UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

HENRIQUE POSE GUERRA

Deposição de palha da cana-de-açúcar e as relações com atributos químicos e físicos do solo

Piracicaba 2016

HENRIQUE POSE GUERRA

Deposição de palha da cana-de-açúcar e as relações com atributos químicos e físicos do solo

Versão revisada de acordo com a resolução COPGr 6018 de 2011

Dissertação apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Carlos Clemente Cerri

Piracicaba 2016 AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Guerra, Henrique Pose

Deposição de palha da cana-de-açúcar e as relações com atributos químicos e físicos do solo / Henrique Pose Guerra; orientador Carlos Clemente Cerri. - - versão revisada de acordo com a resolução COPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.

78 p.: il.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

Biocombustíveis 2. Carbono 3. Etanol 4. Física do solo 5. Macronutrientes
 Matéria orgânica do solo 7. Palhada 8. Resíduos agrícolas 9. Sustentabilidade
 Título

CDU (631.417.1 + 631.431): 633.61

Ao Kosen rufu em gratidão

Ofereço

A minha família

Pelo amor, apoio imensurável e incentivos

AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de agradecer as seguintes pessoas e instituições as quais significativamente contribuíram para o sucesso dessa dissertação:

- Universidade de São Paulo Centro de Energia Nuclear na Agricultura (USP-CENA) e ao programa de pós-graduação em Ciências (Energia na Agricultura e no Ambiente) na área de Química na Agricultura e no Ambiente por prover a chance de obter o título de Mestre em Ciências.
- Meu orientador prof. Dr. Carlos Clemente Cerri por me aceitar como parte do seu grupo de pesquisa. Obrigado por me encorajar e guiar no decorrer dessa pesquisa. Obrigado por toda a atenção.
- Prof. Dr. Carlos Eduardo Pellegrino Cerri pelo seu incansável, valioso e sempre ponderado olhar sobre o meu trabalho. Também agradeço a profa. Dra. Brigitte Josefine Feigl pelo envolvimento e sugestões no desenvolvimento do meu mestrado.
 - Ao Dr. Maurício Roberto Cherubin por todo seu direcionamento e incentivos.
- Meus professores do programa de pós-graduação em Ciências por todas as suas contribuições para a minha formação acadêmica.
- Prof. Dr. Álvaro P. da Silva por emprestar equipamento que permitiu serem feitas algumas aferições de compactação; Prof. Dr. Quirijn de Jong Van Lier por aconselhamentos sobre a pesquisa e por permitir usar o seu laboratório para gerar as curvas de retenção de água no solo; Prof. Dr. Luís Reynaldo Ferracciú Alleoni por poder realizar as análises químicas do solo no Laboratório de Análises Químicas Pesquisa e aproveito para agradecer ao técnico responsável Luis Antônio Silva Júnior pelo treinamento e auxílio nas análises.
- Ao Dener Márcio da Silva Oliveira pelo auxílio em amostragens no campo e classificação do solo.
- Ao funcionários e estagiários do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da CENA-USP; Zezinho; Lilian; Ralf; Sandra; Dagmar; Margato; William, Paulo, Maísa, Laís, Guilherme, Gean por sempre de forma solicita e atenciosa me auxiliar em análises e no campo.
- À funcionária da biblioteca do CENA-USP Marília Henyei pelas correções e formatação dessa dissertação.

- Aos funcionários da FEALQ, pelo apoio principalmente na fase inicial de campo; Bruno; Ricardo; Priscila; Cindy; Gabriel; Vinicius e os estagiários Lana, Pedro e Marcela.
- Amigos e amigas do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (LBA) Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Izaias, Laisa, Marquinhos, Naissa, Tati, Ingrid, Caio, André, Cervicin, Novelero, Silvia, Maristela, Maria Regina, Paul Letícia e Lucas.
- A Gloriosa ESALQ-USP que me ensinou muito mais que conhecimento, mas também a me tornar uma pessoa melhor. Aos amigos que fiz neste lugar sem igual, os amigos da república Pau-A-Pique em especial todos aqueles com quem convivi.
 - Meus amigos da família Soka Gakkai e os amigos de São José dos Campos.
- Especialmente para toda a minha família, principalmente meu pai, mãe, Gabriel, Manú, Vó e tios sem os quais jamais teria chegado aqui, gratidão eterna. À minha noiva Roberta Pura pelo companheirismo, incentivos e apoio inestimável.
- A todos aqueles que, de uma maneira ou de outra, prestaram seu apoio e incentivo para a realização desse trabalho.

MUITO OBRIGADO

EPÍGRAFE

"Quando perguntado sobre qual era a sua maior peça, a resposta de Charles Chaplin era sempre a mesma: 'A próxima!' Não há impasse quando se está imbuído de desafio. Não se anda porque existe um caminho;

por andar é que se abre o caminho."

Dr. Daisaku Ikeda

RESUMO

GUERRA, H. P. Deposição de palha da cana-de-açúcar e as relações com atributos químicos e físicos do solo. 2016. 78 p. Dissertação (Mestrado) — Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

Existe grande demanda pelo etanol de cana-de-açúcar. Para suprir essa demanda, uma forma é o aumento de produtividade pelo etanol de 2ª geração proveniente da palha. A remoção dessa palha pode alterar atributos guímicos e físicos do solo. O objetivo deste trabalho foi caracterizar o solo e avaliar os impactos da manutenção de diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar nos atributos químicos e físicos do solo. O experimento foi conduzido próximo a Capivari – SP na unidade Bom Retiro (BR) e próximo a Valparaiso – SP na unidade Univalem (UV). O tipo de solo de cada área experimental foi, respectivamente, Latossolo Vermelho distrófico típico e Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico. O delineamento utilizado foi blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos testados foram as seguintes quantidades de palha em Mg ha⁻¹ de massa de matéria seca: BR (0; 3,4; 7,8; 13,0; 16,6; 15,6) e UV (0; 4,2; 8,7; 15,1; 18,9; 23,3). Foram avaliados atributos químicos e físicos tais como teor e estoques de carbono, fracionamento da matéria orgânica dos solos, pH e resistência do solo à penetração. As camadas avaliadas foram diferentes na caracterização (0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50; 50-60; 60-80 e 80-100 cm) e após 1 ano de efeito da palha (0-5 e 0-10 cm). Os resultados demonstraram que os solos não apresentavam variações significantes nos teores de macronutrientes e C no momento de implantação dos experimentos, indicando que dentro de cada área experimental o solo era homogêneo e, portanto, adequado para implantação do experimento. Transcorrido um ano de experimento, as diferentes quantidades de palha não alteraram os teores de C (independente da profundidade avaliada) e nem a distribuição das frações da MOS. Desta forma, conclui-se que os efeitos da retirada da palhada de cana-de-açúcar nos atributos químicos e físicos do solo, se existirem, serão expressos em um tempo maior de condução do experimento. Essa consideração pode ser colocada também para pH e resistência à penetração.

Palavras-chave: Etanol celulósico. Estoque de carbono. Fracionamento físico da matéria orgânica do solo. Resistência do solo à penetração.

ABSTRACT

GUERRA, H. P. Sugarcane straw deposition and its relations with chemical and physical properties of soil. 2016. 78 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

Globally, there is increasing demand for sugarcane ethanol. To meet this demand, one way is to increase productivity by 2nd generation ethanol using sugarcane straw as feedstock. Straw removal management can change the chemical and physical soil properties. The aim of this study was to characterize the soil and assess the impacts of maintenance of different amounts of sugarcane straw on soil chemical and physical properties. Two experiments were conducted near Capivari - SP in Bom Retiro mill (BR) and close to Valparaiso - SP in Univalem mill (UV). The soil type of each experimental area was, respectively, a Rhodic Kandiudox (USDA Soil Taxonomy) and a Kanhaplic Haplustults (USDA Soil Taxonomy). The experimental design used was a randomized blocks with six treatments and four replications. The treatments were the following amounts of straw in Mg ha⁻¹ of dry matter: BR (0, 3.4, 7.8, 13.0, 16.6, 15.6) and UV (0, 4 2, 8.7, 15.1, 18.9, 23.3). Soil chemical and physical attributes were assessed, such as content and carbon stocks, fractionation of soil organic matter, pH and soil resistance to penetration. Soil sampling was performed for the 0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50; 50-60; 60-80 and 80-100 cm layers in the soil characterization (base line) and after 1 year of effect of straw, soil was sampled at 0-5 and 0-10 cm depth. Our results showed that the soils had no significant variation in the macronutrient and C contents and C at the time of implantation of the experiments, indicating that the soil in each experimental area was homogeneous and therefore suitable for implementation of the experiment. After one year of experiment, different amounts of straw did not alter the contents of C (regardless of the assessed depth) nor the distribution of SOM fractions. Thus, we concluded that the effects of the sugarcane straw removal on soil chemical and physical attributes, if any, it should be expressed in a long-term experiment.

Keywords: Cellulosic ethanol. Carbon stock. Physical fractionation of soil organic matter. Soil penetration resistance.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1 Cana de açúcar	18
2.2 Etanol e etanol de 2ª geração	21
2.3 Palha da cana-de-açúcar	22
2.3 Efeitos da palha nos atributos químicos	
2.4 Efeitos da palha no estoque de C e fracionamento físico da matéria orgânica	a do
2.5 Efeitos da palha nos atributos físicos do solo	26
3 MATERIAL E MÉTODOS	
3.1 Locais de estudo	29
3.1.1 Localização	
3.1.2 Clima	
3.1.3 Descrição do solo	31
3.1.4 Manejo da área	
3.1.5 Delineamento experimental e tratamentos	
3.2 Amostragem e análises	
3.2.1 Amostragem e análises químicas	
3.2.2 Amostragem e análises físicas	
3.2.4 Fracionamento físico da matéria orgânica do solo (MOS)	
3.3 Análise de dados	
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 Caracterização das propriedades dos solos	41
4.1.1 Granulometria, acidez e macronutrientes	
4.1.2 Densidade do solo (DS)	
4.1.3 Teores e estoques de C no solo na linha de bases	47
4.2 Resultados após 1 ano de deposição da palha sobre a superfície do solo	
4.2.1 Teores e estoques de carbono	
4.2.2 Fracionamento físico da matéria orgânica do solo (MOS)	
4.2.3 pH	
4.2.4 Resistencia do solo a penetração (RP)5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	
REFERÊNCIAS	
REFERENCIAS	ช9

1 INTRODUÇÃO

Os pesquisadores e instituições no mundo estão cada vez mais preocupados na busca por novas fontes de energia renováveis e voltadas a um desenvolvimento sustentável. Entre as fontes conhecidas, o etanol tem apresentado posição de destaque como importante matriz energética mundial para substituir (parcialmente) o uso de combustíveis fósseis (GOLDEMBERG, 2007).

Os maiores produtores mundiais de etanol são os EUA e o Brasil, contribuindo com 56,7 e 26,7%, respectivamente. Contudo a produção norte-americana é baseada no processamento de grãos de milho, enquanto que, no Brasil, a matéria prima é a cana-de-açúcar (GUPTA; VERMA, 2015).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar com 655 milhões de toneladas, sendo que a metade dessa quantidade se destina a produção de etanol (CONAB, 2016). A produção total estimada de etanol brasileiro na safra 2016/17 será de 30,3 bilhões de litros (CONAB, 2016). Mesmo com uma produção bastante elevada e juntamente com o etanol de milho oriundo dos Estados Unidos, as estimativas mostram que esta quantidade é capaz de suprir apenas uma parte da demanda para a próxima década de mais 34,8 bilhões de litros de etanol para 2021 apesar da melhoria no sistema de produção de etanol nestes dois países (GOLDEMBERG et al., 2014).

As maneiras de alcançar essa demanda podem ser obtidas com a expansão da cadeia brasileira do etanol de cana-de-açúcar atuando em três processos diferentes, ou seja, produtividade, expansão de área e principalmente o etanol de segunda geração.

As projeções da produtividade de cana-de-açúcar no Brasil partem de uma média de 71,7 Mg ha-1 na média das safras de 2011/12 até 2015/16 apontando para 76,2 Mg ha-1 na safra 2016/17 (CONAB, 2016b). Isso se deve ao melhoramento genético e melhorias nas práticas de manejo. Essa média ainda é baixa considerando o máximo potencial da cana-de-açúcar e o principal motivo é uma ainda reduzida tecnificação no campo e, portanto, apresenta elevado potencial de melhoria.

Diversos grupos de usinas e experimentos tem alcançado produtividades acima de 100 Mg ha⁻¹ (DE ABREU et al., 2013; SILVA et al., 2014).

Novas cultivares são lançadas por várias empresas (i.e., Centro de Tecnologia Canavieira - CTC, Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor

Sucroenergético - RIDESA e Instituto Agronômico de Campinas IAC) e realçam uma gama de características favoráveis ao aumento da produtividade da cultura.

Novas tecnologias também permitem um manejo com maior produtividade devido a: fertilizantes mais modernos (i.e., fertilizantes de liberação controlada, fertilizantes com inibidores de urease) (VALDERRAMA et al., 2011); métodos de preparo de solo, tráfego controlado, plantio em fileiras duplas e, máquinas inovadoras (i.e., preparo profundo do solo) que são capazes de minimizar a compactação do solo em profundidade, favorecendo o maior volume de solo explorado pelas raízes e aumento da longevidade do canavial (TOMAZ, 2013); melhor manejo de soqueira e redução de perdas em colheita e transporte.

Com relação à ampliação da área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil, esta foi aumentada de 5,8 para 9,4 milhões de hectares na última década, contudo, tomando em consideração a produtividade atual, ainda será necessário um adicional de 6,4 milhões de hectares de área de cana-de-açúcar para a atingir a demanda prevista para 2021 (GOLDEMBERG et al., 2014). A preocupação concernente a mudança do uso da terra é a competição entre a produção de alimentos e as culturas bioenergéticas, assim como, os impactos da mudança do uso da terra (MUT) e os efeitos negativos de carbono (LAPOLA et al., 2010).

No caso do Brasil há uma abundância de áreas não cultivadas ou ocupadas por pastagens extensivas que poderiam ser destinadas a expansão da cana-de-açúcar. A MUT para cana-de-açúcar promove uma redução nos estoques de carbono, que pode ser recuperada rapidamente (2 a 3 anos) devido a alto input de C no solo via palhada da cana-de-açúcar (MELLO et al., 2014).

A terceira ação, a produção de etanol de segunda geração (2G), é o etanol produzido através do uso da biomassa lignocelulósica que inclui o bagaço, ponteiros e folhas (PEREIRA et al., 2016). Atualmente o bagaço já é utilizado para produzir vapor e bioeletricidade, já a palha (ponteiros e folhas) é o resíduo que têm a maior disponibilidade para a produção 2G.

O potencial de incremento na produção de etanol a partir da biomassa da produção 2G pode aumentar a produção de etanol por tonelada de cana-de-açúcar, ou por área, além de outras fontes bioenergéticas que acompanham a cadeia da cana-de-açúcar (BECHARA et al., 2016). Com o Decreto de Lei Estadual nº 47.700, 11 de março de 2003, que dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha do canavial (SÃO PAULO, 2003), deixaram de ser queimados entre 10 a 30 Mg ha⁻¹ ano-

¹ de palha de cana-de-açúcar (SOUZA et al., 2005; LEAL et al., 2013; CASTRO et al., 2014). Com essa elevada quantidade de resíduos culturais depositada sobre a superfície do solo, foram observados benefícios nos atributos químicos, físicos e biológicos (CARVALHO et al., 2010; SCHULTZ et al., 2010; SOUZA et al., 2012; TARTARI et al., 2012; LEAL et al., 2013; ARALDI et al., 2015; ISAS et al., 2016).

Por outro lado, uma questão começou a ser levantada devido a este novo cenário: a manutenção da palha como condicionador do solo contra a necessidade de aumento na produção de etanol. Desta forma, um grande desafio para o setor sucroenergético é definir qual é a quantidade de palha de cana-de-açúcar que pode ser removida para fins energéticos sem comprometer a qualidade do solo e consequentemente, a produtividade da cultura. Desta forma, estudos que visem quantificar e caracterizar as formas do C presente na matéria orgânica do solo (MOS), assim como a interação com os atributos físicos podem auxiliar na tomada de decisão sobre a quantidade de palha que deve permanecer na superfície do solo, de forma a manter os serviços ambientais prestados pelo solo.

A hipótese testada nesse trabalho foi que a decomposição de diferentes quantidades de palha depositadas na superfície do solo promoverá alterações nos atributos químicos e físicos do solo cultivados com cana-de-açúcar. Assim será possível determinar a consequência da remoção de parte da palha do sistema de produção de cana-de-açúcar para etanol 2G ou bioeletricidade.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi caracterizar o solo e avaliar os efeitos de diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar deixadas na superfície do solo nos atributos químicos e físicos do solo. Especificamente, objetivou-se: a) caracterizar os atributos químicos (pH, C total e macronutrientes) e físicos (granulometria e densidade do solo) no local de instalação do estudo; b) quantificar os estoques de C do solo devido a manutenção de diferentes quantidades de palha; c) avaliar a resistência a penetração nas diferentes quantidades de palha.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Cana de açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma poaceae originária da Ásia, inserida no Brasil durante o século XVI (ARANHA; YAHN, 1987). Considerada uma das culturas mais eficientes e produtivas, essa planta de ciclo C4 se caracteriza por elevada produtividade biológica e alta taxa fotossintética (IRVINE, 1980).

Oriunda de regiões tropicais e temperadas quentes, hoje, tem o Brasil como o maior produtor mundial devido sua ampla extensão territorial, condições climáticas adequadas e, um dos únicos países com duas safras anuais distintas, região nortenordeste com colheita de novembro a abril e, centro sul, de abril a novembro. O clima mais adequado para a cultura se caracteriza por precipitação bem distribuída durante a fase vegetativa da planta, seguido por período seco anterior a colheita, além de luminosidade elevada durante toda a estação (BARBIERI; VILLA NOVA, 1981). Por possuir um metabolismo fotossintético do tipo C4, lhe confere maior eficiência de aproveitamento de luz, água e nitrogênio que plantas com metabolismo fotossintético do tipo C3.

A cultura pode ser plantada em três épocas diferentes: sistema de ano (cana de 12 meses), sistema de ano-e-meio (cana de 18 meses) e plantio de inverno (atrelado a uso de torta de filtro, fertirrigação com vinhaça ou irrigação).

Apresentando mais de 9 mil hectares de área cultivada na safra 2016/17, tem produção estimada de aproximadamente 700 milhões de toneladas, um crescimento de 3,8% em relação à safra anterior, sendo, a região centro sul, responsável por aproximadamente 90% de toda essa produção (CONAB, 2016).

A produtividade média da cana-de-açúcar no Brasil, desde a implementação do Proálcool, vem crescendo ano a ano inicialmente saindo de cerca de 45 Mg ha⁻¹, em 1975 e, alcançou valores em torno de 75 Mg ha⁻¹ na década passada, chegando a mais de 80 Mg ha⁻¹ em alguns anos. Outros indicadores podem mostrar essa evolução, como o ATR produzido, nos dez primeiros anos do programa Proálcool este indicador possuía valores aproximados de 142,2 kg Mg⁻¹ e, para as duas últimas safras, tem-se valores de 131,4 kg Mg⁻¹ de cana-de-açúcar para 2015/16 com estimativa de 132,5 kg Mg⁻¹ de cana-de-açúcar para a safra 2016/17 (CONAB, 2016). Apesar desse crescimento de produtividade de colmos, ao comparar o potencial

produtivo teórico da cana-de-açúcar, verifica-se valor de até 472 Mg ha⁻¹ (MOORE, 2009), ou seja, estamos muito aquém do que poderíamos.

No Brasil existe 112 cultivares de cana-de-açúcar protegidas pela Lei de proteção de cultivares, estas são detidas por 12 instituições. Em 2016 sete foram abertas para uso e oito novas serão de domínio público em 2017 (NOVACANA, 2016). Dentre esse universo de cultivares, destaca-se, por exemplo, a RB867515 e RB966928, desenvolvidas pela Ridesa, as quais recobrem 26 e 9,7% da área lavrada, e, portanto, tornam-se as cultivares mais plantadas na região apurada pelo censo varietal que analisa variedades plantas em São Paulo e Mato Grosso do Sul. Os principais produtos da cana-de-açúcar são o etanol, o açúcar e a bioeletricidade. A produção de etanol para safra de 2016/17 deve alcançar 30 bilhões de litros e, a de açúcar, 37,5 milhões de toneladas (CONAB, 2016). O setor sucroenergético brasileiro movimentou R\$ 70 bilhões na safra 2014/15, o que correspondeu a 1,3% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, e gerou 4,5 milhões de empregos (SOCIEDADE NACIONAL DA AGRICULTURA, 2016). Em março de 2016, na região Centro-Sul do Brasil, com dados provenientes do Cadastro Geral de Empregados e Desempregados - CAGED e reunidos pela União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), ratificou-se que a indústria canavieira motivou um saldo líquido positivo no estabelecimento de empregos acima de 22 mil vagas (UNICA, 2016). De acordo com critérios econômicos, ambientais e sociais, vem sendo desenvolvida a política nacional para a produção da cana-de-açúcar orientada na expansão sustentável da cultura.

Levando em consideração o meio ambiente e a aptidão econômica da região, o programa Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar (ZAEcana) regula o plantio da cana-de-açúcar. A partir de pesquisas, são definidas as áreas propícias ao plantio com base nos tipos de clima, solo, biomas e necessidades de irrigação (BRASIL, 2016).

Existem diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar, tais como a colheita manual com queima do canavial pré-colheita, ou a colheita mecanizada com a manutenção da palhada no campo. Entretanto, a prática de queima pré-colheita está que vem sendo diminuída ao longo dos anos principalmente após o Decreto de Lei Estadual nº 47.700, 11 de março de 2003, que dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha do canavial (SÃO PAULO, 2003). E segundo o protocolo agroambiental a redução do prazo legal de queima da palha de

cana-de-açúcar (Lei Estadual nº 11.241/02) para 2014, ao invés de 2021, em áreas mecanizáveis e para 2017, ao invés de 2031, em áreas não mecanizáveis e também estabelece uma série de premissas visando a conservação ambiental (UNICA, 2016).

No manejo da cana-de-açúcar, o espaçamento entre sulcos pode variar de 1,00 a 1,80 metro variando de acordo com a fertilidade da área e cultivar recomendada. Os espaçamentos possuem dois tipos, o simples, onde as linhas de cana-de-açúcar são uniformemente distantes uma das outras e, o espaçamento combinado, onde duas linhas são mais próximas e outro espaçamento é maior para o melhor tráfego de máquinas.

Deve se atentar, ainda, com a profundidade dos sulcos numa faixa de 20 e 30 centímetros; em solos mais arenosos espaçamentos menores como 1 metro ou 1,20 metro são mais recomendados e, os espaçamentos de 1,50 metro, propiciam melhor tráfego de máquinas e menor pisoteio, sendo também o mais recomendado para solos mais férteis. A quantidade necessária de mudas é de 10 a 15 toneladas por hectare e deve ser distribuído um mínimo de 12 gemas por metro de sulco até 15 a 18 gemas em época mais seca. O período de alguns meses anterior ao plantio é o momento de preparo do solo que deve ser muito criterioso, aproveitando para aplicar corretivos e fertilizantes já que a cana-de-açúcar será cultivada por cerca de 5 a 6 anos (ROSSETTO; SANTIAGO, 2016).

Durante a produção de cana-de-açúcar é gerada grande biomassa vegetal na forma de palha (folhas secas e ponteiros) que vem de forma crescente sendo colhida mecanicamente. O estado de São Paulo na safra 2013/14 a quantidade de cana-de-açúcar que foi colhida através de máquinas foi de 84,8% (NOVACANA, 2015).

No trabalho de De Aquino et al. (2015a), em situação de déficit hídrico, a quantidade 10 Mg ha⁻¹ (50%) de palhada foi capaz de promover melhorias no sistema radicular e na produtividade da cultura e, não havendo respostas significativas, acima desse valor. Portanto, sem prejuízos à sustentabilidade do sistema de cultivo, o restante desse resíduo poderia ser empregado em outros setores.

Sob as condições experimentais empregadas por Araldi et al. (2015) onde foram usados pequenos potes de plástico com área de 0,00159 m² e aplicada palha de cana-de-açúcar com 15% de umidade foi observado que para alguns dos principais herbicidas utilizados na cana-de-açúcar não mostraram transposição em 10 Mg ha-1 de palha dessa cultura e necessitaram de remoção do montante máximo possível para cruzar essa palha, recebendo 100 milímetros de chuva simulada. Essa necessidade

de remoção de palha para a efetividade dos herbicidas também endossa uma disponibilidade de resíduos para outros usos, como o etanol de 2ª geração ou bioenergia.

2.2 Etanol e etanol de 2ª geração

De acordo com o Ministério de Minas e Energia, em 2014, a matriz energética brasileira foi formada por 60,6% de energia não renovável e 39,4% de renovável. Essa composição representa uma matriz mais limpa que a média mundial de 13,8%, deste mesmo período. Dentro deste cenário, 39,9% da energia renovável é representado por derivados da cana-de-açúcar, demonstrando a grande importância da cultura.

O aumento da participação de fontes renováveis na matriz energética é necessário para reduzir as emissões de gases do efeito estufa (GEE) e consequente diminuição do aquecimento global. Por isso, há a necessidade de se determinar novas fontes de energia que tragam sustentabilidade ao planeta e, nesse contexto, as fontes de energia oriundas da cana-de-açúcar podem desempenhar importante papel.

A posição do Brasil em relação à produção de biocombustíveis pode ser considerada privilegiada, devido a dois fatores: a grande extensão territorial e o clima tropical. Isso é importante no que se trata à produção de etanol proveniente da canade-açúcar, na qual a liderança do país, estabelecida há décadas, foi consolidada recentemente com a introdução dos veículos flex-fuel. A demanda pelo etanol no Brasil se dá por sua utilização direta em carros via etanol hidratado e também pela mistura do etanol anidro (atualmente em 27%) na gasolina. Em 2010, a frota de carros leves substituiu mais da metade da gasolina que seria consumida caso não houvesse os carros flex (UNICA, 2013), dessa forma, é possível entender que o aumento citado de interesse pela biomassa foi acentuado no Brasil.

O etanol de segunda geração (ou etanol celulósico) é visto como uma alternativa para aumentar a produção de álcool no país, sem a necessidade de investimento direto em aumento de área e produção devido o aproveitamento de resíduos (UNICA, 2015). O etanol celulósico pode ser obtido a partir do bagaço ou palha da cana-de-açúcar, milho, sorgo, beterraba, entre outros, porém, o mais comum é o feito a partir da utilização do bagaço e da palha da cana-de-açúcar (NOGUEIRA, 2008).

A produção do etanol de 2ª geração tem diversos desafios e limitações tais como transporte de biomassa e manipulação e processo de pré-tratamento eficiente

para a remoção da lignina dos resíduos lignocelulosicos (GUPTA; VERMA, 2015). Recentemente Pereira et al. (2016), usando modernas técnicas de microscopia e espectrometria, demonstraram que o bagaço é mais suscetível a escarificação enzimática em relação à palha e os ponteiros.

Visando elucidar as controvérsias acerca da competição entre o etanol de 2ª geração e bioeletricidade, Dias et al. (2011) fez uma série de análises e chegou à conclusão que o bioetanol pode ser favorável a competir com a produção de bioletricidade quando o resíduo de cana-de-açúcar é usado e, quando enzimas de baixo custo e melhorias tecnológicas se tornarem comercialmente disponíveis.

2.3 Palha da cana-de-açúcar

A palha de cana-de-açúcar se destaca como fonte energética entre os diferentes tipos de biomassa lignocelulósica (SANTOS et al., 2012). Os materiais lignocelulósicos são os que contêm celulose, hemicelulose e lignina. Os açúcares presentes na palha de cana-de-açúcar encontram-se na forma de polímeros (celulose e hemicelulose) e são recobertos por uma macromolécula (lignina), formando a microfibrila celulósica. Essa macromolécula apresenta-se na forma de microfibras envolvidas por uma mistura de carboidratos complexos poliméricos, incluindo principalmente tipos de xilana e glucomanana, que se encontram em extensões ligadas a outra estrutura polimérica, a lignina (Figura 1).

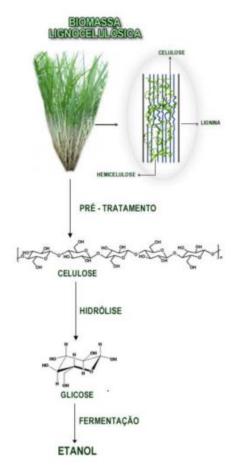


Figura 1 - Representação esquemática da produção de etanol a partir de biomassa lignocelulósica (Adaptado de Santos, 2012)

A palha dispõe de potencial energético para vários fins, tais como geração de calor, eletricidade e produção de etanol celulósico.

O processo de mecanização da colheita da cana-de-açúcar tem resultado em grandes quantidades de palha (10-30 Mg ha⁻¹) sendo deixadas sobre o solo a cada ano (SOUZA et al., 2005; LEAL et al., 2013; CASTRO et al., 2014).

Nos últimos anos, diversos estudos têm avaliado os efeitos da manutenção da palha no campo sobre os atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Assim, resultados demonstram que a manutenção da palha sobre o solo promove acúmulo de carbono no solo (CERRI et al., 2011), maior ciclagem de nutrientes (SCHULTZ et al., 2010), além de proteger contra a erosão (TARTARI et al., 2012), reduzir as variações de temperatura e conteúdo de água (LEAL et al., 2013), mitigar o desenvolvimento de ervas daninhas (ARALDI et al., 2015), aumentar ou diminuir a incidência de pragas (ISAS et al., 2016) e, aumentar a atividade biológica (SOUZA et al., 2012).

2.3 Efeitos da palha nos atributos químicos

Os resíduos vegetais, ao serem decompostos, transformados e sintetizados, irão constituir a matéria orgânica do solo influenciando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Além disto, a matéria orgânica contribui para a nutrição vegetal, como fonte de nitrogênio, fósforo e enxofre, entre outros nutrientes, além de influir positivamente nas atividades da microbiota do solo.

A matéria orgânica possui alta capacidade de troca de cátions e constitui assim grande parte do total da CTC de solos muito intemperizados, respondendo por 56 a 91% da CTC (RAIJ, 1969).

Carneiro et al. (2004), expõe que que a palhada de cana-de-açúcar, incubada a 28°C, liberou 35% do K⁺ nos 15 primeiros dias de incubação, enquanto que, ao final do experimento (120 dias), 70% de todo o K⁺ existente havia sido liberado.

A cana-de-açúcar apesar de ser uma poaceae também apresenta um considerável teor de nitrogênio relatado por alguns autores como Lombardi et al. (2012) e Otto et al. (2016).

Em trabalho realizado por Lombardi et al. (2012), verificou-se que a deposição da palha sobre o solo, e a conseguinte decomposição desta, promove a liberação e fornecimento de nutrientes que podem ser absorvidos pela cultura da cana-de-açúcar no primeiro ciclo, em um total de: 18% de N, 50% de P, 83% de K, 44% de Ca, 39% de Mg e 27% de S através da decomposição da palhada. A contribuição do N pode aumentar com o passar do ano remanescente (considerando que toda a massa vegetal não é decomposta em um ano), aumentando ainda mais o efeito benéfico da manutenção da palha no campo. Em anos seguintes, são expressivas as disponibilizações de nutrientes que, devido a disponibilização pela manutenção da palha no solo, somam 28% de N, 70% de P, 100% de K, 66% de Ca, 59% de Mg e 41% de S, podendo diminuir o uso de fertilizantes (LOMBARDI et al., 2012).

Otto et al. (2016) mostraram que as quantidades de nutrientes retornadas para o solo através da palha variam em uma faixa de 39–72 kg ha⁻¹ N, 4–23 kg ha⁻¹ P, 35–173 kg ha⁻¹ K, 9–81 kg ha⁻¹ Ca,6–26 kg ha⁻¹ Mg e, 7–15 kg ha⁻¹ S.

Ao considerar o pH do solo, os estudos não têm apresentado congruência na questão de sua variação decorrente da adição de resíduos de plantas no solo, sendo que De Aquino et al. (2015) mostraram que a aplicação de resíduos de cana-de-açúcar não aumentaram o pH, diferente do apresentado por Yuan et al. (2016) onde a aplicação de resíduos foi capaz de evitar a redução do pH.

O pH foi positivamente correlacionado com a respiração do solo em experimento com resíduos de culturas e independentemente desse resíduo (grão de bico, *Medicago lupulina*, Alfalfa e trigo) e tipo de solo, porém observou-se uma correlação negativa entre a respiração e a relação C:N e os resíduos de plantas (XU; TANG; CHEN, 2006a).

2.4 Efeitos da palha no estoque de C e fracionamento físico da matéria orgânica do solo

Diversos estudos têm apontado que a manutenção de palha no campo promove a aumento do estoque de carbono no solo em comparação ao manejo de queima do canavial antes da colheita (GALDOS; CERRI; CERRI, 2009; CERRI et al., 2011; LEAL et al., 2013).

Essas mudanças no estoque de carbono foram relatadas após experimentos mais longos no Brasil e Austrália avaliando-se concentrações de carbono sob canade-açúcar queimada e não queimada. Resultados diferentes foram apresentados, onde com apenas 1 ano não houve aumento de C e em estudos mais longos apresentou aumento de C (BLAIR, 1998; ROBERTSON, 2013).

Pesquisas anteriores também relacionaram diversos aspectos dos estoques de carbono com a textura do solo. O acúmulo de carbono no solo também tem relação com a textura do solo, sendo que solos mais argilosos acumulam maiores quantidades de carbono e, solos mais arenosos têm menor acumulação (CERRI et al., 2011). Bird et al. (2000) estudaram áreas arenosas e argilosas, com desde queimadas anuais até preservação total e em diferentes frequências intermediárias, por 50 anos. Foi constatado nos 0-5 cm parcelas as quais ocorreu manutenção da palha no solo, com a ausência do fogo, ocorreram aumentos no estoque de carbono. Quanto as frações da matéria orgânica do solo, Anaya e Huber-Sannwald (2015) constataram, em uma cronossequência, que a fração ligada aos minerais se manteve não afetada pela mudança do uso da terra e, a conversão de florestas para cana-de-açúcar, empobreceu a fração leve livre da matéria orgânica particulada na camada superficial do solo (0-10 cm).

Diante do exposto, verifica-se que a taxa de acumulo de C no solo é dependente de uma série de fatores, tais como tipo de solo, condições climáticas, tipo e tempo de manejo adotado na área.

2.5 Efeitos da palha nos atributos físicos do solo

Os efeitos da palha sobre o solo, além de atuar nas propriedades químicas, físicas e biológicas, possibilita, também, o incremento da MOS e, consequentemente, a estabilidade de agregados do solo.

Costa Júnior (2008) verificou que sistemas conservacionistas onde havia a presença da palha apresentavam maiores tamanhos de agregados estáveis quando comparados ao de sistema convencional, possivelmente devido a não-destruição mecânica dos agregados pelos implementos de preparo de solo e a própria proteção da palha oferecida à superfície do solo, além dessa capacidade pode promover a recuperação dos agregados já degradados.

Em alguns casos, o cálcio e o magnésio podem ser preponderantes em relação à agregação quando comparados ao carbono orgânico, como relatado em Mthimkhulu et al. (2016). Neste caso, o cálcio e o magnésio obtiveram correlações positivas com o diâmetro médio ponderado dos agregados.

Outro fator que causa grande influência nos agregados do solo são as ligações por mucilagens que conectam microagregados em agregados maiores e mais estáveis à água. A origem dessas mucilagens são provenientes de atividade biológica, principalmente de fungos (CAESAR-TONTHAT, 2002).

De acordo com Blanco-Canqui e Lal. (2008), a determinação de propriedades individuais de agregados tais como densidade, resistência ao impacto da gota de chuva, força de tensão (FS), sorvidade, retenção de água (RA), distribuição de tamanho dos poros e, tempo de penetração da gota de água (TPGA), foi necessário para estudar o impacto em micro-escala das propriedades do solo para o propósito que eles usaram de retirada sistemática de palha de milho, essa que é uma cultura similar a cana-de-açúcar por apresentar mesmo metabolismo C4, pertence a mesma família botânica da cana-de-açúcar, a poaceae e ambas possuem altas relações C:N. A remoção sistemática da palha do milho afetou a estrutura e propriedades hidrológicas de agregados individuais em todos os solos de Ohio estudados. Agregados foram mais fracos, menos estáveis e, retiveram menos água, quando a palha do milho foi removida.

O estudo destes autores deu suporte para concluir que apenas 25% da palha produzida estaria disponível para outros usos. Dados desse estudo também sugerem que propriedades estruturais dos agregados, tais como estabilidade,

força e repelência de água sub-crítica, podem ser usadas como parâmetros sensíveis para estimar a resposta do solo a remoção da palha do milho.

A manutenção da palha no solo potencialmente leva a melhoria na qualidade física do solo ao longo do tempo e consequentemente favorece o crescimento radicular e o desenvolvimento da cana-de-açúcar (OTTO et al., 2011).

Alterações na qualidade física do solo podem ser quantificadas e monitoradas através de diversos atributos ou indicadores, tais como densidade (TOMINAGA et al., 2002), agregação (GRAHAM et al., 2002), temperatura e conteúdo de água (DOURADONETO et al., 1999), formação de selamento e encrostamento superficial (RUAN et al., 2001), porosidade total, retenção de água, água disponível para as plantas, condutividade hidráulica saturada, infiltração de água (BLANCO-CANQUI; LAL, 2009), resistência à penetração (BEMGOUGH, 2001; TORMENA et al., 2002; DE SOUZA et al., 2005; BLAINSKI et al., 2009; SEVERIANO et al., 2009; OTTO et al., 2011; ROSIM et al., 2012; VILLAMIL; LITTLE; NAFZIGER, 2015; CHERUBIN et al., 2016).

Dentre esses a resistência a penetração (RP) é uma medida de baixo custo, de fácil obtenção e gera resultados de fácil interpretação (TORMENA; ROLOFF, 1996; HERRICK; JONES, 2002; NAIME et al., 2006).

O valor de 2 MPa vem sendo usado como limitante ao crescimento radicular (BRADFORD, 1986; OTTO et al., 2011).

Muitos outros valores foram encontrados para diferentes solos e variadas culturas como 3,6 Mpa, em solos preparados, 4,6 a 5,1 MPa para solos em plantio direto (EHLERS et al.,1983), 3 MPa para cultivo mínimo com escarificação e, 3,5 MPa em plantio direto em trabalho de Moraes et al. (2014).

Ainda existem outros tipos de limites estudados como limites para densidade do solo (DS). Atributo este que demonstra qual é uma determinada massa que ocupa um volume estabelecido. O limite crítico de densidade do solo (LCD) determinado por Blainski et al. (2009) relacionado com intervalo hídrico ótimo é de 1,40 Mg m⁻³ que indica grave degradação física caso DS>LCD. Foram estabelecidos outros valores limitantes para densidade do solo relacionado ao crescimento de raízes de plantas de cobertura como 1,75 Mg m⁻³ (REINERT et al., 2008).

Alguns trabalhos usaram a resistência à penetração (RP) para avaliar os efeitos dos resíduos culturais no solo como é o caso de De Souza et al. (2005) que verificou que a cana-de-açúcar colhida crua e com a incorporação da palhada apresentou menores valores de RP em relação à cana-de-açúcar queimada ou crua sem incorporação da palhada.

Em outro estudo Rosim et al. (2012) concluíram que a palha em superfície diminuiu a RP e aumentou a umidade do solo. Testando quatro quantidades de palha verificou que maiores quantidades de palha geraram menores valores de RP após fazer a correção dos valores para a mesma umidade, enaltecendo o efeito da palha em superfície na mitigação da compactação.

Remoção parcial ou total de resíduos do solo significativamente aumentaram a RP em pesquisa de Villamil, Little e Nafziger (2015).

Mu et al. (2016) mostraram que o preparo profundo aliado a aplicação de resíduos tornou o ambiente mais favorável para maiores produtividades, reduzindo a RP. O retorno de resíduos culturais reteve maior umidade e diminuíram a RP, promovendo o crescimento radicular.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Locais de estudo

3.1.1 Localização

As áreas selecionadas estão situadas na região de maior produção mundial de cana-de-açúcar, o Centro-Sul do Brasil (Figura 2). Estas áreas estão identificadas e localizadas como: i) Univalem (UV), no município de Valparaíso, região oeste do Estado de São Paulo (21°22'23,0"S 50°51'22,0"W), com altitude média de 440 m; ii) Bom Retiro (BR), no município de Capivari, região central do Estado de São Paulo (22°51'00,8"S 47°30'44,0"W), com altitude média de 636 m. Parcerias locais foram estabelecidas para a realização do estudo em áreas pertencentes a usinas de açúcar e etanol, estas auxiliaram nas escolhas das áreas a partir de informações prévias.

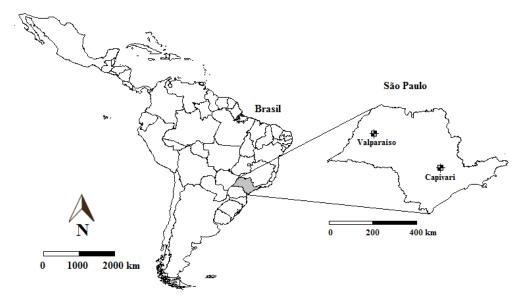
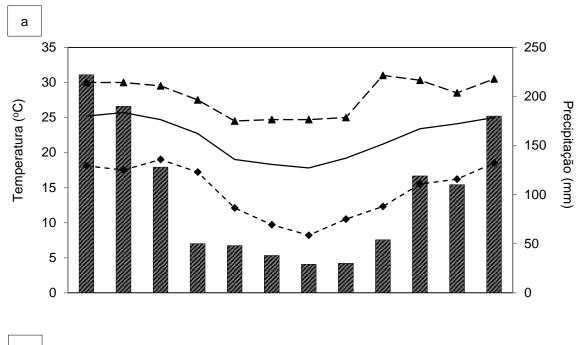


Figura 2 - Localização geográfica dos locais de estudo no Centro-Sul do Brasil

3.1.2 Clima

Os locais de estudo foram classificados conforme Köppen da seguinte forma: i) Univalem apresenta a classificação Aw (tropical úmido), com temperatura média anual (TMA) de 21,9°C e precipitação média anual (PMA) de 1168 mm; ii) Bom Retiro apresenta a classificação Cfa (subtropical úmido), onde o TMA é de 22,4°C e a PMA é 1188 mm. Ambos os locais apresentam a época de chuvas concentradas na Primavera-Verão (outubro a abril) e, a estação seca, no outono-inverno (maio a setembro) (Figura 3).



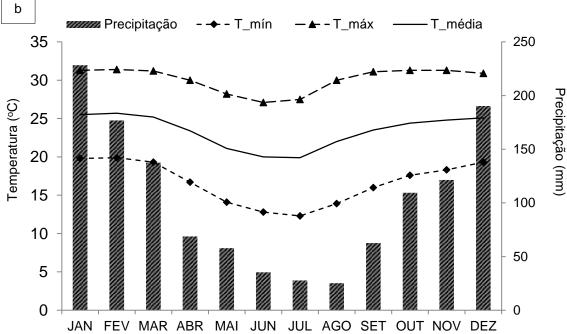


Figura 3 - Temperatura média mensal (mínimo, máximo e médio) (°C) e precipitação média anual (mm) na região estudada, em que: (a) Bom Retiro-SP; (b) Univalem-SP. Fontes: CIIAGRO (http://www.ciiagro.sp.gov.br) e CEPAGRI (http://www.cpa.unicamp.br) Média dos últimos 16 anos

3.1.3 Descrição do solo

As descrições dos perfis de solo, até 2 metros de profundidade, foram realizadas em novembro de 2014, para classificar os solos de cada local do experimento. Para cada horizonte de solo, coletaram-se amostras para análises químicas e granulométricas. A descrição do perfil e da classificação dos solos foram realizadas de acordo com critérios definidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos-SiBCS (Santos et al., 2013) e USDA Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014) (Tabela 1).

O solo da área BR foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (SiBCS) e Rhodic Kandiudox (USDA Soil Taxonomy) com geologia situada na bacia sedimentar do Paraná, no Grupo Tubarão e na formação geológica de Itararé. O solo da área UV, foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (SiBCS) Kanhaplic Haplustults (USDA Soil Taxonomy) com geologia na mesma bacia sedimentar do Paraná, porém no grupo Bauru e na formação geológica de Adamantina.

Tabela 1 - Descrições do solo nos locais de estudo

Profus Horizonte (cm)	Profundidade	Cor	MO nada) (g dm ⁻³)	Atributos químicos		Índices		V/ (0/)	Textura (g dm ⁻³)			
	(cm)	(Molhada)		pH H ₂ O	pH KCI	ΔрΗ	Ki	Kr	– V (%)	Areia	Silte	Argila
Univalem		-			-	•		,	<u> </u>	•	•	
Α	0-29	5YR 4/4	4,0	4,6	4,0	-0,6	-	-	23,9	881	20	99
Bt1	29-102	5YR 4/4	8,0	4,8	4,1	-0,7	2,65	2,38	16,2	807	19	174
Bt2	102-200 +	5YR 6/6	1,0	5,1	4,3	-0,8	1,80	1,62	13,1	796	31	173
Bom Retiro												
Ap	0-33	2,5yr 3/2	20,0	5,5	4,8	-0,7	-	-	77,5	594	76	330
ВА	33-58	2,5yr 4/3	10,0	5,0	4,3	-0,7	1,93	1,85	47,2	541	57	402
Bw1	58-126	2,5yr 4/6	12,0	5,4	4,7	-0,7	1,64	1,57	39,3	533	55	412
Bw2	126-174	2,5yr 4/6	7,0	5,2	4,4	-0,8	1,20	1,17	32,1	518	74	408
СВ	174-200 +	5YR 4/6	10,0	5,2	4,4	-0,8	-	-	22,0	536	58	406

3.1.4 Manejo da área

A cana-de-açúcar foi plantada nas áreas experimentais em fevereiro de 2013. Após 18 meses de cultivo, em agosto de 2014 a cana-de-açúcar planta foi colhida e os experimentos foram instalados.

Os cultivares usados foram RB867515 na área BR e CTC14 na área UV. O espaçamento entre linhas utilizado foi combinado entre as linhas, com duas entrelinhas diferentes: 0,9 m e 1,5 m e, estabelecidas com 12 a 24 gemas por metro.

Os experimentos foram instalados e conduzidos em condições de campo, em culturas comerciais, a partir de 08 de agosto de 2014 na área da Bom Retiro e de 16 de agosto de 2014 na área da Univalem. A colheita ocorreu do dia 1 a 4 de setembro de 2015, em ambos os experimentos.

Dentro dos objetivos da pesquisa foram buscadas áreas com condições de solo e clima contrastantes, que podem ser verificadas ao longo da caracterização da área nos tópicos referentes.

A cana de açúcar na área BR foi implantada a 40 anos (desde 1977). Não foi apresentado registro da área UV.

Em relação ao manejo realizado na área, o manejo de reforma segue com maior frequência a seguinte sequência: grade intermediária, seguida de subsolagem e enxada rotativa.

No preparo de solo utiliza-se na área os corretivos de solo – calcário, gesso e fosfato onde a frequência de uso e a quantidade aplicada é determinada pela análise de solo da área. Por exemplo a aplicação de calcário pode variar em doses de 1,0 a 4,0 Mg ha⁻¹; gesso pode variar entre 0,5 a 3,0 Mg ha⁻¹ e fosfato a dose é de 0,5 Mg ha⁻¹. No trato da soca a aplicação de fosfato é realizado apenas após o 2º corte e de calcário e gesso no 3º corte. A aplicação de corretivos tanto no preparo de solo como no trato da soca é realizado por carreta na modalidade a lanço em área total.

A aplicação dos fertilizantes minerais no plantio é guiada pela análise de solo da área de produção. No plantio utilizamos as formulações MAP para áreas saturadas em K+ (Potássio) e 10-30-20 para as áreas não saturadas, onde as quantidades podem variar de 0,200 a 0,300 Mg ha⁻¹ para o MAP e 0,450 a 0,500 Mg ha⁻¹ de 10-30-20. Ambos os produtos são aplicados no sulco de plantio. Os fertilizantes utilizados no trato da soca são praticamente a uréia para áreas saturadas e/ou áreas com aplicação de vinhaça e os formulados 25-00-25 e 28-00-22 para as áreas não saturadas e que não será aplicado vinhaça e são determinados de acordo com a

estimativa de produção de cana-de-açúcar da área. As doses de uréia variam de 0,150 a 0,340 Mg ha⁻¹, a fórmula 25-00-25 varia de 0,310 a 0,920 Mg ha⁻¹ e a 28-00-22 varia de 0,280 a 0,760 Mg ha⁻¹.

Os produtos: torta de filtro, cinza e o composto (mistura de torta + cinza) são utilizamos no preparo de solo, plantio e trato da soca com doses médias de 25 t/ha, já a vinhaça utilizamos apenas no trato da soca com doses média de 150 m³/ha. Esses produtos são utilizados com o objetivo de minimizar a quantidade de fertilizante mineral nos processos agrícolas.

3.1.5 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, composto por seis tratamentos com quatro repetições, em áreas sem queimada de cana-de-açúcar (1ª soca) e com topografia plana. Os tratamentos testados na BR foram: 1) 0 Mg ha-1; 2) 3,4 Mg ha-1; 3) 7,8 Mg ha-1; 4) 13,0 Mg ha-1; 5) 16,6 Mg ha-1 e 6) 15,6 Mg ha-1. Na unidade UV os tratamentos foram 1) 0 Mg ha-1; 2) 4,2 Mg ha-1; 3) 8,7 Mg ha-1; 4) 15,1 Mg ha-1; 5) 18,9 Mg ha-1 e 6) 23,3 Mg ha-1. Os tratamentos foram definidos de acordo a quantidade total de palha obtida na área, conforme descrito na Tabela 2. O tratamento aleirado consiste em retirar a palha do espaçamento da linha de 0,9 m e colocar ao lado no espaçamento entre linha de 1,5 m.

No experimento Bom Retiro, cada parcela possuía tamanho de 50 m x 24 m, o que consistiu de dez linhas de plantio sendo com espaçamento combinado de 1,50 m x 0,9 m. No experimento Univalem, cada parcela possuía tamanho de 40 m x 21,6 m e, consistia de nove linhas de plantio com espaçamento combinado de 1,50 m x 0,9 m.

Devido ao uso de diferentes colhedoras e diferentes combinações de RPM (rotações por minuto) dos extratores primários e secundários, ligados ou desligados, diferentes porcentagens de palha foram alcançadas e, consequentemente, diferentes quantidades de massa de matéria seca foram obtidas (Tabela 2), sendo que em ambos os casos foi possível estabelecer-se as doses respeitando as faixas teóricas e capazes de serem analisadas.

Tabela 2 - Nome do tratamento, percentual teórico, porcentagem alcançada e massa seca da palha no campo para os dois sítios experimentais

Local	Cultivar de Cana- de-açúcar	Tratamento Teórico %	Tratamento Alcançado	Massa seca
			%	Mg ha ⁻¹
Bom Retiro	CTC 14	0%	0%	0
		25%	20%	3,4
		50%	47%	7,8
		75%	79%	13,0
		100%	100%	16,6
		Aleirado	Aleirado	15,6
Univalem	RB 86-7515	0%	0%	0
		25%	34%	4,2
		50%	56%	8,7
		75%	76%	15,1
		100%	100%	18,9
		Aleirado	Aleirado	23,3

Na sequência, a Figura 4 representa um esboço ilustrativo das áreas experimentais.

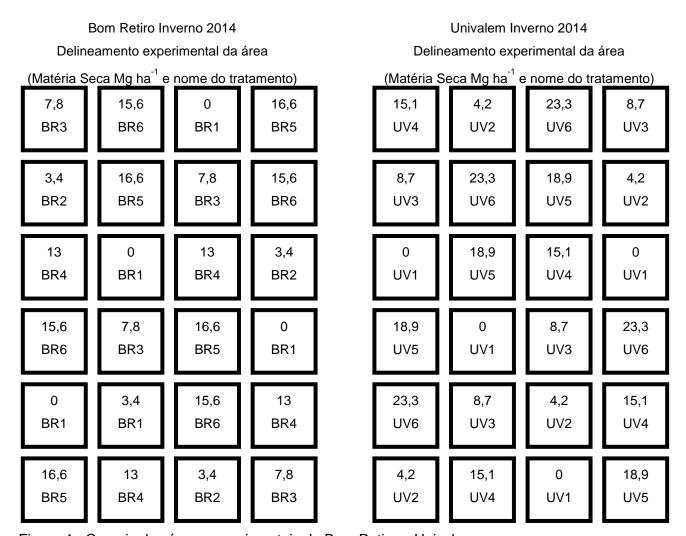


Figura 4 - Croquis das áreas experimentais de Bom Retiro e Univalem

3.2 Amostragem e análises

3.2.1 Amostragem e análises químicas

A determinação das propriedades químicas do solo foi obtida através de coletas de 336 amostras em cada local, utilizando trado holandês. As coletas foram realizadas no dia 09 e 24 de setembro de 2014, na área da usina Bom Retiro e usina Univalem, respectivamente. Foram coletados três pontos por parcela de forma (Figura 5). No ponto central (B), coletaram-se amostras entre 0 e 100 cm, em oito profundidades: 0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50; 50-60; 60-80 e 80-100 cm e, nos pontos periféricos (A e C), somente de 0 a 30 cm, em três profundidades: 0-10; 10-20; 20-30 cm.

Após um ano da instalação do experimento, amostras de solo foram coletadas de 0-5 cm no ponto central de cada parcela e 0-10 cm nos três pontos por parcela (Figura 5).

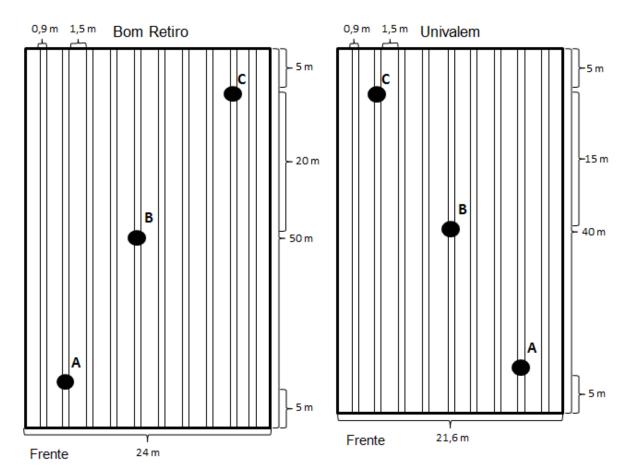


Figura 5 - Esquema de coleta dos pontos na parcela

No ponto central de cada parcela do tratamento sem palha, coletou-se amostras não deformadas, através do uso de anéis volumétricos (método do cilindro volumétrico) (Embrapa, 1997). Os anéis possuíam 5 cm de altura e diâmetro (98,125 cm³), foram retirados com o uso de trado específico de impacto em três paredes de uma trincheira, situada no limite da área experimental e com profundidade de 0 a 100 cm. Além disso, no centro das parcelas que receberiam 0% de palha, foi aberta uma pequena trincheira de 0 a 30 cm para avaliação da densidade do solo (linha de base).

Depois de coletadas, as amostras foram identificadas, colocadas em sacos plásticos e, transportadas ao Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do CENA/USP e Laboratório de Análises Químicas do Solo – Pesquisa da ESALQ/USP e, Laboratório de Delta CO₂, onde as análises dos indicadores químicos e físicos foram realizadas.

Os parâmetros avaliados foram: carbono total (CT), através do analisador elementar (NELSON; SOMMERS, 1996); Macronutrientes (fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre), pelo método da resina de troca iônica, emissão atômica (espectrofotometria), fosfato de cálcio e, turbidimetria; Acidez do solo (pH, H+Al, saturação por bases) com o uso de pHmetro (CaCl₂), extração através de cálculo com tampão SMP; Capacidade de troca Catiônica, método de cálculo. Estas análises foram realizadas para a linha de base e, após 1 ano de palha, também foi realizado a avalição do pH com pHmetro (H₂O).

As análises de macronutrientes e atributos de acidez foram realizadas de acordo com Raij et al. (2001), utilizando massa de solo, em vez de base de volume de solo.

A fim de compreender a influência da palha na fertilidade do solo, além das análises do solo, também foi realizada uma caracterização dos teores de C e macronutrientes da palha visando quantificar o potencial entrada de nutrientes no solo via palha de cana-de-açúcar (Tabela 3).

Tabela 3 - Caracterização da palha de cana-de-açúcar

		J. J. P J							
Local	Cultivar	С	N	Р	K	Ca	Mg	S	C: N
Lucai	g kg ⁻¹								
Bom Retiro	CTC 14	441,6	3,68		2,23			0,93	120,6
Univalem	RB 86-7515	484,7	3,22	0,37	2,26	2,34	2,10	0,50	150,5

3.2.2 Amostragem e análises físicas

A avaliação da resistência do solo à penetração (RP) foi realizada através de dois diferentes penetrômetros.

Na primeira medição foi utilizado um penetrômetro automático DLG PNT-2000 levando a cinco profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm), estes dados foram avaliados apenas na área de Bom Retiro, aos 90 dias de deposição de palha.

A segunda avaliação foi realizada aproximadamente 450 dias após a deposição da palha da primeira colheita e, 90 dias após a segunda colheita com penetrômetro de impacto manual (Stolf, 1983) em 6 profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm). Dados de resistência à penetração (RP) foram coletados nos mesmos três pontos A, B e C (Figura 5) em cada parcela, no meio da entrelinha de 0,90 m de espaçamento, onde havia menor tráfego e, portanto, fica isolado apenas o efeito da palha na RP. As avaliações da RP foram realizadas quando os solos estavam com umidades próximas à capacidade de campo.

3.2.3 Teores e estoques de Carbono (C)

Cada uma das 336 amostras de campo advém de uma das oito profundidades amostradas do solo de: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-80 e 80-100 cm e foram realizadas duas coletas diferentes.

Os teores de C e seus estoques totais foram quantificados no momento da instalação dos experimentos para a caracterização do solo (linha de base) e após um ano de condução dos experimentos.

Os procedimentos de determinação do teor total de C incluem o peneiramento (peneira com malha 100 mesh) seguido de combustão a seco em analisador elementar LECO[®] CN-2000, com forno a 1350°C sob fluxo de oxigênio puro.

A densidade de cada camada de solo foi calculada através da seguinte fórmula (Equação 1):

$$\rho b = \frac{m}{V}$$
 [1]

Onde:

pb: densidade do solo

m: massa v: volume

Os estoques de C foram calculados multiplicando-se o elemento de concentração (mg kg⁻¹) pela Densidade (Mg m⁻³) e pela espessura da camada de solo (m). Os resultados foram expressos em Mg ha⁻¹ de C (Ellert; Bettany, 1995) (Equação 2)

$$E_C = conc \times \rho b \times T$$
 [2]

Onde:

Ec = Estoque de C (Mg ha⁻¹)

conc = concentração do elemento (%)

ρb = densidade do solo (Mg m⁻³)

T = profundidade da camada de solo (cm)

3.2.4 Fracionamento físico da matéria orgânica do solo (MOS)

O fracionamento da MOS foi realizando somente após 1 ano de deposição da palha com amostras de ambos os locais.

Utilizou-se 20 g de solo seco misturada em 60 ml de água deionizada e foi submetido a ultrassom durante 15 minutos. Subsequentemente, a amostra foi passada por peneira de 270 mesh (0,053 mm). A matéria orgânica particulada (MOP) e as frações retidas na peneira (2-0,053 mm), foram separadas por diferença de densidade utilizando água destilada (CHRISTENSEN, 2001), a MOP por possuir menor densidade que as frações organominerais (2-0,053 mm), flutua e, dessa forma, é coletada e separada das frações organominerais (2-0,053 mm). As frações que passaram pela peneira (<0,053 mm), foram quantificadas juntas. Todas as fracções foram secas, pesadas e o teor total de C foi determinado utilizando os mesmos procedimentos de combustão a seco em analisador elementar. As profundidades coletadas foram 0-5 e 0-10 cm de profundidade e apenas a camada 0-10 cm foi analisada.

3.3 Análise de dados

Os dados foram submetidos a análise de variância para testar a homogeneidade dos atributos dentro de cada bloco antes da instalação dos experimentos (linha de base). Quando a análise de variância foi significativa pelo teste F(p<0.05), a comparação de médias foi realizada pelo teste de Tukey (p<0.05).

Os efeitos dos tratamentos nas propriedades do solo um ano após instalação do experimento também foi realizado através de análise de variância, sendo que quando significativo pelo teste F (p<0,05), foi realizado o teste de comparação de médias de Tukey (p<0,05). O programa SAS v.9.3 foi utilizado para a análise dos dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização das propriedades dos solos para classificação

4.1.1 Granulometria, acidez e macronutrientes

Para a caracterização de ambas as áreas, foram realizadas análises de granulometria (Figura 6), acidez e fertilidade de macronutrientes. (Tabelas 5 e 6). Essas análises foram necessárias para caracterizar estes indicadores previamente a instalação das doses de palha, permitindo identificar possíveis variações nos atributos do solo, especialmente dentro dos blocos, antes da instalação dos experimentos. Com isso torna-se possível identificar as possíveis alterações no solo que vierem a acontecer em resposta aos tratamentos testados no decorrer da condução do experimento.

Os resultados da distribuição de partículas do solo (Figura 6) indicaram que na unidade Bom Retiro o solo apresentou textura média argilosa, com o intervalo de 55 a 61% de areia, 5 a 8% de silte e 33 a 40% de argila e, na área da Univalem o solo foi classificado como arenoso, apresentando teor de 81 a 86% de areia, 1 a 3 % de silte e 11 a 17% de argila. Estes resultados confirmam que as duas áreas de pesquisa apresentam condições de textura de solo contrastante, estando de acordo com premissa da pesquisa.

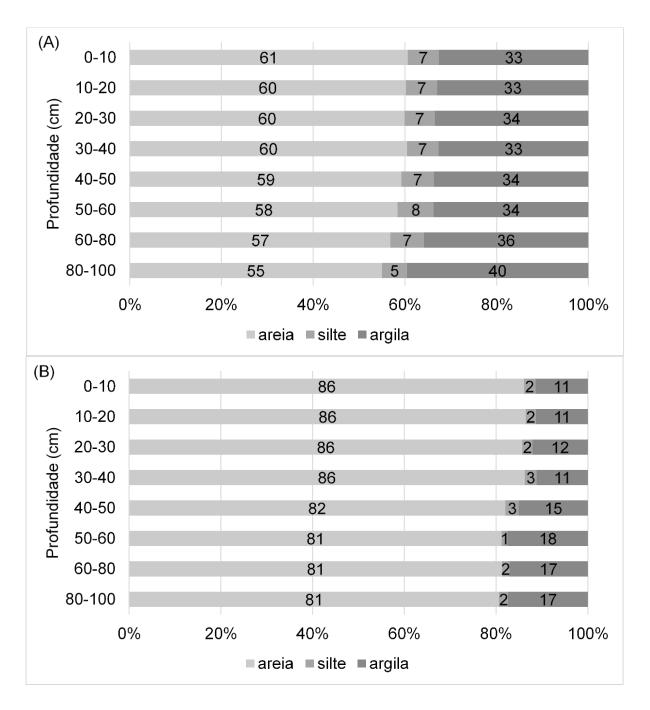


Figura 6 - Distribuição granulométrica do solo de Bom Retiro (A): solo de textura média e Univalem (B): solo de textura arenosa

Os atributos químicos do solo apresentaram distribuição homogênea dentro dos blocos, em ambas as áreas experimentais (Tabelas 5 e 6). Essa uniformidade nos atributos do solo é desejada para uma área considerada adequada para a instalação dos tratamentos avaliados. Para a área Bom Retiro (BR) não foram verificadas diferenças significativas para nenhum atributo nas camadas 0-10 e 20-30 cm.

Apenas para o Al na camada de10-20 cm pequenas variações foram observadas. Estes resultados estão associados ao fato do Al ser um atributo que possui as maiores variabilidades no solo (CHICATI; NANNI; CÉZAR, 2011), apresentando altos CV% (WINAGRASKI et al., 2000).

No caso da área Univalem (UV) nenhum dos atributos apresentaram diferenças significativas nas camadas 0-10 e 10-20 cm. Já na camada 20-30 cm os atributos K e m% apresentaram diferenças estatísticas entre os locais que posteriormente receberiam as doses de palha dentro do bloco. O m% é outro atributo que também comumente apresenta alta variabilidade (SILVA et al., 2003). O que de mais importante pode ser observado nessas análises, portanto é que as áreas apresentaram baixas variações e pode-se dizer que são satisfatórias para a instalação dos experimentos.

Além dessa abordagem quanto a homogeneidade e viabilidade para a condução do experimento pode ser observado para a área BR que de acordo com os limites de classes de teores de fósforo (P) foi classificado como teor médio nas três camadas avaliadas; para o enxofre (S) nas três camadas o solo se encontrou com teor alto do nutriente; no caso do cálcio (Ca) nas três camadas o teor foi alto; para o magnésio (Mg) na camada 0-10 cm o teor estava alto, na camada 10-20 cm com teor médio e na camada 20-30 cm com teor baixo; quanto ao potássio (K) na camada 0-10 cm o teor era muito alto, na camada 10-20 cm alto e na camada de 20-30 cm médio. A saturação por bases (V) era média nas camadas 0-10 e 10-20 cm e na camada 20-30 cm foi baixa.

A análise de solo para a área UV revelou os seguintes limites de classes de teores: para P nas três camadas avaliadas o teor foi médio; para S nas camadas de 0-10 e 10-20 cm o teor foi médio, na camada de 20-30 cm o teor foi baixo; para Ca na camada 0-10 cm o teor foi alto e nas camadas de 10-20 e 20-30 cm o teor foi médio; para Mg nas três camadas o teor estava baixo; para o K na camada 0-10 cm o teor foi alto, nas camadas 10-20 e 20-30 cm o teor foi médio. A saturação por bases V na camada 0-10 cm foi média e nas camadas 10-20 e 20-30 cm foi baixa.

Tabela 5 - Características do solo da área experimental Bom Retiro em setembro 2014

Futura dose de palha ⁽¹⁾	рН	Р	S	Ca	Mg	K	Al	H + Al	T (2)	V (3)	m ⁽⁴⁾
Nomenclatura	CaCl ₂	mg	kg ⁻¹			mm	olc kg ⁻¹			%	
				0-	-10 cm						
(BR1)	5,3 ns**	27,0 ns	16,0 ns	24,4 ns	7,1 ns	8,0 ns	0,4 ns	17,4 ns	57,0 ns	69,4 ns	0,7 ns
(BR2)	5,2	30,7	27,8	27,6	8,5	13,8	0,5	18,3	68,1	73,2	0,8
(BR3)	5,4	30,9	16,5	24,4	6,6	7,2	1,4	16,9	55,2	69,4	2,6
(BR4)	5,2	30,0	17,7	29,1	8,0	9,5	0,2	20,4	67,1	69,6	0,3
(BR5)	5,0	30,5	15,1	29,1	10,1	9,0	0,1	20,0	68,2	70,7	0,1
(BR6)	4,9	26,5	14,9	22,4	5,8	8,6	0,2	23,5	60,3	61,0	0,3
				10	-20 cm						
(BR1)	5,0 ns	21,3 ns	32,7 ns	17,8 ns	6,1 ns	5,2 ns	1,2 ab*	24,7 ns	53,8 ns	54,1 ns	2,2 ns
(BR2)	5,1	26,9	35,0	21,6	6,4	6,4	4,4 a	21,3	55,6	61,8	7,9
(BR3)	4,8	25,1	34,7	17,9	4,3	3,7	2,2 ab	27,5	53,4	48,6	4,2
(BR4)	4,6	22,2	43,2	16,2	5,1	3,1	1,7 ab	28,6	53,0	46,0	3,2
(BR5)	5,2	26,1	17,4	26,0	8,7	5,0	0,3 b	19,4	59,1	67,1	0,5
(BR6)	4,6	27,8	34,6	14,9	4,8	7,6	1,8 ab	26,2	53,4	51,0	3,4
				20	-30 cm						
(BR1)	4,5 ns	18,1 ns	54,3 ns	13,0 ns	3,1 ns	3,6 ns	3,0 ns	33,3 ns	53,0 ns	37,3 ns	5,6 ns
(BR2)	4,5	24,4	69,3	15,0	2,9	2,9	0,5	29,3	50,0	41,4	1,0
(BR3)	4,5	22,3	88,0	10,0	2,2	2,0	1,2	33,9	48,0	29,4	2,4
(BR4)	4,3	18,6	67,4	9,2	2,7	2,0	1,8	34,9	48,8	28,5	3,6
(BR5)	4,6	27,1	44,7	11,4	3,6	2,2	2,4	27,8	45,1	38,2	5,3
(BR6)	4,5	22,5	87,7	16,4	3,2	5,5	4,0	29,5	54,6	46,0	7,3

⁽¹⁾ Análise anterior a aplicação dos tratamentos (2) T: capacidade de troca de cátions potencial; (3) BS%: saturação por bases; (4) m%: a saturação de alumínio. * Valor Médio (n = 4) dentro de cada profundidade (coluna) seguido de mesma letra não diferem significativamente de acordo com o teste de Tukey (p <0.05). ** ns: não significativo.

Tabela 6 - Características do solo da área experimental Univalem em setembro 2014

Futura dose de palha ⁽¹⁾	рН	Р	S	Ca	Mg	K	Al	H + Al	T ⁽²⁾	V (3)	m ⁽⁴⁾
Nomenclatura	CaCl ₂	mg k	g ⁻¹			mmol	c kg ⁻¹		-	%-	
					0-10 cm				-		
(UV1)	5,0 ns**	17,4 ns	4,5 ns	8,0 ns	2,2 ns	2,7 ns	1,0 ns	15,8 ns	28,6 ns	44,7 ns	3,9 ns
(UV2)	5,2	19,0	4,1	9,6	3,1	2,9	0,5	13,5	29,1	53,7	2,0
(UV3)	5,0	18,6	4,3	8,7	3,1	4,0	0,9	16,3	32,0	49,2	3,4
(UV4)	5,4	15,9	4,4	8,1	3,1	3,4	0,3	13,6	28,2	51,8	1,1
(UV5)	5,5	19,7	9,8	15,3	3,8	3,7	0,6	14,0	36,8	62,0	2,0
(UV6)	5,2	13,8	4,3	6,1	2,4	3,4	0,5	14,4	26,3	45,1	1,8
					10-20 cm						
(UV1)	4,6 ns	15,2 ns	4,5 ns	4,1 ns	1,2 ns	2,3 ns	1,6 ns	17,8 ns	25,4 ns	30,0 ns	9,9 ns
(UV2)	5,0	15,5	4,2	6,5	1,7	2,3	1,2	15,3	25,7	40,4	4,6
(UV3)	4,4	12,5	4,4	3,9	1,1	2,7	2,2	20,1	27,7	27,6	7,8
(UV4)	4,8	12,0	4,3	3,9	1,4	2,5	1,0	16,6	24,4	32,0	4,1
(UV5)	4,9	15,4	4,8	6,7	2,1	2,8	1,2	16,0	27,6	41,9	4,5
(UV6)	5,0	14,1	4,5	4,2	1,8	2,9	0,8	15,2	24,1	37,0	3,1
					20-30 cm						
(UV1)	4,3 ns	16,6 ns	4,8 ns	2,8 ns	0,7 ns	1,9 b*	3,0 ns	19,6 ns	25,0 ns	21,7 ns	11,5 a
(UV2)	4,7	13,2	4,1	5,1	1,2	1,9 b	1,2	15,9	24,1	33,9	4,6 ab
(UV3)	4,2	11,1	4,7	2,6	0,7	2,1 ab	3,2	19,8	25,2	21,2	12,6 a
(UV4)	4,5	10,0	4,0	3,2	0,8	2,0 ab	1,0	15,9	21,9	27,4	4,5 ab
(UV5)	4,5	12,9	4,9	4,2	1,0	2,2 ab	2,0	17,5	24,8	29,3	7,7 ab
(UV6)	4,8	12,8	4,1	4,1	1,8	2,4 a	1,0	17,7	25,9	31,9	3,6 b

⁽¹⁾ Análise anterior a aplicação dos tratamentos (2) T: capacidade de troca de cátions potencial; (3) BS%: saturação por bases; (4) m%: a saturação de alumínio, * Valor Médio (n = 4) em uma coluna dentro de um local e profundidade seguido de mesma letra não diferem significativamente de acordo com o teste de Tukey (p<0,05), ** Ns, não significativo

4.1.2 Densidade do solo (DS)

Em relação a densidade do solo (Figura 7), os valores variaram de 1,18 a 1,42 Mg m⁻³ para Bom Retiro (BR) e variaram de 1,42 a 1,60 Mg m⁻³ para Univalem (UV). Sendo que a DS maior para solos arenosos do que o de textura média argilosa condiz com o esperado (REINERT et al., 2008). Esses foram os valores utilizados como padrão para o cálculo do estoque de carbono.

Considerando o valor limitantes de DS, no qual a umidade entrará numa faixa abaixo do limite inferior do intervalo hídrico ótimo (IHO), mencionado por Blainski et al. (2009) de 1,40 Mg m⁻³, então esse valor foi atingido em ambas as áreas sendo que para BR foi alcançado e ultrapassado apenas nas camadas de 30 a 50 cm e em UV esse limite foi obtido em todo o perfil avaliado. Porém esse limite estabelecido por Blainski et al. (2009) foi desenvolvido em um Nitossolo Vermelho distroférrico de textura argilosa embora em relação a esse conceito de IHO seja específico para cada solo.

A área UV naturalmente possui menores valores de densidade. Esse limite estabelecido por Blainski et al. (2009), apesar de alto para o solo estudado acaba sendo baixo para solos arenosos como de UV e portanto o limite de 1,75 Mg m⁻³ encontrado por Reinert et al. (2008) seja mais adequado, porque essa foi uma pesquisa em um Argissolo Vermelho de textura arenosa. A partir desse novo limite então nenhuma camada atingiu o limite para crescimento radicular.

Na área BR não foram observadas diferenças estatísticas significativas (p>0,05) entre as densidades do solo nos primeiros 30 cm e entre os 30 a 60 cm de profundidade as densidades apresentaram-se dentro de uma mesma faixa de desvio padrão, porém essas últimas camadas (30 a 60 cm) foram maiores que as camadas de 60 a 100 cm. As profundidades de 40-50 e 60-80 cm foram as que apresentaram menor variação dentre os valores de DS.

Na área UV a camada 0-10 cm apresentou densidade significativamente menor (p<0.05) que as camadas de 10 a 30 cm. As camadas de 30-40 e 50-60 cm estão entre a mesma faixa de desvios e numa faixa superior à de 40-50 cm. Dentro da faixa de 60 a 100 cm foram apresentados desvios menores que os da faixa de 30 a 60 cm. As camadas de 40-50 e 50-60 cm obtiveram os menores desvios.

Em sistemas com manutenção da palha de cana-de-açúcar na superfície do solo, há possibilidade que o acúmulo de matéria orgânica, o que colabora para reduzir a DS em sistemas de colheita sem queima.

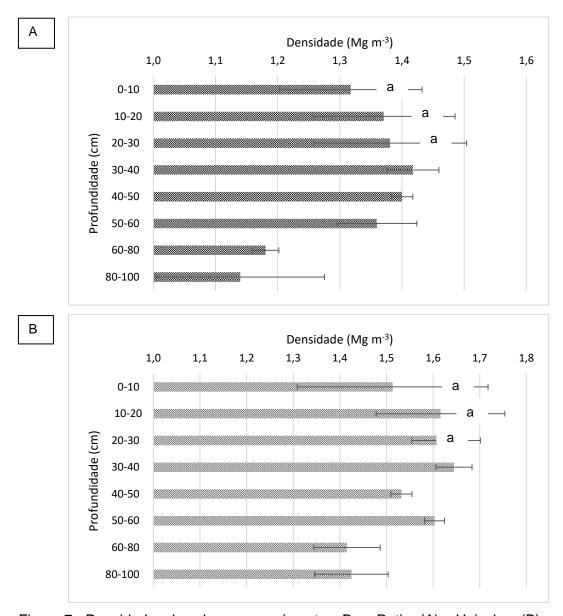


Figura 7 - Densidades do solo nos experimentos: Bom Retiro (A) e Univalem (B)

4.1.3 Teores e estoques de C no solo na linha de bases

Em se tratando de matéria orgânica dos solos muitas pesquisas indicam sobre sua dinâmica mostrando resultados como teor de carbono orgânico do solo ao invés de estoques. A utilidade da informação por estoques gera maior possibilidade de relacionar entre zonas e quantificar acréscimos ou decréscimos no decorrer do tempo (MELLO, 2012).

Segundo Cerri et al. (2011) e La Scala Júnior, De Figueredo e Panosso (2012) diversos estudos demonstram os benefícios, para as concentrações de C no solo, de se manter a palhada ao invés de queimá-la.

Entre os dois locais estudados, os maiores valores de C foram observados para Bom Retiro. Os teores de C para a linha de base deste estudo estão apresentados nas Tabelas 6 e 7. Os seus valores nas áreas de cana-de-açúcar variaram de 3,1 a 12,6 g kg⁻¹ para o experimento BR e de 2,7 a 6,8 g kg⁻¹ para o experimento UV e foram avaliados a cada 10 cm de 0-100 cm. Observa-se que o teor da área BR foi superior ao da área UV, isso está relacionado à granulometria que por possuir menor teor de argila em UV possui uma menor capacidade de fazer a ligação argila matéria orgânica (RANGEL; SILVA, 2007). Ambos locais mostraram maiores teores de 0-10, 10-20 e 20-30 cm do que no resto do perfil onde se apresentou uma tendência de diminuição conforme o aumento de profundidade (MISHRA et al., 2009).

Tabela 6 – Teores de carbono no solo na usina Bom Retiro em setembro de 2014 antes da deposição da palha

· · · · ·	<u> </u>	Tra	atamentos*			
Profundidade		110	atamentos			
(cm)	(BR1)	(BR2)	(BR3)	(BR4)	(BR5)	(BR6)
		Teor de C	no Solo (g	kg ⁻¹)		
00 - 10	11,6 ns**	11,1	10,3	10,8	12,6	11,6
10 - 20	10,3 ns	12,1	9,1	10,6	12,0	11,8
20 - 30	8,8 ns	10,4	9,3	8,7	9,9	9,5
30 - 40	7,4 ns	9,3	6,8	7,5	6,5	6,8
40 - 50	3,8 ns	6,1	6,3	5,9	6,9	6,4
50 - 60	5,1 ns	6,4	6,3	4,8	5,5	5,1
60 - 80	6,8 ns	5,5	3,1	5,1	4,7	3,8
80 - 100	4,8 ns	5,0	6,0	4,1	4,8	5,2

^{*}Avaliação realizada antes dos tratamentos serem aplicados, Valores de médias (n = 6) em uma linha dentro de um local e profundidade seguido de mesma letra não diferem significativamente de acordo com o teste de Tukey (p<0,05), ** NS, não significativo

Tabela 7 - Teores de carbono no solo na usina Univalem em setembro de 2014 antes da deposição da palha

		Tratam	ento (Mg ha	·1)*		
Profundidade						
(cm)	0	4,2	8,7	15,1	18,9	23,3
		Teor de C	no Solo (g	kg ⁻¹)		
00 - 10	6,1 ns**	6,2	6,8	5,7	6,5	5,7
10 - 20	6,0 ns	5,6	5,8	5,0	5,5	5,0
20 - 30	5,0 ns	5,0	4,7	4,7	4,8	5,1
30 - 40	4,2 ns	4,6	4,4	4,3	4,0	4,2
40 - 50	4,1 ns	4,2	3,9	4,2	4,3	4,6
50 - 60	4,6 ns	3,3	4,0	4,2	4,0	3,3
60 - 80	4,1 ns	3,7	4,1	3,2	3,9	3,7
80 - 100	3,2 ns	3,4	3,3	3,1	2,7	5,1

^{*}Avaliação realizada antes dos tratamentos serem aplicados, Valores de médias (n = 4) em uma linha dentro de um local e profundidade seguido de mesma letra não diferem significativamente de acordo com o teste de Tukey (p<0,05), ** NS, não significativo

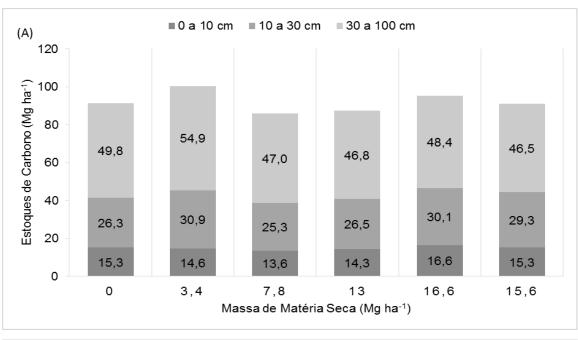
Os estoques de C são apresentados na forma acumulada (Figura 8). Na unidade BR o estoque de C para 0-10 cm variou de 13,6 a 16,6 Mg ha⁻¹ e o acumulado de 10-30 cm é de 25,3 a 30,9 Mg ha⁻¹ assim como na camada 30-100 cm os valores são de 46,8 a 54,9 Mg ha⁻¹ e para a área UV nos 0-10 cm variou de 7,5 a 9,0 Mg ha⁻¹ de acordo com o acumulado de 10-30 cm variaram de 13,2 a 15,4 Mg ha⁻¹ a camada de 10-30 cm mostrou de 13,4 a 15,2 Mg ha⁻¹ e em 30-100 cm apresentou de 32,2 a 37,4 Mg ha⁻¹. Não foram apresentadas diferenças significativas no teste de Tukey a 5% para as quantidades de palha.

O Brasil tem 59% de Latossolos e Argissolos (cerca de 5 milhões de ha), onde de 39 a 70% do carbono orgânico total de 0-100 cm está estocado até 30 cm de profundidade, com grandes variações espaciais (MACHADO, 2005).

Considerando os estoques de C acumulados da camada 0-30 cm no valor de 38,9 a 46,7 Mg ha⁻¹ para a área BR, que apresenta textura média argilosa, apresentou valores menores que Cerri et al. (2011) que variaram de 56,6 a 82,9 Mg ha⁻¹ para solos argilosos. Na mesma pesquisa de Cerri et al. (2011) foram demostrados estoques de C entre 32,5 a 57,3 Mg ha⁻¹ para solos arenosos, mesma textura da área UV com estoques numa faixa de 20,9 a 23,5 Mg ha⁻¹ sendo, portanto mais uma vez inferior.

Em relação ao total observado de C nas camadas de 0-100 cm foi obtido para a área BR de 85,9 a 100,4 Mg ha⁻¹ e para a área UV de 53,3 a 58,9 Mg ha⁻¹, considerando o desvio padrão BR possui valores com estoques na faixa dos estoques calculados para pastagens e culturas anuais, na região centro-sul do Brasil por Mello três usos da terra distintos. sendo (2014)em os $124,1 \pm 48,6$ Mg ha⁻¹ para pastagens, $158,7 \pm 53,7$ Mg ha⁻¹ para Cerrado e 126,7 ± 36,5 Mg ha⁻¹ para culturas anuais. Já a área UV se apresentou abaixo da faixa de estoques de carbono calculados independente do uso da terra.

Em outro trabalho, Oliveira et al. (2016) também para solos argilosos foi calculada uma média regional considerando 3 locais, sendo dois no estado de São Paulo e um no estado de Goiás em três usos da terra (vegetação nativa, pastagem e cana-de-açúcar). Os autores encontraram valores acima da faixa dos apresentados na área UV na mesma cidade Valparaíso no estado de São Paulo (76,6 ± 4,7). Os valores regionais foram observados avaliando-se áreas de cana-de-açúcar tendo valor médio de 111,6 Mg ha⁻¹. Por meio da comparação dos solos da área UV que são arenosos com os da mesma cidade em condições mais argilosas fica evidente que o acumulo de carbono de 0-100 cm em solos argilosos é maior que o de solos arenosos sendo que o local em Valparaíso em Oliveira et al. (2016) tem média 20,7 Mg ha⁻¹ maior que na área UV.



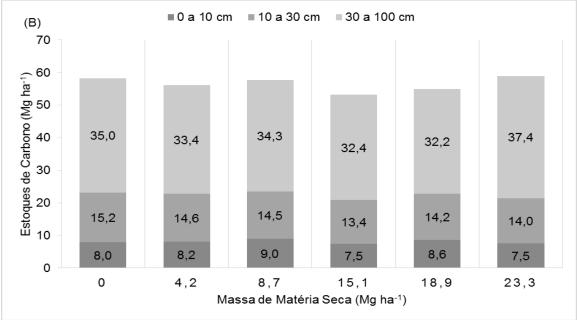


Figura 8 - Estoque cumulativo de carbono para os experimentos em Bom Retiro (A) e Univalem (B) para 0-10 cm, 10-30 cm (n=72) e 30-100 cm (n= 24)

4.2 Resultados após 1 ano de deposição da palha sobre a superfície do solo

Depois de 1 ano dos efeitos dos tratamentos o que se esperava é o que os resultados corroborassem com pesquisas previas que ao manter a palha no campo o estoque de carbono se apresentasse maior do que não ter esses resíduos sob o solo, retirados através da queima (GALDOS; CERRI; CERRI, 2009; CERRI et al., 2011; LEAL et al., 2013; BEZA; ASSEN, 2016).

Remover os resíduos de colheita diminuem a quantidade de material orgânico disponível para incorporação ao solo, portanto as manutenções de quantidades de palha normalmente resultam em aumento do carbono orgânico do solo. Entretanto, o processo de acumulação de C no solo é lento, e, portanto, muitos anos são necessários para que mudanças sejam notórias (SELIM et al., 2016).

Os resultados obtidos nesse estudo, corroboram com aqueles obtidos por Blair et al. (1998) e Robertson e Nash (2013). Em estudo realizado no estado de Pernambuco, Brasil, Blair et al. (1998) verificaram que a manutenção da palha de cana-de-açúcar na superfície do solo por 12 meses não foi suficiente para alterar significativamente os teores de C do solo em comparação com área onde a palha foi queimada pré colheita. De modo similar, Robertson e Nash (2013) também relataram maior concentração de C em áreas de colheita sem queima na Austrália depois de 4 ou 6 anos, mas não em áreas recentemente convertidas para o manejo (1 ou 2 anos).

Devido à questão apresentada onde os trabalhos apontam para a não observação de diferenças significativas no primeiro ano de manutenção de quantidades de palha sobre o solo, novas camadas foram avaliadas, são elas 0-5 cm e 0-10 cm. O motivo para essa nova adoção de camadas se deve ao fato de que a ação da palha da cana-de-açúcar sendo essa depositada sobre o solo será então maior na superfície, próximo a região do contato palha-solo e a melhor forma de conseguir observar essa interação e captando uma camada menor onde a diluição desse efeito também é menor. Essa camada de 0-5 cm pode ser observada em outros trabalhos como em Bird et al. (2000).

4.2.1 Teores e estoques de carbono

Os teores de C após 1 ano de efeito da palha sobre o solo estão apresentados nas tabelas 8 e 9. Os resultados variaram de 12,7 a 16,4 g kg⁻¹ para a área BR e para o experimento UV é de 6,4 a 7,8 g kg⁻¹. Observa-se que o teor da área BR foi superior ao da área UV e ambos locais mostraram relativamente maiores valores de 0-5 cm do que de 0-10 cm. O estoque de C é apresentado na forma 0-5 e 0-10 cm, para a área BR variou de 8,25 a 11,20 Mg ha⁻¹ em 0-5 cm e em 0-10 cm de 16,76 a 20,30 Mg ha⁻¹ assim como e para a área UV nos primeiros 0-5 cm variou de 4,70 a 5,90 Mg ha⁻¹ e de 0-10 cm variaram de 8,62 a 9,03 Mg ha⁻¹ (Figuras 9 e 10).

Pode ser observado que todos os valores de estoque de C após 1 ano estão acima do que foi observado na implantação, inclusive nas parcelas sem palha. Isso pode ser explicado pelo carbono provenientes dos exudatos radiculares. Cerca de 30 a 40% do carbono orgânico total presente nos solos podem ser derivados dos exudatos radiculares e material de raízes mortas (GRAYSTON; VAUGHAN; JONES, 1997). Aproximadamente 10-40% do carbono vegetativo assimilado (1 – 4 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de C) pode ser depositado na rizosfera em campo (CHAUDHRY et al., 2005; PILON-SMITS, 2005; GERHARDT et al., 2009) gerando aproximadamente 10 – 100 mg g⁻¹ de exudatos solúveis de material assimilado de raiz (GRAYSTON; VAUGHAN; JONES, 1997).

Não foram apresentadas diferenças estatísticas de nenhuma profundidade e entre nenhuma dose de palha. Isto provavelmente se deve ao fato do estudo ser apenas em 1 safra, o que é pouco tempo para estabilizar o C da palha em uma forma mais humificada e ligada então aos coloides do solo e devido à alta relação C:N, também dificulta a sua decomposição. Além dessa abordagem quantitativa, uma abordagem qualitativa será apresentada no item abaixo através do fracionamento físico da matéria orgânica do solo (MOS).

Tabela 8 – Teores de carbono no solo na usina Bom Retiro após um ano de efeito da palha

	Tratamento (Mg ha ⁻¹)								
Profundidade									
(cm)	0	3,4	7,8	13	16,6	15,6			
	Teor de	C no Solo	(g kg ⁻¹)						
00 - 05	14,7 ns**	16,4	14,2	14,9	14,6	12,0			
00 - 10	12,9 ns	14,6	15,4	12,7	13,9	15,1			

Valores de médias (n = 4) em uma linha dentro de um local e profundidade seguido de mesma letra não diferem significativamente de acordo com o teste de Tukey (p<0,05), ** NS, não significativo

Tabela 9 – Teores de carbono no solo na usina Univalem após um ano de efeito da palha

	Tratamento (Mg ha ⁻¹)								
Profundidade									
(cm)	0	4,2	8,7	15,1	18,9	23,3			
	Teor de	C no Solo	(g kg ⁻¹)						
00 - 05	7,1 ns**	6,9	7,8	7,4	8,6	7,5			
00 - 10	6,9 ns	6,5	6,8	6,4	6,8	6,8			

Valores de médias (n = 4) em uma linha dentro de um local e profundidade seguido de mesma letra não diferem significativamente de acordo com o teste de Tukey (p<0,05), ** NS, não significativo

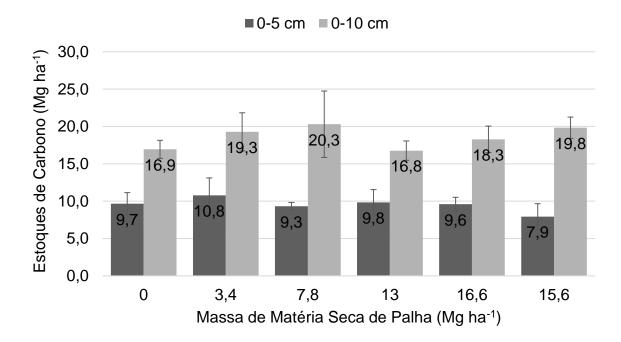


Figura 9 - Estoque de carbono do solo para os experimentos na usina Bom Retiro (A) para 0-5 cm (n=24) e 5-10 cm (n=24), após 1 ano de ação da palha da cana-de-açúcar

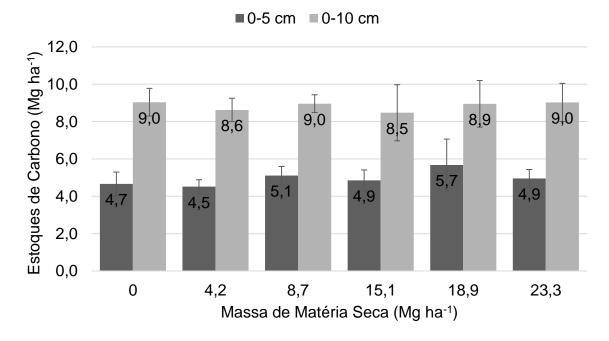


Figura 10 - Estoque de carbono do solo para os experimentos na usina Univalem para 0-5 cm (n=24) e 0-10 cm (n=24), após 1 ano de ação da palha da cana-de-açúcar

4.2.2 Fracionamento físico da matéria orgânica do solo (MOS)

O fracionamento físico da MOS permite um refinamento do entendimento da distribuição do C no solo. Assim, a quantificação do C nas frações MOP,

2 a 0,053 mm e <0,053 mm poderia auxiliar no entendimento das potenciais alterações no C devido a manutenção de diferentes quantidades de palha sobre o solo, uma vez que tais alterações não foram captadas pelo estoque de C total.

As camadas utilizadas também foram reduzidas e redefinidas, sendo que apenas a camada de 0-10 cm por ser a camadas onde mais possivelmente se demonstrariam os efeitos da palha no pouco tempo de 1 ano de efeito dos tratamentos.

O fracionamento físico da matéria orgânica do solo (MOS) se provou ser uma ferramenta eficiente em vias de quantificar as frações de matéria orgânica do solo (MOS) sem perdas significativas de amostras, uma vez que a média de massa de recuperação encontrada neste estudo foi de 98,94% (Tabela 10). Conteúdo de C não apresentou diferença significativa (p>0,05) dentro de nenhumas das frações MOP, 2-0,053 mm ou <0,053 mm para todas as profundidades avaliadas de 0-10, em ambas áreas Bom Retiro (BR) e Univalem (UV).

Os teores de C nas frações de matéria orgânica particulada (MOP); (2-0,053mm) e <0,053mm, para 4 doses da palha da cana-de-açúcar após 1 ano de condução do experimento na área da BR variaram de 63,2 a 85,1 g kg⁻¹ de C para MOP; 36,3 a 51,4 g kg⁻¹ de C para 2-0,053mm e 7,8 a 13,7 g kg⁻¹ para <0,053mm. Para a área da UV variaram de 81,7 a 125,3 g kg⁻¹ para MOP; 0,9 a 2,2 g kg⁻¹ e 27,9 a 33,2 g kg⁻¹ (Tabelas 11 e 12).

A fração com tamanho <0,053mm, apresentou valores intermediários de teores de C em relação às demais frações avaliadas, independentemente da área e profundidade analisada (Tabelas 11 e 12). Essa fração representou, em média, 60,8 e 61,5% e do conteúdo total de C nas áreas amostradas em BR e UV, respectivamente, para a camada 0-10 cm (Figuras 11 e 12). De modo geral, a fração argila contém a maior parte do conteúdo total do C do solo, com alto grau de decomposição e maior tempo de permanência (VON LUTZOW et al., 2008).

A fração com tamanho entre 2-0,053mm, a qual é constituída basicamente por areia (grossa, média e fina), representou aproximadamente 30,8 e 15,3% do carbono total em BR e UV, respectivamente, para a profundidade de 0-10 cm (Figuras 11 e 12).

Bayer et al. (2006), analisando um Argissolo de textura franco-arenosa, obtiveram que os armazenamentos totais de C na fração 2-0,053mm não atingiam 10%. Maiores valores observados para as amostras de Bom Retiro e Univalem se

devem com maior probabilidade ao método de separação das frações orgânica e mineral adotado por este trabalho, o qual foi estabelecido por separação por flotação em água, divergindo do método clássico de fracionamento físico da MOS, que determina o uso de líquidos com densidade maior que a da água, permitindo uma melhor separação das frações. Dessa forma, uma porção da fração orgânica permaneceu na fração mineral enriquecendo-a com C e superestimando os conteúdos da fração de 2-0,053mm nas áreas avaliadas BR e UV (FREITAS, 2015).

A matéria orgânica particulada (MOP), é prontamente disponível e rapidamente decomposta, representa a fase inicial de humificação e pode estimular a decomposição da (hemi) celulose (VANLAUWE; DENDOOVEN; MERCKX, 1994). Nos locais estudados, essa fração representou aproximadamente 8,4 e 23,2% do carbono total em Bom Retiro e Univalem, respectivamente, na camada 0-10 cm. Essa fração é muito dependente do aporte de C por resíduos vegetais e na quantidade desse material devido a utilização de diferentes sistemas de cultivo, portanto seria de se esperar que houvessem diferenças estatísticas apresentando maiores teores para as maiores quantidades de palha, porém isso não foi encontrado após analises de variâncias e teste de Tukey a 5%.

Tabela 10 - Massa do solo em cada compartimento da MOS das áreas cultivadas BR e UV

Ároa referência	Profundidade	POM	2-0,053 mm	<0,053 mm	Recuperação de massa
Área referência	cm		g solo	seco	
BR	0-10	0,04	14,94	5,04	20,00
BR	0-10	0,19	14,96	4,54	19,69
BR	0-10	0,18	12,14	6,48	18,80
BR	0-10	0,42	14,86	4,66	19,94
BR	0-10	0,72	14,55	4,95	20,00
BR	0-10	0,35	14,39	4,83	19,57
BR	0-10	0,37	14,08	5,45	19,90
BR	0-10	0,23	15,09	4,33	19,65
BR	0-10	0,15	11,77	6,99	18,91
BR	0-10	0,12	14,71	4,86	19,69
BR	0-10	0,31	13,11	6,41	19,83
BR	0-10	0,38	12,44	7,19	20,00
BR	0-10	0,25	12,89	7,2	20,00
BR	0-10	0,53	12,74	6,69	19,96
BR	0-10	0,42	12,61	5,9	18,93
BR	0-10	0,45	12,53	6,51	19,49
UV	0-10	0,40	17,37	2,1	19,87
UV	0-10	0,12	17,34	2,61	20,00
UV	0-10	0,29	17,47	2,27	20,00
UV	0-10	0,22	17,33	2,49	20,00
UV	0-10	0,31	17,56	2,3	20,00
UV	0-10	0,24	17,41	2,34	19,99
UV	0-10	0,32	17,2	2,48	20,00
UV	0-10	0,43	17,4	2,11	19,99
UV	0-10	1,67	16,26	1,85	19,78
UV	0-10	0,31	17,43	2,14	19,88
UV	0-10	0,35	16,56	2,74	19,65
UV	0-10	0,23	16,91	3,01	20,00
UV	0-10	0,11	17,26	2,62	19,99
UV	0-10	0,24	17,1	2,65	19,99
UV	0-10	0,15	17,12	2,52	19,79
UV	0-10	0,21	16,93	2,79	19,93

Tabela 11 - Teor de C nas frações de matéria orgânica particulada (MOP); (2-0,053mm) e <0,053mm, para 4 doses da palha da cana-de-açúcar após 1 ano de condução do experimento na área da Bom Retiro (BR)

	MOP	2-0,053mm	<0,053mm			
Massa de Matéria Seca (Mg ha-1)	0-10 cm					
	g kg ⁻¹					
0	77,6 ns**	37,8	13,6			
3,4	85,1 ns	36,3	11,8			
7,8	63,2 ns	45,7	13,7			
16,6	80,5 ns	51,4	7,8			

Valores de médias (n = 4) em uma linha dentro de um local e profundidade seguido de mesma letra não diferem significativamente de acordo com o teste de Tukey (p<0,05), ** NS, não significativo

Tabela 12 - Teor de C nas frações de matéria orgânica particulada (MOP); (2-0,053mm) e <0,053mm, para 4 doses da palha da cana-de-açúcar após 1 ano de ação para a área da Univalem (UV)

	MOP	2-0,053mm	<0,053mm			
Massa de Matéria Seca (Mg ha ⁻¹)	0-10 cm					
	g kg ⁻¹					
0	92,3 ns**	0,9	27,9			
4,2	125,3 ns	1,1	31,3			
8,7	84,3 ns	1,1	32,5			
18,9	81,7 ns	2,2	33,2			

Valores de médias (n = 4) em uma linha dentro de um local e profundidade seguido de mesma letra não diferem significativamente de acordo com o teste de Tukey (p<0,05), ** NS, não significativo

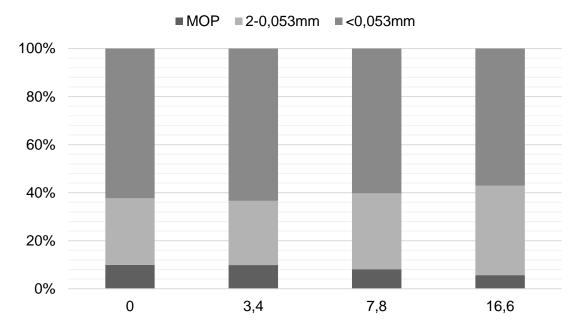


Figura 11 - Contribuição relativa do conteúdo de C no solo (g kg⁻¹) nas frações de matéria orgânica particulada (MOP; FL>0,053mm), (2-0,053mm) e (<0,053mm), para 4 doses da palha da cana-de-açúcar após 1 ano de ação, na usina Bom Retiro

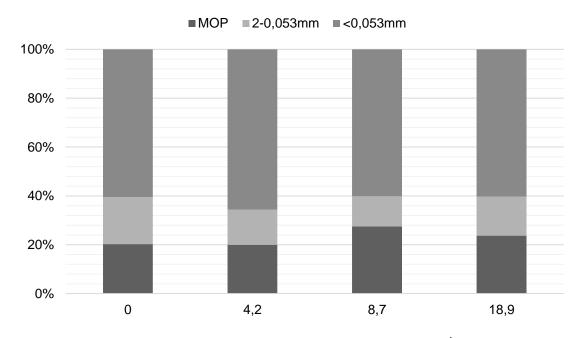


Figura 12 - Contribuição relativa do conteúdo de C no solo (g kg⁻¹) nas frações de matéria orgânica particulada (MOP; FL>0,053mm), (2-0,053mm) e (<0,053mm), para 4 doses da palha da cana-de-açúcar após 1 ano de ação, na usina Univalem

4.2.3 pH

O pH após 1 ano foi analisado em água para duas profundidades, 0-5 e 0-10 cm sendo que para a área BR na profundidade de 0-5 cm variou entre 6,2 a 6,5 com desvio padrão entre 0,1 a 0,5 e na camada de 0-10 cm variou entre 6,2 a 6,6 com desvio padrão entre 0,3 a 0,5; já para a área UV na profundidade de 0-5 cm variou entre 6,6 a 7,0 com desvio padrão entre 0,1 a 0,4 e na camada de 0-10 cm variou entre 6,1 a 6,5 com desvio padrão entre 0,3 a 0,5.

Mudanças de pH do solo após a adição de resíduos de plantas possuem ao menos quatro componentes (liberação de alcalinidade, amonificação de resíduos de nitrogênio, associação/dissociação de compostos orgânicos, nitrificação de resíduos mineralizados de N). A liberação de alcalinidade (decomposição de ânions orgânicos) de resíduos de plantas e processo de liberação de N na amonificação causaram um aumento no pH enquanto a nitrificação de resíduos orgânicos de nitrogênio gera um decaimento do nível de pH. Outro importante papel na mudança do pH é a associação/dissociação de compostos orgânicos, dependendo do valor inicial de pH do solo. A resposta geral do pH do solo após uma adição de resíduos de planta, portanto depende de todos esses processos em dadas circunstâncias (XU; TANG; CHEN, 2006b).

Resultados de Selim et al. (2016) mostraram que o pH foi significativamente superior nas proximidades da superfície do solo no tratamento com queima (pH 6,55), em comparação com o tratamento sem queima (pH 5,94), (t = 3,9, p <0,001). Para todo o perfil, no entanto, o pH médio não foi diferente (7,38 para queima e 7,56 sem queima; t = - 1,7, p = 0,08). O que não pode ser observado em ambas as áreas desse estudo.

As aplicações de palha de cana-de-açúcar não tiveram nenhum efeito significativo sobre o pH, em qualquer quantidade testada. Em estudo avaliando o efeito de palha de cana-de-açúcar ao longo do primeiro ciclo da cultura de cana-de-açúcar, De Aquino et al. (2015) também não observaram efeito significativo da palha sobre o pH.

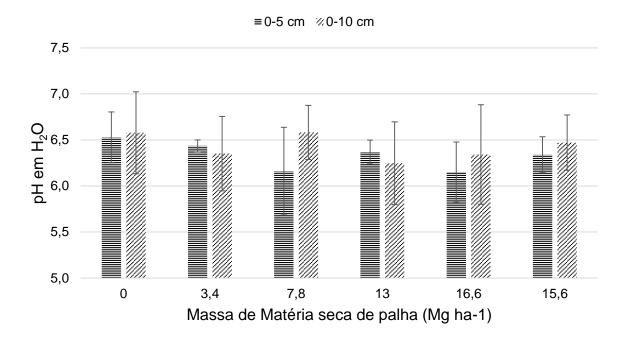


Figura 13 - pH em água do solo de Bom Retiro em duas profundidades (0-5 e 0-10 cm) para 6 doses da palha da cana-de-açúcar após 1 ano de ação, na usina Bom Retiro

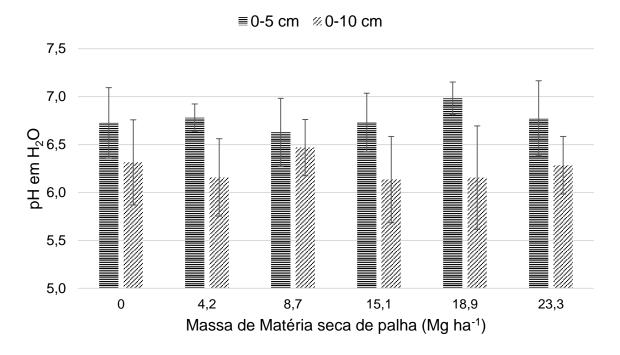


Figura 14 - pH em água do solo da Univalem em duas profundidades (0-5 e 0-10 cm) para 6 doses da palha da cana-de-açúcar após 1 ano de ação, na usina Univalem

4.2.4 Resistencia do solo a penetração (RP)

Inicialmente foram obtidos valores de RP aos 9 meses de deposição de palha no solo da área BR e apresentaram uma faixa no tratamento 0 Mg ha⁻¹ entre 0,25 MPa em 0-10 cm a 1,43 MPa na camada 40-50 cm; tratamento 3,4 Mg ha⁻¹ de palha entre 0,11 Mpa em 0-10 cm a 1,42 MPa em 40-50 cm; 7,8 Mg ha⁻¹ de palha os valores variaram de 0,19 MPa em 0-10 cm a 1,40 MPa em 40-50 cm; 13,0 Mg ha⁻¹ de palha a RP variou de 0,28 MPa em 0-10 cm a 1,61 MPa em 40-50 cm; 16,6 Mg ha⁻¹ de palha proporcionou uma faixa entre 0,21 MPa em 0-10 cm a 1,31 MPa em 40-50 cm; 15,6 Mg ha⁻¹ entre 0,26 MPa em 0-10 cm a 1,31 MPa em 40-50 cm e as a umidades do solo no momento da avaliação de RP estava próximas a capacidade de campo. Todos os valores apresentados na Tabela 13.

Foram construídos gráficos correlacionando a RP aos 9 meses de deposição da palha no solo BR com a densidade desse solo, para cada quantidade de palha estudada. Observando-se que para todas as quantidades de palha pesquisadas essas relações obtiveram valores de r² entre 0,74 a 0,85, indicando uma correlação positiva, onde com o aumento da densidade também se verifica o aumento na resistência a penetração.

De forma similar aos resultados desse estudo, outros autores veem demonstrando correlações positivas entre RP e densidade do solo (BENGOUGH; CAMPBELL; SULLIVAN, 2001; TURGUT; ÖZTAS, 2012). Por outro lado, Chen et al. (2012) não verificaram correlação significativa entre RP e DS e Vaz et al. (2011) verificou que a relação entre a resistência à penetração e densidade aparente não é linear.

Tabela 13 – Valores médios de resistência do solo à penetração de acordo com quantidades de palha em cinco profundidades estudadas

0	3,4	7,8	13,0	16,6	15,6
Mg ha⁻¹	Mg ha⁻¹	Mg ha ⁻¹	Mg ha⁻¹	Mg ha⁻¹	Mg ha ⁻¹
			MPa		
0,25ns	0,25	0,11	0,19	0,21	0,26
0,68ns	0,68	0,32	0,69	0,68	0,65
1,03ns	1,03	0,93	0,99	0,99	0,90
1,21ns	1,21	1,12	1,12	1,04	1,11
1,43ns	1,43	1,42	1,40	1,31	1,31
	Mg ha ⁻¹ 0,25ns 0,68ns 1,03ns 1,21ns	Mg ha ⁻¹ Mg ha ⁻¹ 0,25ns 0,25 0,68ns 0,68 1,03ns 1,03 1,21ns 1,21	Mg ha ⁻¹ Mg ha ⁻¹ Mg ha ⁻¹ 0,25ns 0,25 0,11 0,68ns 0,68 0,32 1,03ns 1,03 0,93 1,21ns 1,21 1,12	Mg ha ⁻¹ Mg ha ⁻¹ Mg ha ⁻¹ Mg ha ⁻¹ 0,25ns 0,25 0,11 0,19 0,68ns 0,68 0,32 0,69 1,03ns 1,03 0,93 0,99 1,21ns 1,12 1,12	Mg ha ⁻¹ <t< td=""></t<>

NS: Na linha avaliada não é significativo no teste de Tukey a 5% (*p*>0,05).

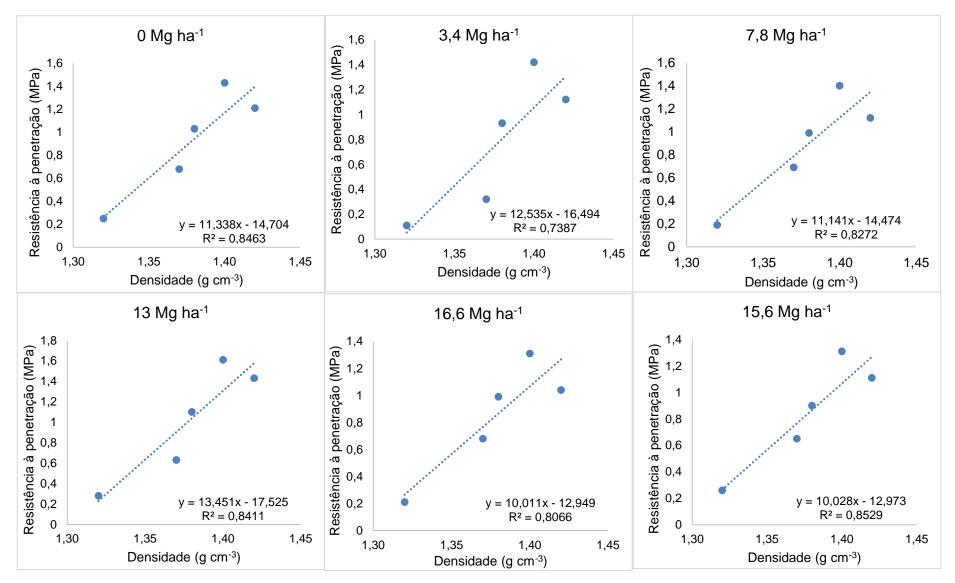


Figura 15 - Correlação entre densidade e resistência do solo à penetração aos 9 meses de deposição da palha

Para a área BR as resistências à penetração do solo (Figura 16) aferidas possuem as seguintes faixas de valores: tratamento 0 Mg ha⁻¹ uma faixa entre 0,97 MPa em 0-10cm a 2,27 MPa na camada 30-40 cm; Com 3,4 Mg ha⁻¹ de palha a RP variou entre 0,73 Mpa em 0-10 cm a 1,88 MPa em 50-60 cm; 7,8 Mg ha⁻¹ de palha os valores variaram de 0,65 MPa em 0-10 cm a 2,13 MPa em 40-50 cm; 13,0 Mg ha⁻¹ de palha a RP variou de 0,60 MPa em 0-10 cm a 2,20 MPa em 40-50 cm; 16,6 Mg ha⁻¹ de palha proporcionou uma faixa entre 0,69 MPa em 0-10 cm a 2,06 MPa em 50-60 cm; 15,6 Mg ha⁻¹ de palha obteve variação entre 0,76 MPa em 0-10 cm a 1,94 MPa em 40-50 cm e as a umidades do solo no momento da avaliação de RP estavam próximas a capacidade de campo.

Ao se avaliar a qualidade física do solo através do parâmetro da resistência do solo à penetração muitos valores são estabelecidos como limitante, 2 MPa estabelecido através de estudo de crescimento radicular (BRADFORD, 1986; OTTO et al., 2011); 3,6 MPa para solos preparados, 4,6 a 5,1 MPa solos sob plantio direto (EHLERS et al., 1983); e 3 MPa para cultivo mínimo com escarificação e, 3,5 MPa em plantio direto em trabalho de Moraes et al. (2014)

No trabalho de Otto et al. (2011) estudaram um solo sob cultivo de cana-de-açúcar buscando quais valores podem ser adotados como limitante, no estudo o estabelecido foi 2 MPa que foi comprovado ao demostrar que o crescimento radicular da cana-de-açúcar não foi afetado até 0,75 MPa mas à partir desse valor até um patamar de 2 MPa houve um decréscimo do crescimento radicular que após atingir o valor crítico foi restringido de forma severa. Esse efeito deve ser mais importante nos primeiros ciclos do cultivo da cana-de-açúcar. Mesma cultura e ciclo avaliados no presente trabalho, dando um indício de que este poderia ser um valor de RP adotado. Considerando também que o solo dessa pesquisa é um Latossolo Vermelho Distrófico típico assim como em BR é outro indício que poderia ser adequado a BR e não necessariamente a UV.

Considerando à quantidade de resíduos deixados sobre o solo no sistema de produção sem queima de cana-de-açúcar seria mais adequado adotar este valor como limitante ao crescimento da raiz. Ainda pode ser considerado que macroporos provenientes de macrofauna, rachaduras e outros tipos de aberturas podem ser o suficiente para a raiz penetrar no solo. Em solos com cultivo mínimo ou períodos maiores sem preparo, como é o caso da cana-de-açúcar que passa de 5 a 6 cortes sem grande revolvimento, garantem que a capilaridade e estes bioporos, rachaduras

ou planos de fraqueza se mantenham intactos e permitam maior crescimento radicular, que podem não ser captados pelos penetrômetros, já que esses, diferente das raízes, seguem um caminho linear pelo solo e não podem acompanhar o mesmo caminho das raízes (EHLERS et al., 1983; BENGOUGH; CAMPBELL; SULLIVAN, 2001). Por isso seria mais adequado a adoção de valores mais altos considerando todo o ciclo. Sendo assim nesta pesquisa a faixa adotada foi 2 MPa a 3,5 MPa, sendo 2 MPa usado para solos textura média a textura argilosa e 3,5 MPa para textura arenosa.

As doses de palha não apresentam uma linha de tendência com correlação negativa onde ao aumentar a quantidade de palha diminuir-se-ia a RP. No solo descoberto (dose 0 Mg ha⁻¹) a resistência à penetração foi maior que todas as doses de palha até os 20 cm de profundidade e essa situação se apresenta para quase todos os tratamentos nas profundidades até 60 cm, com exceção apenas de 16,6 Mg ha⁻¹ ser maior por 0,02 MPa na camada de 20-30 cm. Na camada 50-60 cm a RP é inferior a maioria das quantidades de palha sendo maior apenas que a dose 15,6 Mg ha⁻¹.

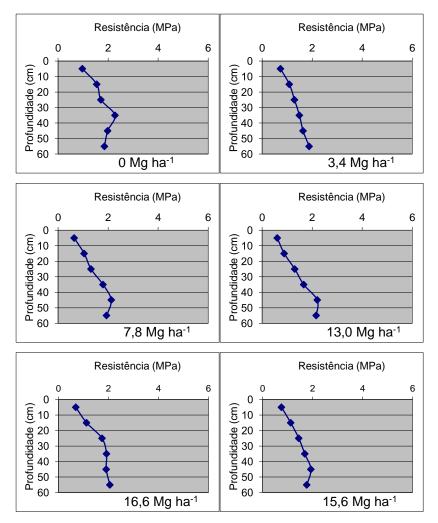


Figura 16 - Resistências à penetração do solo (0 a 60 cm) para as 6 doses de palha de cana-de-açúcar após 1 ano de ação para a usina Bom Retiro

Na área UV o solo apresentou resistência à penetração variando dentro dos seguintes valores: tratamento 0 Mg ha⁻¹ 1,59 MPa em 0-10 cm a 3,99 MPa em 20-30 cm; na dose 4,2 Mg ha⁻¹ 0,88 MPa em 0-10 cm a 3,64 MPa em 30-40 cm; no tratamento 8,7 Mg ha⁻¹ 0,97 MPa em 0-10 cm a 3,16 MPa em 30-40 cm; 15,1 Mg ha⁻¹ 0,97 MPa em 0-10 cm a 2,62 MPa em 10-20 cm; 18,9 Mg ha⁻¹ 0,98 MPa em 0-10 cm a 3,66 em 30-40 cm; 23,3 Mg ha⁻¹ 1,24 MPa em 0-10 cm a 3,24 MPa em 30-40 cm.

Pelo indicador da resistência à penetração o tratamento com 15,1 Mg ha⁻¹ de palha se mostrou o mais eficaz em manter o solo menos compactado e mais favorável ao crescimento radicular na área UV e vai de encontro ao objetivo de remover parte da palha para outros usos como a fabricação de combustíveis (Figura 17).

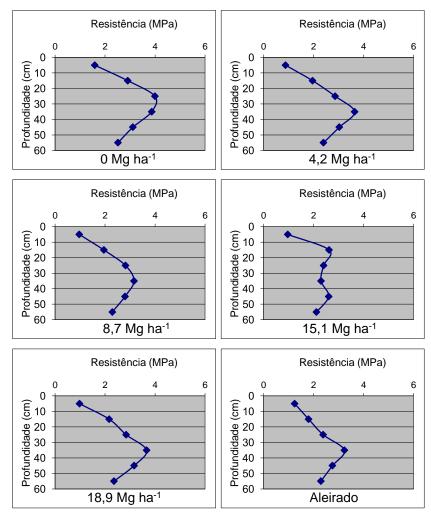


Figura 17 - Resistências à penetração do solo (0 a 60 cm) para as 6 doses de palha de canade-açúcar após 1 ano de ação para a usina Univalem

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização dos solos das áreas demonstrou que esses eram homogêneos e aptos para a instalação do experimento. Além disso, essa avaliação serve como linha de base para comparação em futuros estudos nas mesmas áreas.

No que diz aos atributos químicos dos solos não houve diferenças nos atributos pH, estoques de C e fracionamento físico de matéria orgânica

As avaliações de resistência do solo à penetração demonstraram não haver dose de palha que gerou menor compactação para a área BR e na área UV o tratamento com 15,1 Mg ha⁻¹ de palha se mostrou o mais eficaz em manter o solo menos compactado.

Os dados mostraram que não houve diferença entre os tratamentos, para os atributos avaliados apesar de estes serem potencialmente sensíveis a mudanças do manejo de remoção de quantidades de palha. Desta forma, espera-se que as potenciais alterações físicas e químicas do solo promovidas pela adição de diferentes quantidades de palha, se forem expressas, serão capturadas após um tempo maior de condução do experimento. Portanto, as manutenções de experimentos de longa duração devem ser priorizadas para melhor entender os impactos da remoção dos resíduos culturais da cana-de-açúcar para fins bioenergéticos.

REFERÊNCIAS

- ANAYA, C. A.; HUBER-SANNWALD, E. Long-term soil organic carbon and nitrogen dynamics after conversion of tropical forest to traditional sugarcane agriculture in East Mexico. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 147, p. 20–29, 2015.
- ARALDI, R.; VELINI, E. D.; LARISSA, G.; COTRICK, G.; TROPALDI, L.; CARBONARI, C. A. Performance of herbicides in sugarcane straw. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, p. 2106–2112, 2015.
- ARANHA, C.; YAHN, C. A. Botânica da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. Cana-de-açúcar: Cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 3-18.
- BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N. A. Climatologia e a cana-de-açúcar. In: CURSO INTENSIVO SOBRE CANA-DE-AÇÚCAR, 1981, Araras. Araras: IAA/PLANALSUCAR, 1981. p. 1-22.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil andTillage. Research**, Amsterdam, v. 86, p. 237-245, 2006
- BECHARA, R.; GOMEZ, A.; SAINT-ANTONIN, V.; SCHWEITZER, J.-M.; MARÉCHAL, F. Methodology for the optimal design of na integrated first and second generation ethanol production plant combined with power cogeneration. **Bioresource Technology**, Barking, v. 214, p. 441-449, 2016.
- BENGOUGH, A. G.; CAMPBELL, D. J.; SULLIVAN, M. F. O. Penetrometer techniques in relation to soil compaction and root growth. In: SMITH, K. A.; MULLIN, C. E. (Ed.). **Soil and environmental analysis phisical methods.** 2. ed. New York: Marcel Dekker, 2001. p. 377–403.
- BEZA, S. A.; ASSEN, M. A. Soil carbon and nitrogen changes under a long period of sugarcane monoculture in the semi-arid East African Rift Valley, Ethiopia. **Journal of Arid Environments**, London, v. 132, p. 34-41, 2016.
- BIRD, M. I.; VEENENDAAL, E. M.; MOYO, C.; LLOYD, J.; FROST, P. Effect of fire and soil texture on soil carbon in a sub-humid savanna (Matopos, Zimbawe). **Geoderma**, Amsterdam, v. 94, p. 71-90, 2000.
- BLAINSKI, E.; GONÇALVES, A. C. A.; TORMENA, C. A.; FOLEGATTI, M. V.; GUIMARÃES, R. M. L. Intervalo hídrico ótimo num Nitossolo Vermelho distroférrico irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 273–281, 2009.

- BLAIR, G. J.; CHAPMAN, L.; WHITBREAD, A. M.; BAL-COELHO, B.; LARSEN, P.; TIESSEN, H. Soil carbon changes resulting from trash management at two locations in Queensland, Australia and in Northeast Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 6, n. 4, p. 873-882, 1998.
- BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. Stover removal impacts on micro-scale soil physical properties. **Geoderma**, Amsterdam, v. 145, p. 335-346, 2008.
- BRADFORD, J. M. Penetrability. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v. 1, p. 443-460.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar** (**ZAECana**). Brasília, DF, s.d. Disponível em Acesso em: 28 jul. 2016.
- CAESAR-TONTHAT, T. C. Soil binding properties of mucilage produced by a basidiomycete fungus in a model system. **Mycological Research**, Cambridge, v. 106, n. 8, p. 930–937, 2002.
- CARNEIRO, C. E. A.; FIORETTO, R. A.; FONSECA, I. C. B.; NEVES, C. S. V. J.; CASTRO, A. J. S. Alterações químicas no solo induzidas pela aplicação superficial de palha de cana-de-açúcar, calcário e vinhaça. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 25, n. 4, p. 265-272, 2004.
- CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 277–290, 2010.
- CASTRO, S. G. Q.; FRANCO, H. C. J.; MUTTON, M. A.; Harvest managements and cultural practices in sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 299-306, 2014.
- CERRI, C. C.; GALDOS, M. V.; MAIA, S. M. F.; BERNOUX, M.; FEIGJ, B. J.; POWLSON, D.; CERRI, C. E. P. Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 62, p. 23–28, 2011.
- CHAUDHRY, Q.; BLOM-ZANDSTRA, M.; GUPTA, S. K.; JONER, E. Utilising the synergy between plants and rhizosphere microorganisms to enhance breakdown of organic pollutants in the environment. **Environmental Science and Pollution Research International**, Landsberg, v. 12, n. 1, p. 34-48, 2005.
- CHERUBIM, M. R.; KARLEN, D. L.; FRANCO, A. L. C.; TORMENA, C. A.; CERRI, C. E. P.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Soil physical quality response to sugarcane expansion in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 267, p. 156-168, 2016.

CHICATI, M. L.; NANNI, M. R.; CÉZAR, E. Determinação da variabilidade espacial de alumínio em função da distribuição de argila em solos de Querência do Norte/Paraná, Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1335–1344, 2011.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 52, p. 345-353, 2001.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar**. Primeiro Levantamento - Safra 2016/17, Brasília, DF, v. 3, n. 1, p. 1-66, abril 2016. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_18_14_27_15_boletim_cana_portugues_-_10_lev_-_16.pdf - Acesso em: 16 Maio 2016.

COSTA JUNIOR, C. Estoque de carbono e nitrogênio e agregação do solo sob diferentes sistemas de manejo agrícola no Cerrado, em Rio Verde (GO). 2008. 139 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

DE ABREU, M. L.; SILVA, M. A.; TEODORO, I.; DE HOLANDA, L. A.; NETO, G. D. S. Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 3, p. 262–270, 2013.

DE AQUINO, G. S.; MEDINA, C. C.; BRITO, O. R.; FONSECA, I. C. B. Changes in soil chemical reactions in response to straw sugar cane and vinasse. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 4, p. 2493–2505, 2015.

DE SOUZA, Z. M.; PRADO, R. M.; PAIXÃO, A. C. S.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasilia, DF, v. 40, n. 3, p. 271-278, 2005.

DIAS, M. O. S.; CUNHA, M. P.; JESUS, C. D. F.; ROCHA, G. J. M.; PRADELLA, J. G. C.; ROSSEL, C. E. V.; MACIEL FILHO, R.; BONOMI, A. I. Second generation ethanol in Brazil: Can it compete with electricity production? **Bioresource Technology**, Barking, v. 102, n. 19, p. 8964–8971, 2011.

DOURADO-NETO, D.; TIMM, L. C.; OLIVEIRA, J. C. M.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; TOMINAGA, T. T.; CÁSSARO, F. A. M. State-space approach for the analysis of soil water content and temperature in a sugarcane crop. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1215-1221, 1999.

EHLERS, W.; KÖPKE, U.; HESSE, F.; BÖHM, M. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 3, n. 3, p. 261–275, 1983.

- ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, p. 529-538, 1995.
- EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.
- ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. **Plantio de cana-de-açúcar**. Brasília, DF: Agência Embrapa de Informação Tecnológica, s.d. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_33_711200516717.html>. Acesso em: 12 jul. 2016.
- FREITAS, R. C. A. de. Estoques de carbono e nitrogênio do solo e fluxo de gases do efeito estufa em solos cultivados com pinhão manso (Jatropha spp.). 2015. Tese (Doutorado em Ciências) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.
- GALDOS, M. V.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 153, n. 3-4, p. 347–352, 2009.
- GERHARDT, K. E.; HUANG, X. D.; GLICK, B. R.; GREENBERG, B. M. Phytoremediation and rhizoremediation of organic soil contaminants: Potential and challenges. **Plant Science**, Shannon, v. 176, n. 1, p. 20-30, 2009.
- GRAHAM, M. H.; HAYNES, R. J.; MEYER, J. H. Changes in soil chemistry and aggregate stability induced by fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 53, p. 589-598, 2002.
- GRAYSTON, S. J.; VAUGHAN, D.; JONES, D. Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with annual plants: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 5, n. 1, p. 29-56, 1997.
- GOLDEMBERG, J. Ethanol for a sustainable energy future. **Science**, Washington, DC, v. 315, n. 5813, p. 808–810, 2007.
- GOLDEMBERG, J.; MELLO, F. F. C.; CERRI, C. E. P.; DAVIES, C. A.; CERRI, C.C. Meeting the global demand for biofuels in 2021 through sustainable land use change policy. **Energy Policy**, Guildford, v. 69, p. 14-18, 2014.
- GUPTA, A.; VERMA, J. P. Sustainable bio-ethanol production from agro-residues: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 41, p. 550–567, 2015.
- HERRICK, J. E.; JONES, T. L. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 66, p. 1320-1324, 2002.

- IRVINE, J. E. Relations of photosynthetic rates and leaf and canopy characters to sugarcane yield. **Crop Science**, Madison, v. 15, p. 671-676, 1980.
- ISAS, M.; PÉREZ, M. L. P.; SALVATORE, A.; GASTAMINZA, G; WILLINK, E; WHITE, W. Impacts of crop residue on damage by sugarcane pests during the tillering phase in Argentina. **Florida Entomologist**, Gainesville, v. 99, n. 1, p. 1–5, 2016.
- KUMAR, K.; GOH, K. M. Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield and nitrogen recovery. **Advances in Agronomy**, New York, v. 68, p. 197–319, 2000.
- LAPOLA, D. M.; SCHALDACH, R.; ALCAMO, J.; BONDEAU, A.; KOCH, J.; KOELKING, C.; PRIESS, J. A. Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, Washington, DC, v. 107, n. 8, p. 3388-3393, 2010.
- LA SCALA JUNIOR, N.; DE FIGUEIREDO, E. B.; PANOSSO, A. R. A review on soil carbon accumulation due to the management change of major Brazilian agricultural activities. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 72, n. 3, p. 775-785, 2012.
- LEAL, M. R. L. V.; GALDOS, M. V.; SCARPARE, F. V.; SEABRA, J. E. A.; WALTER, A.; OLIVEIRA, C. O. F. Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: A literature review. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdam, v. 53, p. 11–19, 2013.
- LOMBARDI, G. M. R.; GIROTO, V. S.; LOMBARDI, N. M. R.; PERES, M. M.; DOS ANJOS E SILVA, S. D.; ALVES, C. E. S.; ABILIO, R. S. Uso da palha de cana de açúcar como fonte de bioenergia versus a sua contribuição nutricional quando mantida no solo. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 7., 2012, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2012. p. 3–8.
- MACHADO, P. L. O. de A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.
- MELLO, F. F. de C. Estoques de carbono do solo na mudança de uso da terra para o cultivo de cana-de-açúcar na região Centro Sul do Brasil. 2012. Tese (Doutorado em Ciências) Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- MELLO, F. F. C.; CERRI, C. E. P.; DAVIES, C. A.; HOLBROOK, N. M.; PAUSTIAN, K.; MAIA, S. M. F.; GALDOS, M. V.; BERNOUX, M.; CERRI, C. C. Payback time for soil carbon and sugarcane ethanol. **Nature Climate Change**, London, v. 4, p. 605-609, 2014.

- MISHRA, U., LAL, R.; SLATER, B.; CALHOUN, F.; LIU, D.; VAN MEIRVENNE, M. Predicting Soil Organic Carbon Stock Using Profile Depth Distribution Functions and Ordinary Kriging. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 73, n. 2, p. 614, 2009.
- MORAES, M. T. de; DEBIASE, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. Critical limits of soil penetration resistance in a rhodic Eutrudox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 288–298, 2014.
- MTHIMKHULU, S.; PODWOJEWSKI, P.; HUGHES, J.; TITSHALL, L.; VANANTWERPEN, R. The effect of 72 years of sugarcane residues and fertilizer management on soil physico-chemical properties. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 225, p. 54–61, 2016.
- MU, X.; ZHAO, Y.; LIU, K.; JI, B.; GUO, H.; XUE, Z.; LI, C. Responses of soil properties, root growth and crop yield to tillage and crop residue management in a wheat—maize cropping system on the North China Plain. **European Journal of Agronomy**, Montrouge Cedex, v. 78, p. 32-43, 2016.
- NAIME, J. M.; FERRAZINI JUNIOR, J.; RABELO, L. M.; VAZ, C. M. P. **Penetrômetro dinâmico automatizado** Versão eletrônica. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2006. (Comunicado Técnico, 79).
- NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Part 3. Chemical methods. Madison: SSSA, ASA, 1996. p. 961-1010.
- NOGUEIRA, L. A. H. **Bioetanol de cana de açúcar**: energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES, 2008. 316 p.
- NOVACANA. Brasil possui 112 variedades de cana protegidas, controladas por 12 instituições. Curitiba, 2016. Disponível em: http://www.novacana.com/n/cana/variedades/brasil-112-variedades-cana-protegidas-controladas-12-instituicoes-150616/. Acesso em: 29 jun. 2016.
- OLIVEIRA, D. M. S.; PAUSTIAN, K.; DAVIES, C. A.; CHERUBIN, M. R.; FRANCO, A. L. C.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Soil carbon changes in areas undergoing expansion of sugarcane into pastures in south-central Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 228, p. 38–48, 2016.
- OTTO, R.; CASTRO, S. A. Q.; MARIANO, E.; CASTRO, S. G. Q.; FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O. Nitrogen use efficiency for sugarcane-biofuel production: what is next? **BioEnergy Research**, New York, v. 9, p. 1-18, 2016.
- OTTO, R.; SILVA, A. P.; FRANCO, H. C. J.; OLIVEIRA, E. C. A.; TRIVELIN, P. C. O. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 117, p. 201–210, 2011.

- PEREIRA, S. C.; MAEHARA, L.; MACHADO, C. M. M.; FARINAS, C. S. Physical-chemical-morphological characterization of the whole sugarcane lignocellulosic biomass used for 2G ethanol production by spectroscopy and microscopy techniques. **Renewable Energy**, Oxford, v. 87, p. 607–617, 2016.
- PILLON-SMITS, E. Phytoremediation. Plant Biology, New York, v. 56, p. 15-39, 2005.
- RAIJ, B van. A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. **Bragantia**, Campinas, v. 28, p. 85-112, 1969.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química** para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 285 p.
- REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REIEHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1805–1816, 2008.
- ROBERTSON, F.; NASH, D. Limited potential for soil carbono accumulation using current cropping in Victoria, Australia. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 165, p. 130-140, 2013.
- ROSIM, D. C.; DE MARIA, I. C.; SILVA, R. L.; SILVA, A. P. Compactação de um Latossolo Vermelho distroférrico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p. 502-508, 2013.
- ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura do solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 355-362, 2003.
- RUAN, H. X.; AHUJA, L. R.; GREEN, T. R.; BENJAMIN, J. G. Residue cover and surface-sealing effects on infiltration: numerical simulations for field applications. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, p. 853–861, 2001.
- SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açucar para produção de etanol. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 5, p. 1004–1010, 2012.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.
- SAKALA, G. M.; ROWELL, D. L.; PILBEAM, C. J. Acid-base reactions between an acidic soil and plant residues. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, p. 219-232, 2004.

- SCHULTZ, N.; LIMA, E.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E. Efeito residual da adubação na cana-planta e da adubação nitrogenada e potássica da cana-soca.colhidas com e sem a queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 811–820, 2010.
- SELIM, H. M.; NEWMAN, A.; ZHANG, L.; ARCENEAUX, A.; TUBAÑA, B.; GASTON, L. A. Distrinbuitions of organic carbon and related parameters in a Lousiana sugarcane soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 155, p. 401-411, 2016.
- SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; CURI, N.; DIAS JUNIOR, M. S.; Potencial de uso e qualidade estrutural de dois solos cultivados com cana-de-açúcar em Goianésia (GO). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 159–168, 2009.
- SILVA, M. D. A.; ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. de L.; GAVA, G. J. C.; KOLLN, O. T. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, p. 241–249, 2014.
- SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1013–1020, 2003.
- SOCIEDADE NACIONAL DA AGRICULTURA. **Setor sucroenergético movimenta R\$ 70 bilhões em 2014**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: http://sna.agr.br/setor-sucroenergetico-movimenta-r-70-bilhoes-em-2014/. Acesso em: 20 jul. 2016.
- SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 12. ed. Washington, DC: USDA Natural Resources Conservation Service, 2014. 360 p.
- SOUZA, R. A.; TELLES, T. S.; MACHADO, W.; HUNGRIA, M.; FILHO, J. T.; GUIMARÃES, M. F. Effects of sugarcane harvesting with burning on the chemical and microbiological properties of the soil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 155, p. 1–6, 2012.
- SOUZA, Z. M. de; PRADO, R. de M.; PAIXÃO, A. C. S.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 3, p. 271-278, 2005.
- STOLF, R.; Murakami, J. H.; Brugnaro, C.; Silva, L. G.; Silva, L. C. F. da; Margarido, L. A. C. Penetrômetro de impacto stolf programa computacional de dados em EXCEL-VBA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 774-782, 2014.
- TARTARI, D. T.; NUNES, M. C. M.; SANTOS, F. A. S.; JUNIOR, C. A. F., SERAFIM, M. E. Perda de solo e água por erosão hídrica em Argissolo sob diferentes densidades de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Pelotas, v. 7, n. 3, p. 85–93, 2012.

- TOMAZ, H. V. Q. Sistema de preparo profundo do solo e sua influência no desenvolvimento da cana-de-açúcar. 2013. Tese (Doutorado em Ciências) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.
- TOMINAGA, T. T.; CÁSSARO, F. A. M.; BACCHI, O. O. S.; REICHARDT, K.; OLIVEIRA, J. C. M.; TIMM, L. C. Variability of soil water content and bulk density in a sugarcane field. **Soil Research**, Clayton South, v. 40, n. 4, p. 604-614, 2002.
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, p. 333-339, 1996.
- TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 50, n. 4, p. 795-801, 2002.
- TURGUT, B.; ÖZTAS, T. Spatial variation in some soil properties influencing penetration resistance. **Journal of Agricultural Science**, London, v. 18, n. 2, p. 115-125, 2012.
- UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR UNICA. Setor sucroenergético apresenta resultados positivos na geração de empregos no mês de março. São Paulo, 2016. Disponível em: http://www.unica.com.br/noticia/29063662920315624493/setor-sucroenergetico-apresenta-resultados-positivos-na-geracao-de-emprego-no-mes-de-marco/. Acesso em: 20 jul. 2016.
- VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; FILHO, M. C. M. T. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 237–242, 2011.
- VANLAUWE, B.; DENDOOVEN, L.; MERCKX, R. Residue fractionation and decomposition: The significance of the active fraction. **Plant and Soil**, The Hague, v. 158, n.1, 263-274, 1994.
- VAZ, C. M. P.; MANIERI, J. M.; MARIA, I. C.; TULLER, M. Modeling and correction of soil penetration resistance for varying soil water content. **Geoderma**, Amsterdam, v. 166, p. 92-101, 2011.
- VILLAMIL, M. B.; LITTLE, J.; NAFZIGER, E. D. Corn residue, tillage, and nitrogen rate effects on soil properties. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam v. 151, p. 61-66, 2015.
- VON LUTZOW, M.; KOGEL-KNABNER, I.; LUDWIG, B.; MATZNER, E.; FLESSA, H.; EKSCHMITT, K.; GUGGENBERGER, G.; MARSCHNER, B.; KALBITZ, K. Stabilization mechanisms of organic matter in four temperate soils: development and application of a conceptual model. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 171, p. 111–124, 2008.

- WINAGRASKI, E.; ABRÃO, S. F.; WOICIECHOWSKI, T.; BOBROWSKI, R.; REISSMANN, C. Distribuição espacial do pH, alumínio, cálcio e magnésio no solo em área de ajardinamento urbano em Curitiba, PR. In: CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE, 4., 2012, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Malinoviski Florestal, 2012.
- XU, J. M.; TANG, C.; CHEN, Z. L. Chemical composition controls residue decomposition in soils differing in initial pH. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 38, n. 3, p. 544–552, 2006a.
- XU, J. M.; TANG, C.; CHEN, Z. L. The role of plant residues in pH change of acid soils differing in initial pH. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 38, n. 4, p. 709–719, 2006b.
- YUAN, C.; MOSLEY, L. M.; FITZPATRICK, R.; MARSCHENER, P. Organic matter addition can prevent acidification during oxidation of sandy hypersulfidic and hyposulfidic material: Effect of application form, rate and C/N ratio. **Geoderma**, Amsterdam, v. 276, p. 26–32, 2016.