho de Bonfim-Silva et al. (2007), que estudaram a recuperação do capim-Braquiária, já estabelecido no solo, com o emprego das adubações com nitrogênio e enxofre, verificando que o nitrogênio foi importante para aumentar a eficiência do uso da água pelas plantas em dois ciclos de crescimento e desenvolvimento. No entanto, esses autores obtiveram valores próximos a 7 para relação massa seca/ consumo de água.

Em estudo relativo aos efeitos do estresse hídrico e da adubação nitrogenada em medidas de crescimento, concentração de nitrogênio e eficiência no uso de água pelo milho, Freire (1991) verificou que a adubação nitrogenada promoveu maior ajustamento osmótico nas plantas constantemente estressadas, com conseqüente maior acumulação relativa de massa seca e maior eficiência do uso de água. Mattos et al. (1997) constataram que as doses de nitrogênio, juntamente com a irrigação, proporcionaram acréscimo na produção total massa seca pelo milheto com menor consumo de água à medida que aumentaram a dose fornecida de nitrogênio e que a máxima eficiência do uso de água ocorreu na dose de nitrogênio de 350 mg dm^{-3} .

Marcelino et al. (2003) quantificaram a produção de massa seca da parte aérea do capim *Cynodon spp.* cv. Tifton 85 sob níveis de adubação nitrogenada, associada a diferentes potenciais matriciais de água no solo, que estão associados disponibilidades de água no solo. Os autores observaram uma maior produtividade de massa seca da parte aérea no tratamento com a maior dose de adubação associada à maior umidade do solo, resultando em maior eficiência no aproveitamento do N em condições de maior umidade no solo. Em Planaltina, na região dos Cerrados, a eficiência da adubação nitrogenada em

cultivos de Tifton 85 (*Cynodondactylon*) e de Marandu (*Brachiaria brizantha*), foi incrementada em 37% com o uso da irrigação (VILELA et al., 2004a e b).

Nota-se por meio da pesquisa científica, que plantas bem nutrida com nitrogênio e sob condições de umidade do solo adequada apresentam diminuição no potencial de água na folha e incremento na condutância estomática, o que culmina com aumentos na eficiência do uso da água pelas plantas (SHANGGUAN et al., 2000; RIPPULONE et al., 2004). Wong et al. (1979) relataram que plantas bem nutridas com nitrogênio exibem incrementos na abertura estomática devido ao aumento na capacidade de fixação de CO₂ e da capacidade fotossintética do mesófilo foliar, o que aumenta a eficiência do uso da água pela planta. Já em plantas como a cana-de-açúcar, deficiência de nitrogênio como de água reduzem drasticamente a capacidade fotossintética.

Segundo Ranjith et al. (1995) e Meinzer & Zhu (1998), a deficiência de nitrogênio interfere nas atividades da PEPC e da RUBISCO, e o déficit hídrico afeta diversos processos fisiológicos levando as plantas a responderem rapidamente mediante fechamento dos estômatos, que como consequência diminui o suprimento de CO₂ para a fotossíntese, aumentando a resistência difusiva ao vapor de água, reduzindo a transpiração, afetando a dissipação da energia térmica e o transporte de nutrientes por fluxo de massa (WU & CAMPBELL, 2007).

Muitos entre os efeitos citados refletem mecanismos de adaptação das plantas ao ambiente (HESCHEL & RIGINOS, 2005). Além disso, de acordo com Saliendra et al. (1996) e Inman-Bamber & Smith (2005) a eficiência de utilização de água de uma cultivar de cana-de-açúcar está relacionada a fatores fisiológicos, como: capacidade de discriminação do isótopo estável ¹³C pela enzima ribulose-1,5-bifosfato; e morfológicos, tais como: índice de área foliar; alongação dos colmos e partição de matéria seca, entre outros.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido no período de 25 de janeiro de 2010 a 19 de abril de 2012, na Estação Experimental do Instituto Agrônômico de Pernambuco - IPA, situada na Chapada do Araripe, no Município de Araripina, a 694 km da capital do Estado. As coordenadas do local são: 07° 27' 37'' S e 40° 24' 36'' W e altitude de 831 metros.

O Município se insere no clima semiárido quente tipo ‘Bshw’ de Koppen. A vegetação se constituiu basicamente de Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia, onde ocorrem chuvas de verão e períodos chuvosos em novembro e término de abril, a precipitação média anual de 431,8 mm (CPRM/PRODEEM, 2005).

A evapotranspiração de referência (Eto) foi calculada por meio da equação de Penman-Monteith descrita no boletim 56 da FAO (Allen et al., 1998), enquanto que a precipitação local (Figura1) foi obtida por meio da estação meteorológica automática instalada no Instituto de Pesquisa Agropecuária de Pernambuco - IPA em Araripina - PE.

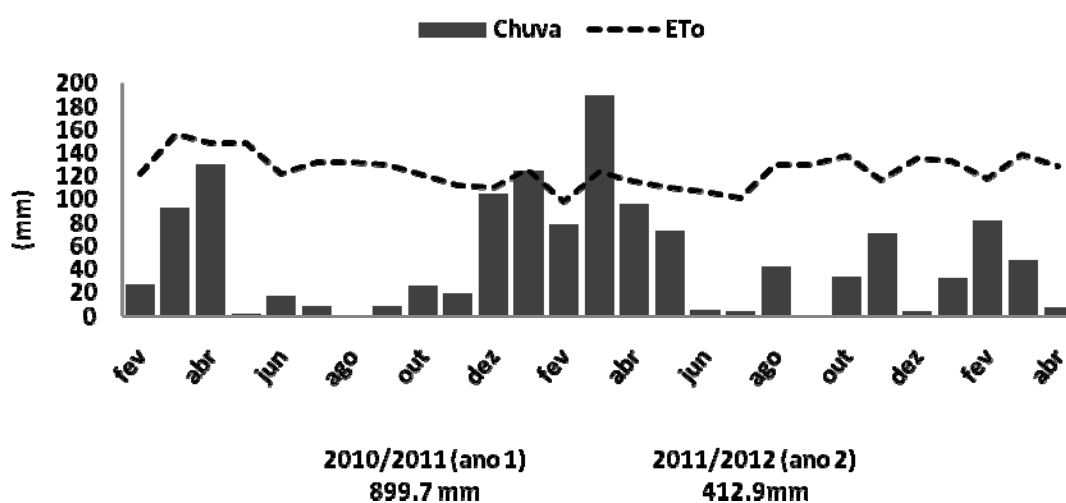


Figura 1. Precipitação pluvial e evapotranspiração de referência (Eto) do período de fevereiro de 2010 à abril 2011 (ano 1) e abril de 2011 à abril de 2012 (ano 2).

3.1.1 Caracterização química e física do solo

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Amarelo (EMBRAPA, 2006) e coletado para a caracterização física e química nas profundidades de 0,0 a 0,2 m e 0,2 a 0,4 m (Tabela 1).

O cálcio, magnésio e alumínio foram extraídos com cloreto de potássio 1,0 mol L⁻¹; O fósforo, potássio e sódio com Mehlich-1; e o (hidrogênio+alumínio) com acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, conforme (EMBRAPA, 2009).

O enxofre disponível foi extraído com fosfato de cálcio em água conforme (ALVAREZ V. et al., 2001); A capacidade máxima de adsorção de sulfato foi determinada conforme metodologia descrita por (ALVAREZ V. et al., 2001). O cálcio, magnésio, o alumínio e o (hidrogênio+alumínio) foram determinados por titulometria; o sódio por fotometria de chama; o fósforo por colorimetria; o enxofre por turbidimetria (ALVAREZ

V. et al., 2001); O carbono por combustão úmida com dicromato de potássio (EMBRAPA, 2009); O fósforo-remanescente segundo metodologia descrita por (ALVAREZ V. et al., 2000).

Tabela 1. Caracterização química e física do solo nas profundidades de 0,0 a 0,2 m e 0,2 a 0,4 m na área do ensaio de campo na Estação Experimental de Araripina do Instituto Agrônomo de Pernambuco em Araripina/PE 2010

| Característica | Profundidade (m) | |
|---|-------------------------|-------------------------|
| | 0,0 – 0,2 | 0,2 – 0,4 |
| pH _{água} (1:2,5) | 4,85 | 4,54 |
| Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,95 | 0,30 |
| Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,68 | 0,38 |
| Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,23 | 0,24 |
| P (mg dm ⁻³) | 4,00 | 1,00 |
| Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,37 | 0,70 |
| (H + Al) (cmol _c dm ⁻³) | 3,74 | 3,27 |
| CTC ¹ _{efetiva} (cmol _c dm ⁻³) | 2,37 | 1,71 |
| Carbono Orgânico Total (g kg ⁻¹) | 14,0 | 08,9 |
| S-SO ₄ ⁻² (mg dm ⁻³) | 1,83 | 0,69 |
| CMAS ² (mg g ⁻¹) | 0,012 | 0,018 |
| m (%) | 15,49 | 40,90 |
| Areia Total (g kg ⁻¹) | 730 | 722 |
| Areia Grossa (g kg ⁻¹) | 570 | 551 |
| Areia Fina (g kg ⁻¹) | 160 | 171 |
| Silte (g kg ⁻¹) | 134 | 144 |
| Argila (g kg ⁻¹) | 136,38 | 133,97 |
| Classe Textural | Franco-arenosa | Franco-arenosa |
| Ds ³ (kg dm ⁻³) | 1,43 | 1,41 |
| PT ⁴ (%) | 52,26 | 52,64 |
| K ₀ ⁵ (m s ⁻¹) | 1,81 x 10 ⁻⁵ | 2,58 x 10 ⁻⁵ |
| U _{cc} ⁶ (Mg Mg ⁻¹) | 0,13 | 0,13 |

¹ Capacidade de troca de cátions; ² Capacidade máxima de adsorção de sulfato; ³ Densidade do solo; ⁴ Porosidade total; ⁵ Condutividade hidráulica em meio saturado; ⁶ Umidade na capacidade de campo

A caracterização física do solo no que se refere a sua granulometria para definição da classe textural, densidade do solo, densidade das partículas, condutividade hidráulica, capacidade de campo e ponto de murcha permanente, e indiretamente, a porosidade total com exceção da granulometria, que foi determinada pelo método proposto por Ruiz (2004),

todas as demais análises físicas foram realizadas de acordo com a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

3.2 CARACTERÍSTICAS DAS VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR

3.2.1 RB867515 “Variedade que venceu desafios”

A variedade foi lançada oficialmente em 1997 pela Universidade Federal de Viçosa, e foi relevante para Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro- RIDESA, por atender e ainda veem atendendo a demanda dos solos de baixa fertilidade, arenosos e com restrições hídricas facilitando o avanço dos canaviais nestas condições.

A variedade tem se destacado pela boa brotação na cana planta e na soca, apresentando perfilhamento médio e bom fechamento de entrelinhas, produção agrícola e teor de sacarose alto, período útil de industrialização PUI médio, teor de fibra médio a alto e maturação tardia (RIDESA, 2010).

No que se refere à morfologia, seu hábito de crescimento é ereto e de fácil despalha. O seu perfilhamento é médio e com colmos de diâmetro médio e alta uniformidade, ainda seus colmos possuem entrenós cilíndricos, de cor verde-arroxeadado sob a palha, e roxo intenso quando exposto ao sol. Apresenta pouca rachadura e suave ziguezague. O aspecto é liso e com pouca cera. O anel de crescimento tem largura média, de cor verde-amarelada sob a palha e verde-arroxeadado quando exposto ao sol. A Zona radicular é de largura média, sem enraizamento aéreo. As gemas são de tamanho médio do tipo pentagonal, pouco proeminente ultrapassando o anel de crescimento e com poro germinativo apical. A almofada é de largura estreita e deprimida.

3.2.2 RB92579 “Variedade que impactou a produtividade de cana na região Nordeste”

Esta variedade foi obtida pelo Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar PMGCA, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas e liberada em 2003 para o setor produtivo.

A sua genealogia se deu a partir do cruzamento biparental, tendo a variedades RB75126 como progenitora, fecundada pelo pólen da RB72199, resultando numa variedade que apresenta-se com características como alta brotação, alto perfilhamento em

cana-planta e soca, bom fechamento nas entrelinhas. Considerada de maturação média, apresenta no meio de safra, alta produtividade agrícola e teor de sacarose alto, com longo PUI, e médio teor de fibra (RIDESA, 2010).

O crescimento em área cultivada e produtividade agroindustrial superiores às variedades cultivadas nas últimas duas décadas faz desta variedade um destaque nacional, principalmente em áreas de irrigação plena a exemplo visto na empresa AGROVALE no estado da Bahia semiárido nordestino, onde obteve maior produtividade mundial (RIDESA 2010).

A variedade apresenta-se com características morfológicas onde se verifica o hábito de crescimento ereto dos colmos, arquitetura foliar com pontas curvas, copa de volume regular e tonalidade intermediária, folhas de limbo largo e fraco serrilhamento do bordo, difícil despalha, palmito curto de seção circular de cor verde-roxa e fraca presença de cera, entrenós cilíndricos de comprimento e diâmetro médios de aspecto manchado com pouca cera, de cor roxa ao sol e amarelo-verde sob a palha e gema do tipo triangular (RIDESA 2010).

3.2.3 RB962962

A variedade lançada em março de 2010 pelo Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar da Universidade Federal Rural de Pernambuco, foi obtida pelo cruzamento da R397 com clones desconhecidos, considerando-se os aspectos gerais, o hábito de crescimento é ereto, velocidade de crescimento alto e bom fechamento nas entrelinhas, perfilhamento médio. Possui médio teor de fibras e alto teor de sacarose. Quanto à recomendação de manejo pode ser recomendada em plantio em ambientes de médio e baixo potencial, destacando-se pela alta produtividade agrícola, tolerância ao estresse hídrico e excelente sanidade e brotações tanto em cana-planta e soqueiras. Morfológicamente suas bainhas são verdes e arroxeadas quando expostas, de fácil despalha e quantidade de folhas regular.

3.3 TRATAMENTOS E DELINEAMENTOS E EXPERIMENTAL

O delineamento estatístico adotado para o experimento foi o de blocos casualizados com parcelas subdivididas, com arranjo fatorial de (3X2), ou seja, 3 variedades de cana-de-açúcar, em 2 condições de manejo do solo, com e sem a aplicação de gesso, com quatro

repetições, totalizando 24 unidades experimentais. As unidades experimentais foram compostas por 7 sulcos de 6 m de comprimento e espaçados por 1 m, totalizando uma área de 42 m² sendo a área útil composta por 3 sulcos centrais de 2 m de comprimento totalizando 6 m².

3.4 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO CAMPO EXPERIMENTAL

O experimento foi instalado em 2010 no início das chuvas, no dia 03 de fevereiro, sendo precedido da interpretação dos níveis dos teores dos elementos descritos na (Tabela 1) e procedendo a recomendação de correção e adubação do solo.

O calcário dolomítico foi aplicado na dose de 0,550 Mg ha⁻¹ e distribuído em área total das parcelas experimentais e incorporado com grade de discos. A dose foi calculada considerando-se a camada para correção de 0,0 a 0,2 m de profundidade e o cálculo da Necessidade de Calagem (NC) conforme o método da neutralização do alumínio trocável ou elevação dos teores trocáveis de cálcio e magnésio, conforme Recomendações de adubação e calagem para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008).

A aplicação da dose do gesso correspondeu a 0,495 Mg ha⁻¹, dimensionada a partir do cálculo da NC para a camada de 0,2 a 0,4 m de profundidade pelo método de neutralização do alumínio trocável ou elevação dos teores trocáveis de cálcio e magnésio (IPA, 2008). As doses de gesso foram aplicadas no sulco de plantio das parcelas experimentais.

As parcelas receberam adubação com nitrogênio, fósforo e potássio, recomendados de acordo com os resultados das análises químicas (Tabela 1), e de acordo com as Recomendações de Adubação para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008). Foram aplicados 300 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio, 286 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo e 150 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio. O superfosfato triplo foi aplicado todo em fundação, e para os demais, 1/3 em fundação e 2/3 em cobertura, 70 dias após o plantio. Para a cana soca, não foi realizada adubação, o campo foi conduzido apenas com as quantidades residuais da adubação realizada na cana planta. Após oito dias da aplicação do gesso, foram plantadas as sementes das três variedades de cana-de-açúcar: RB867515, RB92579 e RB962962.

As variedades foram submetidas a duas situações de solo com e sem gesso. Nesta ocasião as sementes foram distribuídas dentro dos sulcos de plantio e dispostos em duas fileiras de forma em que a parte basal de um colmo coincidissem com a ponta do outro

colmo em seguida foram reboladas em toletes e pulverizadas no sulco com cupinicida fipronil na dose de 125 g ha⁻¹ posteriormente os sulcos foram fechados com aproximadamente 10 cm de solo.

3.5 ANÁLISES DAS CARACTERÍSTICAS AGROENERGÉTICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR

3.5.1 Determinação da produção da matéria fresca, umidade e matéria seca

Os cortes das variedades de cana-de-açúcar no primeiro ano (2011) ciclo cana planta e segundo ano (2012) ciclo cana soca, foram feitos aos 14 meses após o plantio e 12 meses após o primeiro corte respectivamente. Foram coletadas amostras correspondendo à parte aérea de 10 plantas inteiras (colmos + folhas + ponteiro) de forma aleatória na área útil de 6 m² de cada parcela dos tratamentos. Após a pesagem as amostras foram trituradas em forrageira, em seguida foram retiradas subamostras as quais foram acondicionadas em sacos de papel com capacidade para 1 kg e transportadas ao laboratório.

As amostras da biomassa foram submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar forçada a 65°C até atingir peso constante baseando-se no método de secagem proposto por Van Soest e descrito por (SILVA & QUEIROZ, 2002).

A produção da matéria fresca e seca (t ha⁻¹) no ciclo da cana planta e da cana soca foram estimadas a partir da contagem do número de plantas da área útil (3 sulcos de 2m) e da soma do peso médio de 10 plantas coletadas aleatoriamente na área útil antes e após o processo de secagem.

Assim, a produção foi estimada de forma a corrigir as possíveis falhas de brotação e tomando-se como base para o cálculo o espaçamento de 1,0 m entre as linhas de plantio (em sua totalidade de 10.000 m lineares em 1 hectare), onde foram levados em conta a diferença de peso, fresco e seco, para totalizar a produção de biomassa e para a obtenção da umidade (%) (p/p), tomando como base recomendações propostas por Van Soest descritas por (SILVA & QUEIROZ, 2002).

3.5.2 Determinação de fibras em detergente neutro (FDN), detergente ácido (FDA), lignina e cinzas

Após o corte, pesagem e secagem, amostras de matéria seca foram passadas em moinho tipo Wiley (peneira 1 mm), em seguida foram pesadas para a obtenção de 0,5000 g ± 0,0010 para constituir as amostras para determinações. As amostras foram

acondicionadas dentro dos sacos de filtragem tipo sachês confeccionados a partir de malha de tecido TNT n° 100 em seguida pesados, que foram selados após receberem as amostras.

As determinações das FDN, FDA, lignina e cinzas, basearam-se em solubilizações sequenciais e pela separação dessas frações, constituintes dos tecidos de cada variedade de cana-de-açúcar, a partir dos reagentes específicos chamados de detergentes, conforme método proposto por Van Soest descritas por (SILVA & QUEIROZ, 2002).

A FDN foi obtida a partir da solução de detergente neutro, preparada a base de hidróxido de sódio NaOH utilizada para separar o conteúdo celular mais solúvel (proteínas, gorduras, carboidratos solúveis, pectina e outros constituintes solúveis em água da parede celular) do conteúdo insolúvel constituídos por (celulose, hemicelulose, lignina, proteína danificada pelo calor, proteína da parede celular e cinzas). Enquanto que, as determinações da FDA pelo uso do detergente ácido, a base de ácido sulfúrico, utilizado na sequência após a FDN, para solubilizar os conteúdos celulares e a hemicelulose não solubilizados, a exemplo das proteínas da parede celular, proteínas danificadas pelo calor e a maior fração do resíduo insolúvel constituído pela celulose e lignina (lignocelulose) e as cinzas (minerais insolúveis).

Para obter os teores de FDN e FDA, as amostras foram submetidas às solubilizações em aparelho de determinação de fibras marca TECNAL modelo T-149, que nas ocasiões da FDN e FDA tiveram as temperaturas e tempos de trabalhos ajustados em 100 °C e 60 minutos, respectivamente. Após o final dos ciclos de solubilização, as amostras foram lavadas com água deionizada aquecida a 100 °C por 10 minutos repetindo-se este procedimento por duas vezes. As amostras foram saturadas com acetona por 5 minutos, sendo retiradas e colocadas para secar ao ar por 15 minutos antes de submetê-las a secagem em estufa à temperatura de 100 °C por 19 horas. As amostras secas da estufa foram colocadas em dessecador para esfriar e, em seguida, submetidas às pesagens.

Assim, os valores percentuais de FDN e FDA foram obtidos a partir dos cálculos da diferença dos pesos das amostras antes e após cada procedimento, e representam os constituintes insolúveis da parede celular das variedades.

A determinação do teor de lignina foi realizada partindo dos resíduos de fibras deixados pela FDA, que, por sua vez, é constituída das frações de celulose e lignina. No procedimento foi utilizada solução do ácido sulfúrico (H₂SO₄) a 72 % (p/p) recomendado para umedecer o conteúdo dos resíduos para obtenção da fração celulose das amostras. Para isso, os sachês foram colocados em béquer contendo a solução ácida e agitados com

bastão de vidro por cinco 5 minutos deixando em repouso por 20 minutos repetindo o procedimento por mais duas vezes, promovendo-se o contato entre o ácido e as partículas das amostras, em seguida, os sachês foram retirados e postos a lavagens sucessivas com água aquecida 95 a 100 °C até remoção total do ácido, conferida pela aferição do pH da solução.

Os sachês foram postos para secar em estufa a 100 °C por 14 horas onde foram retirados e colocados em dessecador para esfriar procedendo-se as pesagens em balança analítica e registros dos valores obtidos dos pesos das amostras utilizados no cálculo do teor de lignina. O referido teor de lignina foi, portanto obtido pelo cálculo da diferença de pesos das amostras atribuídas à solubilização da celulose pela solução ácida (RECH, 2010; SILVA & QUEIROZ, 2002).

Os teores de cinzas insolúveis foram determinados a partir das amostras vindas da determinação da lignina. As amostras já pesadas na ocasião foram colocadas dentro dos cadinhos previamente secos e pesados formando-se os conjuntos os quais foram colocados no interior da mufla e submetidos a queima a 500 °C por 3 horas.

Os procedimentos para determinação das cinzas seguiu pelo esfriamento das amostras em dessecador até equilíbrio com a temperatura ambiente, e por registro dos pesos das amostras. Os dados obtidos das pesagens foram então utilizados na determinação dos teores de cinzas pelo cálculo da diferença dos pesos das amostras antes e após a queima conforme metodologias descritas por (RECH, 2010; SILVA & QUEIROZ, 2002).

3.5.3 Determinação do poder calorífico superior (PCS)

O PCS foi determinado baseado na norma NBR8633 (ABNT, 1984) e operado de acordo com as informações do manual do calorímetro marca IKA, modelo C2000.

A determinação foi realizada a partir de 0,5 g com $\pm 0,0010$ g de cada amostra seca e triturada em moinho do tipo Willey, que foram dispostas em cadinhos na câmara de combustão do calorímetro, obtendo-se a leitura em MJ kg⁻¹ da energia liberada por cada variedade.

De acordo com Diniz et al. (2004) as unidades mais utilizadas para leituras do PCS de combustíveis sólidos e líquidos pelo sistema internacional são kcal kg⁻¹, cal g⁻¹, MJ kg⁻¹ e KJ kg⁻¹ que expressam a quantidade de calor que pode ser produzida por unidade de massa em 1 kg ou 1 g do combustível quando esse entra em combustão.

3.6 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO USO DE NUTRIENTES DAS VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR

3.6.1 Extração e eficiência de nutrientes.

As determinações dos teores dos nutrientes foram conduzidas a partir do preparo das amostras constituídas da parte aérea das variedades (colmo + folhas + ponteiros) através dos processos de secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingirem seus pesos constantes e da moagem das amostras em moinho tipo Wiley com malha de 1 mm.

Os teores de nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e enxofre foram determinados conforme métodos propostos por EMBRAPA (2009). A determinação do nitrogênio foi conduzida em três etapas: digestão, destilação e titulação de acordo o método de Kjeldahl (EMBRAPA 2009). O fósforo foi determinado por colorimetria, O enxofre foi determinado por turbidimetria. Os teores de cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica.

A partir do produto do teor de nutrientes da biomassa e a produção de matéria seca foi obtida a quantidade extraída de nutrientes pelas variedades de cana-de-açúcar. A eficiência nutricional, de cada nutriente, foi calculada pela razão entre a produção de matéria seca e a quantidade de nutriente extraída.

3.7 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA POR VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR

Os valores da eficiência do uso da água (EUA) em kg m³ tomando-se como base a água evapotranspirada pela cana-de-açúcar (ETc), foram calculados considerando-se o quantitativo em (kg) de matéria seca (MS) da parte aérea compreendida por (colmos + folhas + ponteiros) produzidas e o volume em (m³) de água evapotranspirada pelas variedades (ETc) nos respectivos ciclos, conforme adaptação da fórmula descrita por SILVA, et al., (2011), a seguir:

$$EUA = MS \text{ (kg)} / ETc \text{ (m}^3\text{)}$$

Já os valores da eficiência do uso da água da chuva (EUC) foram calculados considerando-se o quantitativo produzido em (kg) de matéria seca (MS) da parte aérea

anteriormente descrita e o volume em (m³) de água precipitada durante os ciclos conforme adaptação da fórmula descrita por SILVA, et al., (2011), a seguir:

$$EUC = MS \text{ (kg)} / \text{Prec. (m}^3\text{)}$$

Segundo o autor, é importante calcular a eficiência de uso da água tomando-se como base a ETc ou a precipitação somada a lâmina da irrigação, se for o caso, possibilitando a comparação da eficiência do uso de água real da cultura.

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados das variáveis utilizadas para inferir sobre características agroenergéticas das plantas relacionadas à produção de biomassa fresca e seca, umidade, energia liberada biomassa, extrações e eficiência do uso da água e nutrientes foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p < 0,05$). Nas variáveis cujos efeitos principais e/ou interação foram significativos, foi aplicado o teste de médias de Tukey, ($p < 0,05$). O pacote estatístico utilizado foi o aplicativo software SISVAR 3.01 (FERREIRA, 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DESEMPENHOS AGROENERGÉTICO DAS VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR

4.1.1 Produção da matéria fresca (MF), matéria seca (MS) e umidade

Analisando-se inicialmente os dados de produção média estimada da matéria fresca MF em (t ha⁻¹) e seca MS (t ha⁻¹) e de umidade (%) das variedades de cana-de-açúcar, na presença e ausência do gesso nos ciclos de cana planta e cana soca, (Tabela 2), foi verificado que não houve diferença estatística na ocasião da comparação do efeito da presença ou ausência do gesso para essas variáveis.

Por outro lado, referindo-se a produção de MF nos dois ciclos, foram observadas diferenças estatísticas na comparação das médias totais das variedades testadas. Analisando-se inicialmente os dados de MF no ciclo de cana planta, a variedade RB962962 apresentou média geral de 105,20 t ha⁻¹ diferindo da RB867515 que obteve 68,43 t ha⁻¹. No

ciclo da cana soca, também foi observada diferença estatística entre as médias totais das variedades, destaque novamente, para a variedade RB962962 que obteve média geral de 41,89 t ha⁻¹, diferindo da RB92579 que obteve 19,73 t ha⁻¹.

Tabela 2. Produção de matéria fresca (MF), umidade e matéria seca (MS) da parte aérea de três variedades de cana-de-açúcar, na presença e ausência de gesso aos 14 meses após o plantio (ano 1) e aos 12 meses após o 1º corte (ano 2), respectivamente; média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis

| Fator | MF | | Média | Umidade | | Média | MS | | Média |
|------------------|--------------------|--------------------|---------|---------|--------------------|--------|--------------------|--------------------|--------|
| | C/gesso | S/gesso | | C/gesso | S/gesso | | C/gesso | S/gesso | |
| | t ha ⁻¹ | | | % | | | t ha ⁻¹ | | |
| Ano 1 | | | | | | | | | |
| Variedades | | | | | | | | | |
| RB867515 | 75,14 | 61,72 | 68,43b | 78,04 | 72,79 | 75,42a | 15,76 | 16,72 | 16,24a |
| RB92579 | 77,36 | 73,62 | 75,49ab | 72,73 | 71,03 | 71,88a | 20,92 | 21,75 | 21,34a |
| RB962962 | 101,03 | 109,37 | 105,20a | 74,87 | 73,17 | 74,02a | 24,78 | 29,33 | 27,06a |
| Média | 84,51A | 81,57A | | 75,21A | 72,33A | | 20,49A | 22,60A | |
| | | F | | | F | | | F | |
| Variedades | | 5,83 * | | | 0,98 ^{ns} | | | 4,05 ^{ns} | |
| Gesso | | 0,25 ^{ns} | | | 1,93 ^{ns} | | | 1,51 ^{ns} | |
| Varied.*Gesso | | 1,16 ^{ns} | | | 0,32 ^{ns} | | | 0,50 ^{ns} | |
| C.V. Parcela (%) | | 27,52 | | | 6,88 | | | 35,30 | |
| C.V. Subparc (%) | | 17,23 | | | 6,90 | | | 9,57 | |
| Ano 2 | | | | | | | | | |
| Variedades | | | | | | | | | |
| RB867515 | 41,23 | 29,06 | 35,15ab | 69,31 | 70,75 | 70,03b | 12,51 | 8,31 | 10,41a |
| RB92579 | 21,09 | 18,36 | 19,73b | 66,68 | 67,39 | 67,03b | 6,97 | 5,95 | 6,46a |
| RB962962 | 45,81 | 37,98 | 41,89a | 76,21 | 75,67 | 75,94a | 10,79 | 9,25 | 10,02a |
| Média | 36,04A | 28,47A | | 70,73A | 71,27A | | 10,09A | 7,84A | |
| | | F | | | F | | | F | |
| Variedades | | 6,61 * | | | 36,04 * | | | 3,56 ^{ns} | |
| Gesso | | 4,23 ^{ns} | | | 0,48 ^{ns} | | | 4,33 ^{ns} | |
| Varied.*Gesso | | 0,55 ^{ns} | | | 0,56 ^{ns} | | | 0,83 ^{ns} | |
| C.V. Parcela (%) | | 38,75 | | | 3,01 | | | 36,41 | |
| C.V. Subparc (%) | | 27,99 | | | 2,66 | | | 29,56 | |

Letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas na coluna não diferem (Tukey, p ≤ 0,05).

A melhor resposta da variedade RB962962 deve-se a estratégia do melhoramento genético, que recomenda seu manejo para ambientes com restrições hídricas (RIDESA, 2010), tolerância que impulsionou as diferenças produtivas da variedade mesmo na realidade hídrica do semiárido.

A resposta da RB962962 corrobora os resultados encontrados por Andrade, et al. (2012) que, avaliando o efeito da combinação gesso/calcário sob a brotação e o perfilhamento da variedade, obtiveram maior índice de brotação e que independente da aplicação do calcário a variedade apresentou melhor perfilhamento. Deve-se considerar ainda, que neste trabalho os teores de alumínio encontravam-se à $0,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, ou seja, pouco acima do nível aceitável de $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ do alumínio Al^{3+} para a camada de 0,2-0,4 m segundo COMISSÃO DE FERTILIDADE DE MINAS GERAIS, (1989) o que pode explicar à falta de resposta a aplicação do gesso.

As produções médias totais de MF obtidas dos tratamentos com e sem gesso embora não significativas, apresentaram melhores resultados nos tratamentos com a aplicação do gesso, resposta que pode ser atribuída à benefícios nutricionais advindos da gessagem. Por outro lado, vale destacar que a RB962962 no ciclo de cana planta, mesmo sem gesso, conseguiu ser mais produtiva que as demais.

Analisando os dados de produção média estimada de MS, não se observou diferença estatística nem pela aplicação do gesso nem entre as variedades testadas, tanto no ciclo de cana planta quanto no ciclo de cana soca. Mesmo não diferindo estatisticamente as variáveis analisadas, a variedade RB962962 apresentou no ciclo de cana planta valores superiores as demais variedades e no ciclo de cana soca a RB92579 foi a variedade mais afetada pelo estresse hídrico. Da mesma forma que na cana planta, no ciclo de cana soca as produções MS obtidas pelas variedades na presença do gesso superaram as produções da MS sem o gesso.

Em relação às diferenças varietais, alguns autores corroboram descrevendo que alguns fatores devem ser considerados, como o potencial genético de cada variedade, suas características morfológicas que podem influenciar na capacidade de converter a radiação solar em matéria seca, bem como as condições de disponibilidade hídrica e temperaturas ideais (BONNETT et al., 2006; TERAUCHI & MATSUOKA, 2000).

O desempenho agrícola das variedades na área com gesso, na cana soca e exceto para a RB962962, mesmo não diferindo estatisticamente da área sem o gesso, mostra certa relação entre o manejo químico de solo e a disponibilidade da água, visto que a condição

de solo possivelmente diminuiu a restrição ambiental com reflexos na produtividade nas variedades. Rocha et. al. (2008) trabalhando em latossolos da Zona da Mata, constatou o melhor desenvolvimento do sistema radicular decorrente da aplicação de gesso, condição essa que, pode ter potencializado o acesso da cultura a água do solo. A mesma dinâmica pode explicar a resposta a gessagem observada na produção de MS no ciclo de cana soca.

Considerando-se que foram relativamente baixos os valores de produção de MS obtidas pelas variedades neste trabalho face aos valores descritos por Jorge et al. (2005), que em estudo de variedades de canas energéticas e tradicionais em Cuba, registrou produções de MS entre 50 a 100 t ha⁻¹ e 30 a 82 t ha⁻¹, respectivamente. Os autores descrevem ainda que estas produções possam variar em função das condições de fertilidade dos solos, restrições hídricas e do potencial genético da variedade. No caso das variedades energéticas, os autores afirmaram ainda que a obtenção dessa produção de biomassa deve-se ao potencial genético obtido da primeira geração (F-1) da “variedade energética” por cruzamentos entre híbridos e espécies silvestres do gênero *Saccharum* buscando características de maior teor de fibras. Por outro lado, as aptidões das variedades testadas neste trabalho são para produção de açúcar e, ou, álcool, e foram utilizadas mesmo sendo “açucareiras”, por possuírem características interessantes de alta produção e teores de médio a alto de fibra conforme descrito (RIDESA, 2010).

No que se refere à influência do gesso sobre valores médios de umidades obtidos pelas variedades apresentados anteriormente (Tabela 2), observou-se que nem a presença e nem a ausência do insumo influenciaram estatisticamente nos teores de umidade das variedades nos ciclos de cultivos.

No entanto, no ciclo da cana soca as variedades diferenciaram estatisticamente, onde a RB962962 obteve 75,94% de umidade diferindo da RB867515 e da RB96579 que obtiveram respectivamente 70,75% e 67,39%. As partir desses resultados percebe-se que em condições de estresse hídrico, a umidade intrínseca ao material relaciona-se mais com as suas características genéticas do que com a oferta de água, que, por sua vez é deficiente ou não ocorre.

De acordo com Quirino et al., (2005) a eficiência energética da biomassa estar relacionada diretamente com umidade do material. Vale salientar que o desperdício de energia para evaporar a água contida no material no momento da combustão deve ser minimizado pela secagem do material antes da combustão. Santos, (2011) avaliou o

acúmulo de água por variedades de capim elefante e verificou que não foram influenciadas pela aplicação do gesso.

4.1.2 Análise da produção de fibras, lignina e cinzas

No ciclo de cana planta analisando os teores de FDN das variedades (Tabela 3) observa-se que não houve resposta de nenhuma das variedades estudadas a aplicação do gesso. Porém, as variedades diferiram estatisticamente, destacando-se a RB92579 com 70,38% de FDN, diferindo da variedade RB962962 que obteve 65,07%.

No ciclo de cana soca, semelhante ao ciclo de cana planta, a aplicação do gesso também não influenciou nos teores de FDN das variedades. Ainda neste ciclo, apesar das variedades não diferirem estatisticamente, apresentaram-se com teores de FDN superiores aos encontrados no ciclo de cana planta.

No que se refere à influência do gesso nos teores de FDA das variedades, considerando os ciclos de cana planta e soca, constatou-se que o gesso não influenciou de maneira significativa nos teores de FDA das variedades (Tabela 3).

Por outro lado, as variedades apresentaram comportamentos diferentes estatisticamente quanto as suas médias totais obtidas dos tratamentos (com e sem gesso) nos dois ciclos de cultivos. No ciclo de cana planta destacou-se RB867515 e RB962962 que obtiveram respectivamente maiores teores de FDA com 58,27 e 57,84% de FDA, diferindo a RB867515 da RB92579 que obteve 56,10%.

No ciclo de cana soca, as variedades RB962962 e RB867515 apresentaram maiores valores de FDA apresentando 54,86 e 54,71%, respectivamente, ambas diferindo significativamente da RB92579 que obteve 53,08%.

Com relação aos teores FDA encontrados neste trabalho e considerando os parâmetros quantitativos e qualitativos para biomassa energética estudados por Quesada, (2005), os teores médios de FDA em todas as variedades neste trabalho apresentaram-se acima do teor de 52% obtidos na matéria seca de espécies de capim elefante e indicado pelo autor como limite mínimo aceitável de FDA para biomassas energéticas. Segundo Mckendry et al. (2002) materiais que apresentam teores de fibras próximos à 45% e lignina 10% , podem ser estudados e, ou, utilizados para fins energéticos com segurança.

Vale salientar que, a FDA é constituída basicamente de material ligno-celulósico, onde a celulose responde pela maior fração, a lignina apesar da menor participação na constituição da FDA, é o componente mais rico em carbono e faz dos colmos de espécies

como capim elefante, ou cana-de-açúcar, a parte mais nobre quando comparada com a quantidade de carbono na fração das folhas (QUESADA, 2005; MORAIS, 2008).

Tabela 3. Teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina na matéria seca de três variedades de cana-de-açúcar, na presença e ausência de gesso aos 14 meses após o plantio (ano 1) e aos 12 meses após o 1º corte (ano 2), respectivamente; média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis

| Fator | FDN | | | FDA | | | Lignina | | |
|-------------------|---------|---------------------|---------|---------|---------------------|---------|---------|--------------------|-------|
| | C/gesso | S/gesso | Média | C/gesso | S/gesso | Média | C/gesso | S/gesso | Média |
| % | | | | | | | | | |
| Ano 1 | | | | | | | | | |
| Variedades | | | | | | | | | |
| RB867515 | 67,21 | 66,01 | 66,61ab | 58,24 | 58,30 | 58,27a | 4,02 | 3,88 | 3,95a |
| RB92579 | 70,95 | 69,81 | 70,38a | 56,08 | 56,12 | 56,10b | 3,48 | 3,39 | 3,44a |
| RB962962 | 65,53 | 64,60 | 65,07b | 57,76a | 57,92 | 57,84ab | 4,87 | 4,13 | 4,50a |
| Média | 67,90A | 66,81A | | 57,36A | 57,45A | | 4,12A | 3,80A | |
| | | F | | | F | | | F | |
| Variedades | | 5,41* | | | 7,96* | | | 3,87 ^{ns} | |
| Gesso | | 0,37 ^{ns} | | | 0,05 ^{ns} | | | 1,07 ^{ns} | |
| Variedades*Gesso | | 0,002 ^{ns} | | | 0,008 ^{ns} | | | 0,45 ^{ns} | |
| C.V. Parcela (%) | | 4,94 | | | 2,01 | | | 19,43 | |
| C.V. Subparc.(%) | | 6,54 | | | 1,77 | | | 19,40 | |
| Ano 2 | | | | | | | | | |
| Variedades | | | | | | | | | |
| RB867515 | 75,75 | 68,38 | 72,07a | 55,32 | 54,09 | 54,71a | 3,17 | 1,96 | 2,57a |
| RB92579 | 76,40 | 76,92 | 76,66a | 52,65 | 53,51 | 53,08b | 3,01 | 3,45 | 3,23a |
| RB962962 | 72,41 | 72,56 | 72,49a | 54,55 | 55,17 | 54,86a | 3,01 | 3,79 | 3,40a |
| Média | 74,85A | 72,62A | | 54,17A | 54,26A | | 3,06A | 3,07A | |
| | | F | | | F | | | F | |
| Variedades | | 3,65 ^{ns} | | | 15,77* | | | 0,97 ^{ns} | |
| Gesso | | 2,12 ^{ns} | | | 0,03 ^{ns} | | | 0,00 ^{ns} | |
| Variedades*Gesso | | 2,81 ^{ns} | | | 1,98 ^{ns} | | | 0,98 ^{ns} | |
| C.V. Parcela (%) | | 5,10 | | | 1,30 | | | 41,31 | |
| C.V. Subparc. (%) | | 5,09 | | | 2,12 | | | 49,51 | |

Letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas na coluna não diferem (Tukey, $p \leq 0,05$).

Porém, mesmo com valores superiores a 52%, os teores de lignina obtidos neste trabalho não foram apenas dos colmos, e sim de toda parte aérea do material, ou seja (colmo + folha + ponteiro).

Oliveira et al. (2012) analisando os teores de FDN, FDA e lignina em quatro variedades de cana-de-açúcar RB72454, RB867515, RB855536 e IAC86-2480 obtiveram valores que não diferiram estatisticamente, para a variedade RB867515 no 3º corte, o autor registrou médias de FDN 50,90%, FDA 30,95% e lignina 6,42%.

Santos, (2011) determinou os teores médios de fibras e lignina em três espécies de capim elefante para fins energéticos na presença e ausência do gesso, obtendo resultados médios entre as espécies FDN 75,90% e FDN 77,62%, FDA 43,56% e FDA 43,51% e lignina 6,07% e 5,70 %, respectivamente. Moraes et al. (2009) estudando as características energéticas de cinco genótipos de capim elefante em três ciclos encontrou valores médios dos teores fibras 47,2%, lignina 9,2% e cinzas 3,4% onde o primeiro e segundo teores foram considerados elevados e último abaixo dos valores críticos aceitáveis.

Os teores de lignina obtidos pelas variedades nos dois ciclos de cultivo não foram influenciados pela presença do gesso, assim como as variedades não apresentaram médias suficientes para que diferissem estatisticamente. Apesar disto, a RB962962 apresentou valores numéricos de teores médios de lignina superiores as demais variedades testadas nos dois ciclos de cultivo, 4,50 e 3,40%, respectivamente.

Neste contexto vale salientar que em campo, foi constatada a redução da altura dos colmos, reduções essas ocorridas em plena fase de alongamento em razão das condições de restrições hídricas pluviométricas descritas no (Figura 1). principalmente no ciclo de cana soca, e que contribuíram para diminuir não só a relação colmo/folha como os teores de lignina, conseqüentemente.

Os teores de lignina apresentaram-se abaixo do valor mínimo de 10% sugeridos por Mckendry et al. (2002), na escolha do material para estudos e, ou, uso voltados para fins energéticos.

Outro fator relevante referente a não diferença dos teores lignina entre as variedades pode ainda ser esclarecidas pelo conhecimento dos constituintes que compõe a lignina e sua susceptibilidade a reações físico-químicas. Segundo Higuchi (2006) os tipos de lignina diferem em função do grupo as quais as espécies se inserem e aos seus precursores monoméricos e ao grau de ligação carbono-carbono C-C. Como as variedades de cana-de-açúcar se inserem no grupo das Gramíneas, possuem lignina do tipo (HGS) formada pelos álcoois: *p*-hidroxifenílico (H), coniferílico que origina as guaiacilas (G) e o sinápico (S); As espécies do grupo das Gimnospermas a exemplo das coníferas possuem lignina do tipo (G); e as espécies que compõe o grupo das Angiospermas têm lignina do

tipo guaiacil-siringilas (GS). Entre os três grupos mencionados a menor estabilidade no que se refere aos tipos de ligações estruturais é a da lignina GS.

No entanto, devem-se considerar alguns fatores além do tipo lignina que possam ter contribuído com a redução desses teores. Segundo Van Soest, (1964) deve-se considerar o método de determinação escolhido, pois, o método que usa o ácido sulfúrico, adotado neste trabalho em razão do tamanho das partículas da biomassa, consideradas na ocasião de grosseiras após a trituração descrita por Silva & Queiroz (2002), apresenta maior corrosividade que outros métodos. O efeito da elevação dos teores de lignina em função do método empregado também pode ser observado em trabalhos com biomassa, conforme constatado em estudos de torrefação de resíduos de biomassas de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar para fins energéticos (SANTOS, 2012).

Outro fator relevante que deve ser considerado visto é que o direcionamento do melhoramento das variedades de cana-de-açúcar no Brasil, diferentemente das variedades energéticas cubanas, é que as mesmas foram voltadas para atender as demandas industriais para produção de açúcar e álcool combustível, a partir de plantas com maiores teores de sacarose, de caldo e não ricas em material ligno-celulósicos.

No que se refere aos teores de cinzas não foram observadas diferenças estatísticas para o gesso e para as variedades testadas em nenhum dos ciclos de cultivo (Tabela 4).

Os valores médios dos teores de cinzas para as variedades encontrados neste trabalho, entre 2,01 e 2,49%, inferiores aos teores encontrados por Alakangas (2006) na ocasião dos estudos com biomassa para fins energéticos com o capim “reed grass canary”, e que descreve que teores entre 3-4% são adequados para a utilização de biomassa para fins energéticos.

De acordo com Flores et al. (2012) os teores médios de cinzas encontrados nos colmos e folhas em genótipos de capim-elefante Paraíso e Roxo para fins energéticos e submetidos a doses de 0 e 100 kg ha⁻¹ de N uréia foram 6,9% e 5,8% nos colmos e 9,84% e 9,84% para as folhas, respectivamente.

O baixo teor de cinzas é uma característica positiva para a biomassa energética. No processo de combustão deve-se atentar para magnitude dos teores de cinzas presente no material, pois ocorre proporcionalmente a redução da energia do material, considera-se ainda que, podendo acumular e entupir os fornos afetam os custos de manipulação e processamento na conversão da biomassa em energia (SEYE, 2003).

De acordo com Turn (2003), as condições de combustão, a variedade de cana, a nutrição do canavial e as condições edafoclimáticas impostas às variedades e até a eficiência da operação de moagem pode influenciar sobre a quantidade e as características das cinzas.

Tabela 4. Teores de cinzas de três variedades de cana-de-açúcar, na presença ou ausência de gesso aos 14 meses após o plantio (ano 1) e aos 12 meses após o 1º corte (ano 2), respectivamente; média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis

| Fator | Cinzas | | Média | Cinzas | | Média |
|---------------------|---------|---------------------|-------|---------|--------------------|-------|
| | C/gesso | S/gesso | | C/gesso | S/gesso | |
| | % | | | | | |
| | Ano 1 | | | Ano 2 | | |
| Variedades | | | | | | |
| RB867515 | 2,01 | 2,46 | 2,24a | 2,49 | 2,41 | 2,45a |
| RB92579 | 2,37 | 2,18 | 2,28a | 2,32 | 2,29 | 2,31a |
| RB962962 | 2,30 | 2,17 | 2,24a | 2,28 | 2,38 | 2,33a |
| Média | 2,23A | 2,27A | | 2,36A | 2,36A | |
| | | F | | | F | |
| Variedades | | 0,005 ^{ns} | | | 0,78 ^{ns} | |
| Gesso | | 0,014 ^{ns} | | | 0,00 ^{ns} | |
| Variedades*Gesso | | 0,536 ^{ns} | | | 0,29 ^{ns} | |
| C.V. Parcela (%) | | 50,49 | | | 7,57 | |
| C.V. Subparcela (%) | | 31,16 | | | 11,97 | |

Letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas na coluna não diferem (Tukey, $p \leq 0,05$).

Por outro lado Flores et al. (2012) afirmaram que as cinzas da biomassa mesmo sendo um problema, no caso da combustão direta, em cerâmicas, podem ser reutilizadas na fertilização dos campos cultivados com capim diminuindo a entrada de insumos externos. Os teores de cinzas residuais em (colmos+folhas) em variedade de cana são constituídos principalmente de silício e outros elementos como potássio, cloro, magnésio, enxofre, cálcio e outros em menores quantidades, como por exemplo, fósforo, alumínio, ferro, sódio, titânio e carbono (SEYE, 2003).

4.1.3 Avaliação do poder calorífico superior (PCS)

Segundo Peres et al. (2007) os valores do PCS dos materiais utilizados para fins energéticos são diretamente proporcionais a quantidade de calor que pode ser liberada pelo material. Os valores encontrados do PCS das variedades nos ciclos de cana planta e soca neste trabalho não diferiram face aos tratamentos com e sem gesso as quais foram submetidas (Tabela 5).

No ciclo de cana planta quando comparadas as médias do quantitativo de energético liberados por unidade de massa em MJ kg^{-1} sob influência do gesso, observou-se que, não houve diferença significativa nos ciclos de cana planta e cana soca (Tabela 5). As médias totais PCS obtidas pelas variedades considerando-se os tratamentos (com e sem gesso) tanto no ciclo de cana planta quanto no ciclo de cana soca, diferiram estatisticamente, destacou-se no ciclo de cana planta a RB92579 com $17,89 \text{ MJ kg}^{-1}$ que diferiu estatisticamente da RB962962 que obteve $16,94 \text{ MJ kg}^{-1}$.

No ciclo de cana soca também houve diferença estatística para as variedades, destaque para a RB962962 com $17,92 \text{ MJ kg}^{-1}$ que diferiu da RB867515 que obteve $17,26 \text{ MJ kg}^{-1}$ de poder calorífico superior.

Tabela 5. Poder calorífico superior (PCS) em MJ kg^{-1} liberados por três variedades de cana-de-açúcar, na presença e ausência de gesso aos 14 meses após o plantio (ano 1) e aos 12 meses após o 1º corte (ano 2), respectivamente; média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis

| Fator | PCS | | Média | PCS | | Média |
|---------------------|---------------------|--------------------|---------|---------------------|--------------------|---------|
| | C/gesso | S/gesso | | C/gesso | S/gesso | |
| | MJ kg^{-1} | | | MJ kg^{-1} | | |
| | Ano 1 | | | Ano 2 | | |
| Variedades | | | | | | |
| RB867515 | 17,75 | 17,13 | 17,44ab | 17,43 | 17,08 | 17,26b |
| RB92579 | 17,37 | 18,41 | 17,89a | 17,35 | 17,52 | 17,44ab |
| RB962962 | 16,99 | 16,89 | 16,94b | 18,46 | 17,37 | 17,92a |
| Média | 17,37A | 17,48A | | 17,75A | 17,32A | |
| | | F | | | F | |
| Variedades | | 9,58 * | | | 7,36 * | |
| Gesso | | 0,11 ^{ns} | | | 4,12 ^{ns} | |
| Variedades *Gesso | | 2,38 ^{ns} | | | 3,12 ^{ns} | |
| C. V. Parcela (%) | | 2,48 | | | 2,30 | |
| C.V. Subparcela (%) | | 4,43 | | | 2,49 | |

Letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas na coluna não diferem (Tukey, $p \leq 0,05$).

Vale salientar o potencial energético da RB962962, que mesmo não apresentando diferenças significativas quanto ao PCS por unidade de massa, apresentou na cana soca e na área com o gesso a média de 18,46 MJ kg⁻¹ numericamente superior as demais variedades testadas.

Os resultados do PCS encontrados neste trabalho se aproximam dos encontrados por Ripoli et al. (1991) que na ocasião da análise de colmos de cana-de-açúcar encontrou valor de 18,87 MJ kg⁻¹. Ainda, os valores se situaram entre as médias descritas por Quirino et al. (2005) que obteve valor de poder calorífico de 132 espécies florestais que variaram de 14 a 22 MJ kg⁻¹.

Os valores obtidos aproximaram dos encontrados por Quéno et al. (2011), que em estudos de custo de produção de biomassas de eucalipto e capim-elefante para fins energéticos encontrou poder calorífico em torno de 19 MJ kg⁻¹. Flores et al. (2012) estudando produção e qualidade da biomassa a partir dos genótipos Paraíso e Roxo de capim-elefante obteve valores médios de 17,15 MJ kg⁻¹ pouco inferior aos encontrados neste trabalho.

O poder calorífico apesar de ser um bom indicativo para seleção da biomassa para fins energéticos é importante que esteja aliado às altas produções da biomassa seca e a área plantada.

Diante ao exposto, considerando o melhor desempenho agroenergético a partir das variáveis analisadas no ciclo de cana planta, sobressaiu-se a variedade RB962962 que mesmo com valores energéticos numéricos de PCS MJ kg⁻¹ inferior as médias totais dos tratamentos (com e sem gesso) das demais variedades, conseguiu obter melhores resultados de MS o que de certa forma compensou a sua capacidade energética. Neste ciclo, destaca-se em segundo plano a RB92579 que comportou-se de maneira opostas à RB962962 por produzir menor quantidade de MS e maior PCS.

No ciclo de cana soca, o melhor desempenho agroenergético foi obtido novamente pela RB962962, só que neste ciclo atribuído ao melhor PCS, que aliado à sua produção de MS, sobressaindo-se em relação às demais por mostra-se mais responsiva mesmo na intensidade do estresse hídrico ocorrido.

4.2 USO DA ÁGUA POR VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADAS NA CHAPADA DO ARARIPE

A cana-de-açúcar é uma cultura adaptada a condições de alta disponibilidade de água e nutrientes e radiação (TEJERA et al., 2007; SILVA, et. al., 2011). A avaliação do uso de água é uma premissa dos trabalhos de produção vegetal no semiárido, sobretudo na agricultura de sequeiro. No caso deste trabalho, nota-se a intensidade do fator ambiental sobre os sistemas produtivos no semiárido quando compara-se a precipitação com a evapotranspiração mensal (Figura 1) e déficit de água decorrente, fator ainda mais estressante para espécies naturais de ambientes úmidos como a cana-de-açúcar.

Na avaliação da eficiência do uso da água tomando-se como base a precipitação e a água evapotranspirada (kg m^{-3}) sobre os tratamentos, não foram observadas diferenças estatísticas relativas ao favorecimento do ambiente radicular pela aplicação de gesso, como também não foram observadas diferenças varietais em relação à produção de matéria seca por consumo de água (Tabela 6).

Também não foi possível avaliar as diferenças entre as duas variáveis, EUA e EUC, uma vez que as variáveis mantiveram suas diferenças constantes ao longo dos ciclos não permitindo a avaliação da perda real de água pelas variedades.

Os valores máximos obtidos para a eficiência de uso da água (EUA) e para a eficiência de uso da chuva (EUC) foram de 4,22 e 3,04 kg m^{-3} , respectivamente para o ciclo de cana planta, e de 2,53 e 2,47 kg m^{-3} respectivamente no ciclo de cana soca. Valores de EUA abaixo da faixa de 5 a 8 kg m^{-3} dos colocados por Doorembo & Kassam (1994), para a cana-de-açúcar em condições irrigadas e solos com 80% da água disponível.

Por outro lado, Silva et al. (2011), estudando os valores de EUA na parte aérea de cana-de-açúcar cultivada no semiárido em condições irrigadas, observou valores de EUA de 2,49 kg m^{-3} para a cultura no final da estação chuvosa e com número reduzido de eventos de irrigação, ou seja, valor inferior ao encontrado neste trabalho para o ciclo de cana planta (ano menos seco) e semelhante ao obtido para a cana soca neste trabalho e que indicam um limite mínimo para a produção de matéria seca sob condições de estresse hídrico.

Tabela 6. Eficiência de uso da água - EUA e eficiência de uso da água da chuva - EUC em (kg m^3) da parte aérea de três variedades de cana-de-açúcar, no ciclo de cana planta (ano 1) e cana soca (ano 2), na presença e ausência de gesso, respectivamente; média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis

| Fator | EUA (Etc) | | Média | EUC (Prec.) | | Média |
|---------------------|-----------|--------------------|-------|--------------------|---------|-------|
| | C/gesso | S/gesso | | C/gesso | S/gesso | |
| kg m^{-3} | | | | | | |
| Ano 1 | | | | | | |
| Variedades | | | | | | |
| RB867515 | 2,45 | 2,60 | 2,53a | 1,77 | 1,88 | 1,82a |
| RB92579 | 3,26 | 3,39 | 3,32a | 2,35 | 2,44 | 2,40a |
| RB962962 | 3,86 | 4,57 | 4,22a | 2,78 | 3,29 | 3,04a |
| Média | 3,19A | 3,52A | | 2,30A | 2,54A | |
| | | F | | F | | |
| Variedades | | 4,04 ^{ns} | | 4,06 ^{ns} | | |
| Gesso | | 1,53 ^{ns} | | 1,52 ^{ns} | | |
| Variedade*Gesso | | 0,50 ^{ns} | | 0,51 ^{ns} | | |
| C.V. Parcela (%) | | 35,33 | | 35,23 | | |
| C.V. Subparcela (%) | | 19,56 | | 19,40 | | |
| Ano 2 | | | | | | |
| Variedades | | | | | | |
| RB867515 | 3,16 | 2,10 | 2,63a | 2,96 | 1,97 | 2,47a |
| RB92579 | 1,76 | 1,50 | 1,63a | 1,65 | 1,41 | 1,53a |
| RB962962 | 2,72 | 2,33 | 2,53a | 2,55 | 2,19 | 2,37a |
| Média | 2,55A | 1,98A | | 2,39A | 1,86A | |
| | | F | | F | | |
| Variedades | | 3,56 ^{ns} | | 3,59 ^{ns} | | |
| Gesso | | 4,29 ^{ns} | | 4,35 ^{ns} | | |
| Variedade*Gesso | | 0,82 ^{ns} | | 0,84 ^{ns} | | |
| C.V. Parcela (%) | | 36,38 | | 36,32 | | |
| C.V. Subparcela (%) | | 29,67 | | 29,45 | | |

Letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas na coluna não diferem (Tukey, $p \leq 0,05$).

Ainda segundo Silva, et. al. (2011), o estresse hídrico durante a fase de perfilhamento e de alongação dos colmos resulta em reduções expressivas no rendimento de colmo principal componente quantitativo e qualitativo da biomassa energética. Essas fases, perfilhamento e de alongação, foram severamente afetadas pela realidade pluviométrica da região (Figura 1), em um período considerado excessivamente seco, o que denota a necessidade de ajustes no período de plantio e de corte para a cana e cultivo de sequeiro no Semiárido.

A falta de resposta em relação a EUA pelas variedades reflete, em parte, a ausência de resposta em relação ao teor de água nas variedades (Tabela 2), minimizadas face ao estresse hídrico ao quais as variedades açucareiras e melhoradas em ambientes úmidos, foram expostas.

Outro fator importante a se observado é o manejo da água no solo, visto que, com as elevadas taxas de evaporação da água no semiárido, as práticas de manutenção da água no solo são fundamentais, tanto no que se refere à elevação da capacidade de armazenamento da água no solo quanto à evaporação, ou seja, as práticas de cobertura do solo, plantio direto, incorporação de resíduos orgânicos, dentre outras.

4.3 USO DE NUTRIENTES POR VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADAS NA CHAPADA DO ARARIPE

Os teores de macronutrientes encontrados nas variedades de cana-de-açúcar foram, de modo geral, inferiores aos valores de referência apresentados por Cantarutti et al. (2007) (Tabela 7 e 8.). Esses valores inferiores podem ser explicados, em parte, pelo efeito de diluição dos nutrientes na planta uma vez que foram coletadas e analisadas as partes aéreas das variedades testadas.

Na cana planta os teores de nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e enxofre, não foram influenciados pela aplicação de gesso. No entanto, houve diferença estatística para as variedades para os teores de fósforo na cana planta, onde a variedade RB92579 obteve 0,30 g kg⁻¹ de fósforo diferindo estatisticamente da RB962962 que obteve 0,19 g kg⁻¹, mostrando-se mais eficiente no uso do fósforo. Mesmo assim, o valor obtido ficou bem abaixo do nível crítico de fósforo para a cultura Cantarutti et al., (2007) (Tabela 7).

Tabela 7. Teores de nitrogênio e fósforo na parte aérea de três variedades de cana-de-açúcar em g kg⁻¹, na presença e ausência de gesso aos 14 meses após plantio (ano 1) e aos 12 meses após 1º corte (ano 2), respectivamente; média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis

| Fator | Nitrogênio | | Média | Fósforo | | Média |
|---------------------|------------|--------------------|-------|---------|--------------------|--------|
| | C/gesso | S/gesso | | C/gesso | S/gesso | |
| g kg ⁻¹ | | | | | | |
| Ano 1 | | | | | | |
| Variedades | | | | | | |
| RB867515 | 7,88 | 6,76 | 7,32a | 0,29 | 0,22 | 0,26ab |
| RB92579 | 8,44 | 7,95 | 8,20a | 0,31 | 0,29 | 0,30a |
| RB962962 | 6,58 | 6,55 | 6,57a | 0,20 | 0,18 | 0,19b |
| Média | 7,63A | 7,09A | | 0,27A | 0,23A | |
| | | F | | | F | |
| Variedades | | 3,76 ^{ns} | | | 6,12 [*] | |
| Gesso | | 2,28 ^{ns} | | | 2,08 ^{ns} | |
| Variedade*Gesso | | 0,75 ^{ns} | | | 0,40 ^{ns} | |
| C.V. Parcela (%) | | 16,15 | | | 25,56 | |
| C.V. Subparcela (%) | | 12,09 | | | 25,06 | |
| Ano 2 | | | | | | |
| Variedades | | | | | | |
| RB867515 | 7,81 | 6,79 | 7,30a | 0,22 | 0,24 | 0,23a |
| RB92579 | 6,09 | 5,95 | 6,02a | 0,23 | 0,26 | 0,24a |
| RB962962 | 7,32 | 7,07 | 7,20a | 0,22 | 0,22 | 0,22 |
| Média | 7,07A | 6,60A | | 0,22A | 0,24A | |
| | | F | | | F | |
| Variedades | | 5,50 ^{ns} | | | 1,67 ^{ns} | |
| Gesso | | 0,81 ^{ns} | | | 0,92 ^{ns} | |
| Variedade*Gesso | | 0,28 ^{ns} | | | 0,39 ^{ns} | |
| C.V. Parcela (%) | | 12,51 | | | 12,84 | |
| C.V. Subparcela (%) | | 18,54 | | | 19,10 | |

Letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas na coluna não diferem (Tukey, p ≤ 0,05).

Vale destacar a relação íntima entre o fósforo e água enquanto componente da produtividade visto o movimento do elemento por difusão, que minimizado pela oferta deficiente de água (Figura 1).

Em relação aos teores de cálcio e magnésio é interessante observar que, além de se apresentarem abaixo dos valores de referência, foram absorvidos na mesma proporção em que foram adicionados pelo calcário dolomítico, ou seja, aproximadamente, 2:1 (Tabela 8). No entanto, observa-se ainda que essa relação poderia ser maior considerando a adição de gesso e ausência de outra fonte de magnésio além do calcário dolomítico utilizado.

Desse modo, mesmo com teores de cálcio suficiente no sistema para elevar a relação cálcio:magnésio na planta, parte do elemento não foi disponibilizado em função da sua dinâmica no solo.

A relação do enxofre com o cálcio, no ciclo de cana planta, pode ter sido responsável pela ausência de resposta para a aplicação de gesso no que se refere também a absorção de enxofre, assim como para os demais nutrientes, neste ciclo. Rocha et al. (2008) destaca a tendência de formação do par iônico CaSO_4^0 , e sua precipitação ou coadsorção, com o sulfato na matriz dos solos oxidicos.

Por outro lado, os teores de enxofre, previsto nas faixas de suficiência na mesma ordem de grandeza do fósforo, situaram em valores médios bastante superiores ao de fósforo, provavelmente pela adição de enxofre via sulfato de amônio utilizado na adubação nitrogenada, conforme destacado por Santos et al. (2012) em trabalho com capim elefante realizado na mesma área.

No ciclo de cana soca os resultados foram semelhantes à cana planta, exceto para os teores de enxofre nas plantas que, neste caso, responderam interespecificamente a gessagem. Mesmo com valores menores que na cana planta, redução de 15%, na cana soca os maiores teores de enxofre foram encontrados nas variedades cultivadas nas parcelas submetidas à gessagem, $0,84 \text{ g kg}^{-1}$, em média, diferindo estatisticamente da média da área onde não foi aplicado o gesso.

Ainda, as variedades diferiram estatisticamente quanto a absorção do enxofre, destacando-se a RB867515 e RB962962 que diferiram da RB92579.

Na cana soca observou-se a interação significativa entre o gesso e variedade, sendo a variedade RB92579 a que mais se destacou em relação aos teores de cálcio, $3,69 \text{ g kg}^{-1}$, nas parcelas submetidas à gessagem (Tabela 8).

Tabela 8. Teor de cálcio, magnésio e enxofre na parte aérea de três variedades de cana-de-açúcar em g kg⁻¹, na presença e ausência de gesso aos 14 meses após plantio (ano 1) e aos 12 meses após 1º corte (ano 2), respectivamente, média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis

| Fator | Cálcio | | Média | Magnésio | | Média | Enxofre | | Média |
|---------------------|---------|--------------------|-------|----------|--------------------|-------|---------|--------------------|-------|
| | C/gesso | S/gesso | | C/gesso | S/gesso | | C/gesso | S/gesso | |
| g kg ⁻¹ | | | | | | | | | |
| Ano 1 | | | | | | | | | |
| Variedades | | | | | | | | | |
| RB867515 | 5,72 | 8,48 | 7,10a | 2,41 | 1,94 | 2,17a | 1,09 | 1,08 | 1,09a |
| RB92579 | 5,43 | 3,34 | 4,39a | 2,32 | 2,50 | 2,41a | 0,96 | 0,87 | 0,92a |
| RB962962 | 3,27 | 8,52 | 5,90a | 2,65 | 2,00 | 2,32a | 0,87 | 0,83 | 0,85a |
| Média | 4,81A | 6,78A | | 2,46A | 2,15A | | 0,97A | 0,93A | |
| | | F | | | F | | | F | |
| Variedades | | 1,15 ^{ns} | | | 0,38 ^{ns} | | | 3,89 ^{ns} | |
| Gesso | | 1,81 ^{ns} | | | 1,43 ^{ns} | | | 0,72 ^{ns} | |
| Variedade*gesso | | 2,15 ^{ns} | | | 0,96 ^{ns} | | | 0,22 ^{ns} | |
| C.V. Parcela (%) | | 61,88 | | | 23,82 | | | 18,12 | |
| C.V. Subparcela (%) | | 62,05 | | | 27,48 | | | 13,45 | |
| Ano 2 | | | | | | | | | |
| Variedades | | | | | | | | | |
| RB867515 | 3,51abA | 3,23aA | 3,37a | 3,63 | 3,60 | 3,62a | 0,97 | 0,80 | 0,89a |
| RB92579 | 3,69aA | 3,31aA | 3,50a | 3,52 | 3,67 | 3,59a | 0,70 | 0,66 | 0,68b |
| RB962962 | 3,11bB | 3,60aA | 3,35a | 3,52 | 3,65 | 3,59a | 0,85 | 0,77 | 0,81a |
| Média | 3,43A | 3,38A | | 3,56A | 3,64A | | 0,84A | 0,74B | |
| | | F | | | F | | | F | |
| Variedades | | 0,43 ^{ns} | | | 0,05 ^{ns} | | | 16,68* | |
| Gesso | | 0,21 ^{ns} | | | 0,61 ^{ns} | | | 17,32* | |
| Variedade*Gesso | | 5,11 * | | | 0,27 ^{ns} | | | 2,88 ^{ns} | |
| C.V. Parcela (%) | | 10,55 | | | 5,70 | | | 8,89 | |
| C.V. Subparcela (%) | | 8,81 | | | 7,36 | | | 7,14 | |

Letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas na coluna não diferem (Tukey, p ≤ 0,05).

Os resultados observados em relação os teores de cálcio e enxofre na cana soca (Tabela 8), podem ser explicados pelos teores residuais dos elementos adicionados pela gessagem no primeiro ano, em função da dissociação tardia dos elementos, ou ainda, pelo melhor desenvolvimento radicular das variedades cultivadas no ambiente corrigido.

Rocha et al. (2008), assim como apresentado em outros trabalhos com gesso agrícola, constatou efeitos positivos da aplicação de gesso sobre a elevação dos teores de cálcio e enxofre em profundidade, bem como a ação da gessagem na expansão do sistema radicular da cana-de-açúcar em profundidade.

No que se refere ao conteúdo de nutrientes extraídos pela cultura em (kg ha^{-1}) no ciclo de cana planta (Tabelas 9 e 10), não foi observado nenhuma resposta significativa aos ambientes com ou sem gesso, tampouco diferenças expressivas entre os teores extraídos entre as variedades testados, possivelmente motivados pelos elevados coeficientes de variação.

Na cana planta, os valores médios extraídos de nitrogênio $158,6 \text{ kg ha}^{-1}$, fósforo $5,3 \text{ kg ha}^{-1}$, cálcio $117,2 \text{ kg ha}^{-1}$, e magnésio $49,9 \text{ kg ha}^{-1}$, estão de acordo com valores apresentados por Oliveira (2011), em trabalho onde foram cultivadas em solo oxidico as variedades de cana-de-açúcar, entre elas a RB867515 e a RB92579.

Os valores de enxofre $20,6 \text{ kg ha}^{-1}$, encontrado em grandezas semelhantes ao fósforo, foram encontrados acima dos valores encontrados em literatura, possivelmente em função da aplicação de gesso.

Na cana soca, manejada apenas com os teores residuais da correção e adubação realizada no primeiro ano, os valores dos nutrientes extraídos pela cana-de-açúcar foram inferiores, passando para os valores médios de $63,2 \text{ kg ha}^{-1}$, $1,97 \text{ kg ha}^{-1}$, $30,5 \text{ kg ha}^{-1}$, $32,2 \text{ kg ha}^{-1}$, e $7,3 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente para nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e enxofre. Entretanto, no ciclo de cana soca, a adição de gesso influenciou significativamente a extração de nitrogênio e enxofre pelas variedades, elevando as médias de extração de nitrogênio e enxofre para $73,85 \text{ kg ha}^{-1}$ e $8,78 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente. As diferenças encontradas entre o valores de enxofre podem ser explicadas pela presença de quantidades residuais de enxofre no solo oriundas da aplicação do gesso no primeiro ano e disponibilizadas com o decorrer do tempo.

Em relação ao nitrogênio, as variações observadas podem ser consequência da interação entre os elementos favorecendo a absorção de ambos (WILKINSON et al., 2000).

Tabela 9. Conteúdo de nitrogênio, fósforo na parte aérea de três variedades de cana-de-açúcar em kg ha⁻¹, no ciclo de cana planta (ano 1) e cana soca (ano 2), na presença ou ausência de gesso, respectivamente; média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis

| Fator | Nitrogênio | | Média | Fósforo | | Média |
|---------------------|------------|--------------------|---------|---------|--------------------|-------|
| | C/gesso | S/gesso | | C/gesso | S/gesso | |
| kg ha ⁻¹ | | | | | | |
| Ano 1 | | | | | | |
| Variedades | | | | | | |
| RB867515 | 127,30 | 117,23 | 122,27a | 4,79 | 3,80 | 4,29a |
| RB92579 | 179,47 | 170,97 | 175,22a | 6,80 | 6,14 | 6,47a |
| RB962962 | 163,08 | 193,76 | 178,42a | 4,95 | 5,34 | 5,15a |
| Média | 156,61A | 160,65A | | 5,51A | 5,09A | |
| | | F | | | F | |
| Variedades | | 1,72 ^{ns} | | | 1,05 ^{ns} | |
| Gesso | | 0,08 ^{ns} | | | 0,42 ^{ns} | |
| Variedade*Gesso | | 0,92 ^{ns} | | | 0,42 ^{ns} | |
| C.V. Parcela (%) | | 42,82 | | | 57,18 | |
| C.V. Subparcela (%) | | 21,42 | | | 29,70 | |
| Ano 2 | | | | | | |
| Variedades | | | | | | |
| RB867515 | 101,66 | 56,60 | 79,13a | 2,49 | 2,05 | 2,27a |
| RB92579 | 41,43 | 34,18 | 37,81a | 1,53 | 1,49 | 1,51a |
| RB962962 | 78,46 | 66,83 | 72,65a | 2,32 | 1,98 | 2,15a |
| Média | 73,85A | 52,54B | | 2,11A | 1,84A | |
| | | F | | | F | |
| Variedades | | 5,06 ^{ns} | | | 3,21 ^{ns} | |
| Gesso | | 7,74 [*] | | | 1,98 ^{ns} | |
| Variedade*Gesso | | 2,43 ^{ns} | | | 0,39 ^{ns} | |
| C.V. Parcela (%) | | 44,21 | | | 32,86 | |
| C.V. Subparcela (%) | | 29,69 | | | 24,29 | |

Letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas na coluna não diferem (Tukey, $p \leq 0,05$).

Tabela 10. Conteúdo de cálcio, magnésio e enxofre na parte aérea de três variedades de cana-de-açúcar em kg ha⁻¹, no ciclo de cana planta (ano 1) e cana soca (ano 2), na presença ou ausência de gesso, respectivamente; média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis

| Fator | Cálcio | | Média | Magnésio | | Média | Enxofre | | Média |
|---------------------|---------|--------------------|---------|----------|--------------------|--------|---------|--------------------|--------|
| | C/gesso | S/gesso | | C/gesso | S/gesso | | C/gesso | S/gesso | |
| kg ha ⁻¹ | | | | | | | | | |
| Ano 1 | | | | | | | | | |
| Variedades | | | | | | | | | |
| RB867515 | 72,54 | 125,56 | 99,05a | 38,59 | 32,64 | 35,62a | 18,86 | 19,18 | 19,02a |
| RB92579 | 103,22 | 70,38 | 86,80a | 49,92 | 54,17 | 52,05a | 20,54 | 18,86 | 19,70a |
| RB962962 | 79,10 | 252,38 | 165,74a | 66,99 | 57,36 | 62,17a | 21,85 | 24,73 | 23,29a |
| Média | 84,95A | 149,44A | | 51,83A | 48,06A | | 20,42A | 20,92A | |
| | | F | | | F | | | F | |
| Variedades | | 1,55 ^{ns} | | | 4,89 ^{ns} | | | 0,36 ^{ns} | |
| Gesso | | 3,20 ^{ns} | | | 0,20 ^{ns} | | | 0,05 ^{ns} | |
| Variedade*Gesso | | 2,75 ^{ns} | | | 0,24 ^{ns} | | | 0,33 ^{ns} | |
| C.V. Parcela (%) | | 82,29 | | | 34,33 | | | 51,95 | |
| C.V. Subparcela (%) | | 75,37 | | | 41,27 | | | 27,05 | |
| Ano 2 | | | | | | | | | |
| Variedades | | | | | | | | | |
| RB867515 | 44,19 | 26,73 | 35,46a | 45,25 | 29,95a | 37,60a | 12,27a | 6,71a | 9,49a |
| RB92579 | 25,46 | 20,05 | 22,77a | 24,41 | 21,89a | 23,15a | 4,84b | 4,02a | 4,43a |
| RB962962 | 33,53 | 33,50 | 33,51a | 38,36 | 33,69a | 36,02a | 9,22ab | 7,23a | 8,22a |
| Média | 34,40A | 26,76A | | 36,01A | 28,51A | | 8,78A | 5,99B | |
| | | F | | | F | | | F | |
| Variedades | | 2,55 ^{ns} | | | 3,42 ^{ns} | | | 5,01 ^{ns} | |
| Gesso | | 3,97 ^{ns} | | | 3,33 ^{ns} | | | 7,46 [*] | |
| Variedade*Gesso | | 1,80 ^{ns} | | | 0,92 ^{ns} | | | 1,95 ^{ns} | |
| C.V. Parcela (%) | | 39,57 | | | 37,60 | | | 45,05 | |
| C.V. Subparcela (%) | | 30,73 | | | 31,20 | | | 33,89 | |

Letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas na coluna não diferem (Tukey, $p \leq 0,05$).

Segundo Werner & Monteiro (1988), a maior disponibilidade de nitrogênio requer aplicação mais elevada de enxofre, visto que este último é importante no metabolismo do

nitrogênio e na síntese de proteína, entre outras reações. A variedade que mais se destacou em relação à extração de nitrogênio e enxofre na cana soca foi a RB867515 (Tabela 9 e 10) e em relação à cana soca, na planta foi o inverso.

A eficiência de utilização dos nutrientes de nitrogênio, fósforo e magnésio, não foi influenciada em nenhum dos ciclos produtivos, nem pela aplicação de gesso nem nas variedades cana-de-açúcar, com exceção dos cálcio e enxofre na cana soca, provavelmente em função da aplicação de gesso na fundação (Tabelas 11 e 12).

A média geral de eficiência de uso de cálcio na cana planta foi superior nas parcelas submetidas à gessagem, sendo a variedade RB92579 a que se destacou frente às demais. A maior eficiência para o uso do nutriente neste ciclo está provavelmente associada à maior disponibilidade do elemento em função da aplicação de calcário e gesso na fundação do experimento, visto a maior incidência pluviométrica no período de fundação e dosagem de cálcio. A relação entre o uso eficiente de cálcio e o crescimento de planta é muito complexa e pode envolver vários controles fisiológicos, como a capacidade de retranslocação interna de cálcio, compartimentalizado em membranas e órgãos celulares de armazenamento (CAINES & SHENNAN, 1999).

Em relação ao enxofre, assim como observado nos resultados anteriores, a presença residual do enxofre em função da aplicação de gesso favoreceu o uso do nutriente pelas variedades condicionadas ao ambiente corrigido, principalmente as variedades RB92579 e RB962962, uma vez que foram as variedades que tiveram maior produção de matéria seca.

Souza (1999) atribuiu a maior eficiência de uso do enxofre (EUS) em café ao maior sistema radicular, o que está relacionado com a aquisição do nutriente no solo.

Quanto às diferenças varietais, um provável fator que determina a EUS é a capacidade do genótipo em redistribuir as frações, solúvel e insolúvel, de enxofre de folhas maduras para as novas folhas, o que depende do estado nutricional em enxofre da planta (SUNARPI & ANDERSON, 1996).

A eficiência de uso de nutrientes pode variar dentro de uma espécie de planta em função das diferenças genotípicas, que podem ocorrer da interação genótipo-ambiente. Estas diferenças podem alterar a capacidade de absorção, transporte e utilização dos nutrientes pelas plantas (MARSCHNER, 1997; STEENBJERG & JAKOBSEN, 1963). Tomaz et al. (2003) coloca que algumas características fenotípicas de variedades, como pêlos radiculares, e morfologia radicular podem provocar diferenças na eficiência de

absorção de nutrientes entre as variedades cultivadas em solo e, conseqüentemente, diferenças na eficiência nutricional das plantas.

Tabela 11. Eficiência do uso de nitrogênio e fósforo (kg kg^{-1}) da parte aérea de três variedades de cana-de-açúcar, no ciclo de cana planta (ano 1) e cana soca (ano 2), na presença ou ausência de gesso, respectivamente; média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis

| Fator | Nitrogênio | | Média | Fósforo | | Média |
|---------------------|------------|--------------------|---------|-----------|--------------------|------------|
| | C/gesso | S/gesso | | C/gesso | S/gesso | |
| kg kg^{-1} | | | | | | |
| Ano 1 | | | | | | |
| Variedades | | | | | | |
| RB867515 | 131,22 | 150,00 | 140,61a | 3 652,54 | 4 515,80 | 4 084,17ab |
| RB92579 | 120,10 | 126,85 | 123,48a | 3 459,16 | 3 507,17 | 3 483,16b |
| RB962962 | 152,67 | 154,97 | 153,82a | 5 200,18 | 5 613,75 | 5 406,97a |
| Média | 134,66A | 143,94A | | 4 103,96A | 4 545,57A | |
| | | F | | | F | |
| Variedades | | 3,23 ^{ns} | | | 7,99 [*] | |
| Gesso | | 2,41 ^{ns} | | | 2,73 ^{ns} | |
| Variedade*Gesso | | 0,68 ^{ns} | | | 0,78 ^{ns} | |
| C.V. Parcela (%) | | 17,19 | | | 22,77 | |
| C.V. Subparcela (%) | | 10,52 | | | 15,13 | |
| Ano 2 | | | | | | |
| Variedades | | | | | | |
| RB867515 | 131,69 | 147,60 | 139,64b | 4 823,24 | 4 264,74 | 4 543,99a |
| RB92579 | 170,67 | 169,87 | 170,27a | 4 556,69 | 3 931,49 | 4 244,09a |
| RB962962 | 139,55 | 144,33 | 141,94b | 4 612,14 | 4 727,87 | 4 670,01a |
| Média | 147,30A | 153,93A | | 4 664,02A | 4 308,04A | |
| | | F | | | F | |
| Variedades | | 8,30 [*] | | | 1,24 ^{ns} | |
| Gesso | | 0,33 ^{ns} | | | 1,08 ^{ns} | |
| Variedade*Gesso | | 0,18 ^{ns} | | | 0,48 ^{ns} | |
| C.V. Parcela (%) | | 11,12 | | | 12,39 | |
| C.V. Subparcela (%) | | 18,66 | | | 18,73 | |

Letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas na coluna não diferem (Tukey, $p \leq 0,05$).

Tabela 12. Eficiência do uso de cálcio, magnésio e enxofre (kg kg^{-1}) da parte aérea de três variedades de cana-de-açúcar, no ciclo de cana planta (ano 1) e cana soca (ano 2), na presença ou ausência de gesso, respectivamente; média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis

| Fator | Cálcio | | Média | Magnésio | | Média | Enxofre | | Média |
|---------------------|-----------|--------------------|---------|----------|--------------------|---------|----------|--------------------|----------|
| | C/gesso | S/gesso | | C/gesso | S/gesso | | C/gesso | S/gesso | |
| kg kg^{-1} | | | | | | | | | |
| Ano 1 | | | | | | | | | |
| Variedades | | | | | | | | | |
| RB867515 | 259,17 | 246,55 | 252,86a | 131,22 | 150,00 | 140,61a | 1068,80 | 952,48 | 1010,64a |
| RB92579 | 286,89 | 314,05 | 300,47a | 120,10 | 126,85 | 123,48a | 1071,36 | 1181,80 | 1126,58a |
| RB962962 | 329,14 | 243,07 | 286,10a | 152,67 | 154,97 | 153,82a | 1198,25 | 1396,16 | 1297,21a |
| Média | 291,73A | 267,89A | | 134,66A | 143,94A | | 1112,80A | 1176,81A | |
| | | F | | | F | | | F | |
| Variedades | | 0,24 ^{ns} | | | 3,23 ^{ns} | | | 2,74 ^{ns} | |
| Gesso | | 0,39 ^{ns} | | | 2,41 ^{ns} | | | 0,43 ^{ns} | |
| Varied.*Gesso | | 0,74 ^{ns} | | | 0,68 ^{ns} | | | 0,92 ^{ns} | |
| C.V. Parc (%) | | 50,45 | | | 17,19 | | | 21,52 | |
| C.V. Subparc (%) | | 33,64 | | | 10,52 | | | 20,83 | |
| Ano 2 | | | | | | | | | |
| Variedades | | | | | | | | | |
| RB867515 | 285,80 Aa | 310,75 Aa | 298,27 | 276,09 | 279,22 | 277,65a | 1055,65 | 1274,79 | 1165,22b |
| RB92579 | 273,37 Aa | 306,98 Aa | 290,17 | 285,27 | 272,99 | 279,13a | 1436,29 | 1537,12 | 1486,71b |
| RB962962 | 322,67 Aa | 278,35 Aa | 300,51 | 285,07 | 275,31 | 280,19a | 1190,11 | 1306,00 | 1248,05a |
| Média | 293,94 | 298,69 | | 282,14A | 275,84A | | 1227,35B | 1372,64A | |
| | | F | | | F | | | F | |
| Variedades | | 0,25 ^{ns} | | | 0,05 ^{ns} | | | 19,14 * | |
| Gesso | | 0,19 ^{ns} | | | 0,56 ^{ns} | | | 13,45 * | |
| Varied.*Gesso | | 5,24 * | | | 0,32 ^{ns} | | | 0,88 ^{ns} | |
| C.V. Parc (%) | | 10,41 | | | 5,77 | | | 8,30 | |
| C.V. Subparc (%) | | 8,91 | | | 7,43 | | | 7,46 | |

Letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas na coluna não diferem (Tukey, $p \leq 0,05$).

5 CONCLUSÕES

A aplicação de gesso não afetou o desempenho agroenergético das variedades cultivadas no semiárido, tampouco a eficiência de uso da água pelas mesmas.

As variedades responderam de modo específico e diferenciado ao estresse hídrico, diminuindo, em média, a produtividade em 38% na cana-soca, mantendo o poder calorífico dentro da faixa recomendada para material bioenergético, em torno de 17 MJ kg⁻¹.

De modo geral, a variedade que teve melhor relação entre produtividade e poder calorífico superior foi a RB962962.

A aplicação de gesso proporcionou, na cana-soca, maior concentração e extração de enxofre pelas variedades, bem como maior extração de nitrogênio pelas no segundo ciclo.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8644**: Determinação do poder calorífico superior da madeira e do carvão vegetal. Rio de Janeiro, 1984.
- ADAMS, F.; PEARSON, R. W. Differential response of cotton and peanuts to subsoil acidity. **Agronomy Journal**, v. 62, p. 9-12, 1970.
- ALAKANGAS, E. et al. EUBIONET 2. CEN-Technical Specifications for solid biofuels - Fuel specifications and classes and fuel quality assurance. **Working Group 2**, TC 335. Finland. 2006.
- ALBUQUERQUE, J. L. **Diagnóstico ambiental e questões estratégicas: uma análise considerando o Pólo Gesseiro do sertão do Araripe – Estado de Pernambuco**. 2002. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998, 297p. **Irrigation and Drainage Paper**, 56.
- ALVAREZ, V. H. et al. Determinação e uso do fósforo remanescente. Boletim Informativo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 27-32, 2000.
- ALVAREZ, V. H. et al. **Métodos de análises de enxofre em solos e plantas**. Viçosa: UFV, 2001. 131p.
- ANDRADE, L. P. C. S. et al.; Brotação e perfilhamento de cana-de-açúcar com doses de gesso com e sem calcário. In: FERTBIO 2012. Maceió. **Resumos...** Maceió: “A responsabilidade Socioambiental da Pesquisa Agrícola”, 2012. CD-ROM.
- ANDRADE, M. C. O. Pernambuco e o trópico, **Revista do IEB**, n. 45, p. 11-20, set. 2007.
- ARAÚJO FILHO, J. A.; BARBOSA, T. M. L. Manejo agroflorestal da caatinga: uma proposta de sistema de produção. In: OLIVEIRA, T. S.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (Eds). **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Fortaleza: UFC, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, P. 47-57

BAKKER, M. R.; NYS, C.; PICARD, J. F. The effects of liming and gypsum applications on a sessile oak (*Quercus petraea* (M.) Liebl) stand at La Croix-Scaille (French Ardennes) I. Site characteristics, soil chemistry and aerial biomass. **Plant and soil**, v. 206, p. 99-108, 1999.

BARROS, B. C. et al. Volumetria e sobrevivência de espécies nativas e exóticas no Pólo Gesseiro do Araripe. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 20, n. 4, p. 641-647, out.-dez. 2010.

BATISTA, K.; MONTEIRO, F. A. Respostas morfológicas e produtivas do capim-Marandu adubado com doses combinadas de nitrogênio e enxofre. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, p. 1281-1288, 2006.

BONNETT, G. D.; HEWITT, M. L.; GLASSOP, D. Effects of high temperature on the growth and composition of sugarcane internodes. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 57, p. 1087-1095, 2006.

BONFIM-SILVA, E. M.; MONTEIRO, F. A.; SILVA, T. J. A. Nitrogênio e enxofre na produção e no uso da água pelo capim-Braquiária em degradação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 309-317, 2007.

CAINES, A.M.; SHENNAN, C. Growth and nutrient composition of Ca²⁺ use efficient and Ca²⁺ use inefficient genotypes of tomato. **Plant Physiology**, n. 37, p. 559-567, 1999.

CAIRES, E. F. et al. Lime and Gypsum application in the wheat crop. **Sciencia Agrícola**, v. 59, n. 2, p. 357-364, 2002.

CAMPO ZABALA, R. et al. Variedades energéticas de caña de azúcar: Una solución a La biomassa Del present y El futuro. **Revista Cuba & Caña**, n. 1, p. 10-13. 1998.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; PRIETO, H. E; NOVAIS, R. F. **Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes**. In: NOVAES et. al. (Eds). Fertilidade do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, P. 20-46.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A.; PERES, L. E. **Manual de fisiologia vegetal**. São Paulo: Ceres, 2005. 640 p.

CLARKSON, D. T. Interactions between aluminum and phosphorus on root surfaces cell wall material. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 27, p. 347-355, 1967.

COELHO, S. T. **Mecanismos para implementação da cogeração de eletricidade a partir de biomassa. Um modelo para o Estado de São Paulo.** Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, Instituto de Eletrotécnica e Energia, São Paulo, Agosto 1999.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, safra 2012/2013.** Brasília: Conab, 2012. 13 p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (Lavras, MG). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 4ª aproximação.** Lavras, 1989. 159 p.

COMPANHIA DE PESQUISA EM RECURSOS MINERAIS - CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto. Cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Araripina, estado de Pernambuco.** Recife: CPRM/PRODEEM, 2005, p. 2-4. 26 p. + anexos.

De BONA, F. D. **Nitrogênio e enxofre para gramínea forrageira: atributos do solo e aspectos metabólicos, nutricionais e produtivos da planta.** 2008. 195 f (Tese de Doutorado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ, Piracicaba, São Paulo, 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. **Gipsita.** Balanço Mineral Brasileiro 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br>>. Acesso em jan. 2012.

DINIZ, J. et al. Poder calorífico da casca de arroz, caroço de pêssego, serragem de eucalipto e de seus produtos de pirólise. **Ciência e Natura**, UFSM, 26 (2): p. 25-32, 2004.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33

ECHART, C. L.; CAVALLI-MOLINA, S. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31 p. 531-541. 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes** / editor técnico, Fábio Cesar da Silva. - 2. Ed. versão ampliada - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solos. 2ª ed.** Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306p.

EMPRESA PERNAMBUCANA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco.** Recife, 2ª aproximação, 2. ed. rev., IPA, 2008. 198p.

FARINA, M. P. W.; CHANNON, P.; THIBAUD, G. R. A. Comparison of strategies for ameliorating subsoil acidity. II. Long-term soil effects. **Soil Science Society of American Journal**, v. 64, p. 652-658. 2000.

FERNANDES, A. J. (Ed.). **Manual da cana-de-açúcar.** 2. ed. São Paulo: Livro Ceres, 1990. 196p.

FERREIRA, D. F. **Sistema SISVAR para análise estatística: Manual de orientação.** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2000. 37p.

FIGUEIREDO, P. D.; LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P. Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônomo, 1995. (**Boletim Técnico, 200**). CD-ROM 6.

FIGUEIRÔA, J. M. et al. Madeireiras, In: SAMPAIO, E. V. S. B.; et al. **Espécies da Flora Nordestina de Importância Econômica Potencial Social.** Recife: APNE, 2005, 101-103 p.

FLORES, R. A. et al. Yield and quality of elephant grass biomass produced in the cerrados region for bioenergy. **Engenharia Agrícola.** Jaboticabal, São Paulo, v. 32, n. 5 p. 831-839. set./out. 2012.

FREIRE, F. J. **Efeito do estresse hídrico e da adubação nitrogenada em parâmetros de crescimento de milho (*Zeamays L.*), teor de nitrogênio e eficiência no uso de água.** 1991. 156 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, 1991.

FURLANI, P. R. **Toxicidade de alumínio e manganês em plantas.** In: RAIJ, B. Van,; BATAGLIA, O. C.; SILVA, N. M. (Coord.) **Acidez e calagem no Brasil.** Campinas: Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, 1993. 73-86 p.

GADELHA, F. H. et al. Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos de *Eucalyptus* s.p no Pólo Gesseiro do Araripe, PE. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 22, n. 2, p. 331-341, abr.-jun. 2012.

GALINDO, I. C. de L. **Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação**. 2007. 255 f. Tese de doutorado - Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2007.

GOLDEMBERG, J. & LUCON. **Estudos Avançados: Energia e meio ambiente no Brasil**. 2007. 21 (59). Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a02v>>. Acesso em: jan. 2012.

GOMES, G. (Ed.). **Engenho e arquitetura**. Recife: Massangana, 2006. 411 p.

GOMES, F. P.; LIMA, U. A. A **Cana-de-açúcar no Mundo**. In MALAVOLTA, E. (coord.) *Cultura e Adubação da Cana-de-açúcar*. São Paulo, Instituto Brasileiro de Potassa, 1964. 368 p.

HATFIELD, J. L.; SAUER, T. J.; PRUEGER, J. H. Managing soils achieve greater water use efficiency: a review. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, p. 271-280, 2001.

HESCHEL, M. S.; RIGINOS, C. Mechanisms of selection for drought stress tolerance and avoidance in *Impatiens capensis* (*Balsaminaceae*). **Journal of Botany**, v. 92, p. 37-44, 2005.

HIGUCHI, T. Look back over the studies of lignin biochemistry. **Journal Wood Science**, v. 52, p. 2-8, 2006.

HORSTMAN, N. et al. Análise do desmatamento na Chapada do Araripe. In: GEO NORDESTE, 5., 2011, Feira de Santana. Disponível em: <<http://ecoflor.files.wordpress.com/2012/09/anc3a1lise-do-desmatamento-da-chapada-do-araripe.pdf>>. Acesso em: dez. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: jul. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS, 2010. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/publicadas/mais-recursos-para-a-caatinga-enfrentar-mudancas-climaticas>>. Acesso em: dez. 2012.

ILLERA, V. et al. Field application of industrial by-products as Al toxicity amendments: chemical and mineralogical implications **European Journal of Soil Science**, v. 55, p.681-692. 2004.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, v.92, p.185-202, 2005.

JACOMINE, P. K. T. **Solos sob caatingas – características e uso agrícola**. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (eds.) O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MG: SBCS; UFV, DPS, 1996. 95-111p.

JARA, E. R. P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 1989. (Comunicação Técnica, 1797).

JORGE, H. et al. De Casos Exitosos de Desarrollo Sostenible del Tropico. **Anais...** Congreso Internacional. Boca Del Rio. Vera Cruz. México. 2005.

KOCHIAN, L. V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.46, p.237-260, 1995.

LUCCHESI, A. A. Cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). In: CASTRO, P.C.; KLUGE, R.A. (Coord.). **Ecofisiologia de culturas extrativas: cana-de-açúcar; seringueira; coqueiro; dendezeiro e oliveira**. Cosmópolis: Stoller do Brasil, 2001. 13-45p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MARCELINO, K. R. A.; VILELA, L.; LEITE, G. G. Manejo da adubação nitrogenada e de tensões hídricas sobre a produção de matéria seca e índice de área foliar de Tifton 85 cultivado no Cerrado. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 268-275, 2003.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1997. 889 p.

MASCHIO, R. **Produtividade da água em biomassa e energia para 24 variedades de cana-de-açúcar**. 2011. 87 f. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 2011.

MATTOS, J. L. S. et al. Influência da disponibilidade de água e nitrogênio sobre características morfológicas de gramíneas forrageiras. **Ciência Agrotecnologia**, v. 21, p. 495-501, 1997.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. In: BORÉM, A. (Eds.). Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: Editora UFV, 1999. p. 205-251.

McCORMICK, L. H.; BORDEN, F. Y. Phosphate fixation by aluminum in plant roots. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 36, p. 799-807, 1972.

McKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technology**, 2002; 83:37-46

MEINZER, F. C. ZHU, J. Nitrogen stress reduces the efficiency of the C4 CO₂ concentrating system, and therefore quantum yield, in *Saccharum* (sugarcane) species. **Journal of Experimental Botany**, Londres: v. 49, p. 1227-1234, 1998.

MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Agricultura sustentável no semi-árido nordestino. In: OLIVEIRA, T. S.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (Eds). **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Fortaleza: UFC, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, 20-46 p.

MESA PÉREZ, J. N. **Testes em uma planta pirólise rápida de biomassa em leito fluidizado: critério para sua otimização**. 2004 189p. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambientais) - Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas. Campinas 2004.

MIGUEL, P. S. B. et al. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento de plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeito fisiológico, bioquímico e controle genético. **Revista Ceres**, Juiz de Fora - MG. v. 24, p. 12-30, 2010.

MORAIS, R. F. et al. Produção e qualidade da biomassa de diferentes genótipos de capim-elefante cultivados para uso energético. **Revista Brasileira de Agrobiologia**, v. 4, n. 2, nov. 2009.

MORAIS, R. F. **Potencial produtivo e eficiência da fixação biológica de nitrogênio de cinco genótipos de capim elefante (*Pennisetum Purpureum* Schum.), para uso como fonte alternativa de energia**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2008. 73 f.

MORELLI, J. L. et al. Calcário e gesso na produtividade da cana-de-açúcar e nas características químicas de um Latossolo de textura média Álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 187-194, 1992.

MORELLI, J. L. et al. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 4., 1987, Olinda. **Anais...** São Paulo: editora, 1987. p. 86-93.

OLIVEIRA, E. C. A. **Balço nutricional de cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada**. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Piracicaba. 2011. 215 p.

OLIVEIRA, M. D. C. et al. Bromatological characteristics and *in vitro* digestibility of four sugarcane varieties subjected or not to the application of quicklime. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá. v. 34, n. 4, p. 355-361, out./dez. 2012.

OLIVEIRA, M. S. **Tolerância de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) à toxidez por alumínio em solução**. Dissertação (mestrado em Agricultura e Ambiente) Universidade Federal de São Carlos - UFSC. Para obtenção do título de mestre Araras. p. 112, fev. 2012.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil & Tillage Research**, v. 38, p. 47-57, 1996.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Toxicity of aluminum to coffee in Ultisols and Oxisols amended with CaCO₃, MgCO₃ and CaSO₄. **Soil Science Society of America Journal**, v. 46, p. 1201-1207, 1982.

PEIXOTO, P. H. O.; PIMENTA D. L.; CAMBRAIA, J. Alterações morfológicas e acúmulo de compostos fenólicos em plantas de sorgo sob estresse de alumínio. **Bragantia**, v. 1, p. 17-25, 2007.

PERES, S. et al., Caracterização e determinação do poder calorífico e do número de cetano de vários tipos de biodiesel através de cromatografia. In: II CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2007, BRASÍLIA, **Anais...** Brasília – DF 2007.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111p.

QUESADA, D. M. **Parâmetros quantitativos e qualitativos de diferentes genótipos de capim elefante como potencial para uso energético**. 2005. 76 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2005.

QUESADA, D. M.; BODDEY, R. M.; MASSENA REIS, V.; URQUIAGA, S. **Parâmetros Qualitativos de Genótipos de Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) estudados para a produção de energia através da Biomassa**. CIRCULAR TÉCNICA 8. Seropédica, RJ, Novembro, 2004.

QUÉNO, L. M. R. et al. Custo de produção das biomassas de eucalipto e capim-elefante para energia. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 417-426, 2011.

QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, n. 89, p. 100-106, 2005.

RAIJ, B. VAN. et al. Gesso na produção de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 101-108, 1998.

RANJITH, S. A. et al. Partitioning of carboxylase activity in nitrogen-stressed sugarcane and its relationship to bundle sheath leakiness to CO₂, photosynthesis and carbon isotope discrimination. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 22, p. 903-911, 1995.

RECH, C. L. S. et al. **Manual Prático de Análises de Alimentos para Animais de Interesse Zootécnico**, ed. UESB, Vitória da Conquista, BA, 2010 152 p.; il

RIDESA. **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Curitiba, PR: 2010. 136 p.

RIPOLI, T. C. C.; MOLINA JR, W. F.; RIPOLI, M. L. C. Energy potential of sugar cane biomass in Brazil. **Scientia Agrícola**, v. 57, n. 4, p. 677-681, out./dez. 2000.

RIPOLI, T. C. C.; MOLINA JR, W. F. Cultura canavieira: um desperdício energético. **Maquinaria Agrícola**, n. 1, p. 2-3, 1991.

RIPULLONE, F. et al. Variation in nitrogen supply changes water-use efficiency of *Pseudotsugamenziesii* and *Populus x euroamericana*; a comparison of three approaches to determine water-use efficiency. **Tree Physiology**, Victoria, v. 24, p. 671-679, 2004.

ROCHA, A. T. et al. Emprego do gesso mineral na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 4, p. 307-312, 2008.

ROSA, G. R. et al. (coord.) **Anuário brasileiro da cana-de-açúcar 2005**. 1^a.ed. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2005. 136 p.

RUIZ, H. A. **Métodos de Análises Físicas do Solo**. UFV. 2004. 23p.

SALDANHA, E. C. M. et al., Uso do gesso mineral em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, Mossoró, RN, Universidade Federal Rural do Semiárido v. 20, n. 1, p. 36-42, 2007.

SALIENDRA, N. Z. et al. Associations between partitioning of carboxylase activity and bundle sheath leakiness to CO₂, carbon isotope discrimination, photosynthesis, and growth in sugarcane. **Journal of Experimental Botany**, v. 47, p. 907-914, 1996.

SANTOS, J. R. S. **Estudo da biomassa torrada de resíduos florestais de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar para fins energéticos**. Dissertação, Mestrado em Ciências. Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2012, 85p.

SANTOS, R. L. et al. Extração e eficiência de uso de nutrientes em capim-elefante na presença de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 497-505, 2012.

SANTOS, R. L. **Capim elefante cultivado em solo ácido com aplicação de gesso como alternativa fitoenergética para o pólo gesseiro do Araripe/PE**. Dissertação, Mestrado em Ciência do Solo. Universidade Federal Rural de Pernambuco / UFRPE. Recife, março 2011, 106f.

SEYE, O. **Análise de ciclo de vida aplicada ao processo produtivo de cerâmica estrutural tendo como insumo energético capim-elefante**. 2003. 148 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE DE PERNAMBUCO - SECTAMA - PE / MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME - SECTMA/MMA, **Região do Araripe-Pernambuco. Diagnóstico florestal**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2007, 91p.

SERVIÇO BRASILEIRO DE ASSISTÊNCIA EMPRESARIAL - Da Agência de notícias SEBRAE. 2011 Disponível em: <www.pedesenvolvimento.com> Acessado em: 20.12.2012.

SHANGGUAN, Z. P.; SHAO, M. A.; DYCKMANS, J. Nitrogen nutrition and water stress effects on leaf photosynthetic gas exchange and water use efficiency in winter wheat. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 44, p. 141-149, 2000.

SHIGAKI, F. et al. Influência do estresse hídrico nos parâmetros de crescimento e acúmulo de N em variedades de cana de açúcar. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29, 2003, Ribeirão Preto, SP. **Anais...** Viçosa – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD – Rom.

SILVA, D. J; QUEIROZ, A. C. **Análises de Alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. - Viçosa: UFV, 2002. 235p.

SILVA, F. C. (org.). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: EMBRAPA, 1999. 370p.

SILVA, T. G. F., et al., Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 12, p. 1257-1265 2011. Campina Grande, PB, UAEEA/UFCEG. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>> Acesso em jan. 2012.

SIMÕES NETO, D. E. **Avaliação da disponibilidade de fósforo e recomendação de adubação fosfatada para cana-planta em solos do estado de Pernambuco**. Tese, Doutorado em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco / UFRPE. Recife, março 2008, 105f.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DE GESSO DO ESTADO DE PERNAMBUCO (SINDUSGESSO), 2012 Disponível em: <<http://www.sindusgesso.org.br>> Acessado em jan., 2012.

SMEET, E. M. W.; LEWANDOWSKI, I. M.; FAAIJ, A. P. C. The economical and environmental performance of Miscanthus and Switchgrass production and supply chains in a European setting. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, New York, v. 13, p. 1230-1245, 2009.

SUNARPI, E; ANDERSON, J.W. Effect of sulfur nutrition on the redistribution of sulfur in vegetative soybean plants. **Plant Physiology**, n. 112: p. 623-631, 1996.

SOUZA, R. B. **Níveis críticos de enxofre em solos e em folhas de cultivares de café.** Tese de Doutorado, Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 88p.

STEENBERG, F.; JAKOBSEN, S. T. Plant nutrition and yield curves. **Soil Science**, v. 95, p. 69-88, 1963.

STOUT, W. L.; SCHNABEL, R. R. Water-use efficiency of perinial ryegrass as affected by soil drainage and nitrogen fertilization on two floodplain soils. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 52, p. 207-211, 1997.

SUMNER, M. E. et al. Amelioration of an acid soil prolife through deep liming and surface application of gypsum. **Soil Science Society of American Journal**, v. 50, p. 1254-1258, 1986.

SUMNER, M.E. **Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance.** In: JAYAWARDANE, N.S.; STEWART, B.A., eds. Subsoil management techniques. Athens, Lewis Publishers, 1995. p. 147-185.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 3. ed. Porto Alegre: Artimed, 2004, 719p.

TANG, C. et al. Responses of wheat end barley to liming on a sandy soil with subsoil acidity. **Field and crops research**, v. 80, p. 235-244. 2003.

TEJERA, N. A. et al. Comparative analysis of physiological characteristics and yield components in sugarcane cultivars. **Field Crops Research**. v. 102, p. 64-72, 2007.

TIESSEN, H. et al. Carbon sequestration and turnover in semiarid savannas and dry forest. **Climatic Change**, v.40, p. 105-117, 1998.

TERAUCHI, T.; MATSUOKA, M. Ideal characteristics for the early growth of sugarcane. **Japan Journal of Crops Science**, v. 69, n. 3, p. 286-292, 2000.

TOMAZ, M. A. et al. Eficiência de absorção, translocação e uso de cálcio, magnésio e enxofre por mudas enxertadas de *Coffea arábica*. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 885-892, 2003.

TURN, S. Q. et al. Fuel characteristics of processed, high-fiber sugarcane. **Fuel Processing Technology**. v. 81, p. 35-55, 2003.

VALE, A. T. et al. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* hill ex-maiden e *Acacia mangium* willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, v. 6, n. 1, p. 083-088, 2000.

VAN SOEST, P. J.; Symposium on nutrition and forage and pastures: New chemical procedures for evaluating forages. **Journal of Animal Science**, v. 23, n. 3, p. 838-845, 1964.

VAN SOEST, P. J.; Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility. **Journal of Animal Science**, v. 24, n. 3, p. 834-843, 1965.

VAN SOEST, P. J. Development of a comprehensive system of feed analysis and its application to foragens. **Journal of Animal Science**, v. 26, n. 1, p. 119-128, 1967.

VARNHAGEN, F. A. (Ed.). **História geral do Brasil: antes da sua separação e independência de Portugal**. São Paulo: Melhoramentos, 1975. v. 5, 314 p.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; GUERRA, A. F. Produtividade do capim-marandu (*Brachiaria brizantha*) sob irrigação e adubação nitrogenada. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41, 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande; Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2004 a.1 CD ROM.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; GUERRA, A. F. Produtividade do capim-tifton-85 (*Cynodon spp.*) sob irrigação e adubação nitrogenada. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41, 2004, Campo grande. **Anais...** Campo Grande; Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2004b. 1 CD ROM.

WERNER, J. C.; MONTEIRO, F. A. Respostas das pastagens a aplicação de enxofre. In: SIMPÓSIO SOBRE ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1988, Londrina. **Anais...** Londrina: [s.n.], 1988. p. 87-99.

WILKINSON, S. R.; GRUNES, D. L.; SUMNER M. E. Sumner. 2000. **Nutrient interactions in soil and plant nutrition**. In: *Handbook of soil science*, M. E. Sumner, Ed., Boca Raton, FL: CRC Press

WONG, S. C.; COWAN, J. R.; FARQUHAR, G. D. Stomatal conductance correlates with photosynthetic capacity. **Nature**, London, v. 282, p. 424-426, 1979.

WU, C. A.; CAMPBELL, D. R. Leaf physiology reflects environmental differences and cytoplasmic background in *Ipomopsis (Polemoniaceae)* hybrids. **American Journal Botany**, v. 94, p.1804-1812, 2007.