**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Dinâmica da temperatura e umidade do solo sob diferentes quantidades de
palha de cana-de-açúcar em decomposição**

Arthur Klebson Belarmino dos Santos

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas

**Piracicaba
2017**

Arthur Klebson Belarmino dos Santos
Engenheiro Agrônomo

**Dinâmica da temperatura e umidade do solo sob diferentes quantidades de palha
de cana-de-açúcar em decomposição**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **CARLOS EDUARDO PELLEGRINO CERRI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas

Piracicaba
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Santos, Arthur Klebson Belarmino dos

Dinâmica da temperatura e umidade do solo sob diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar em decomposição / Arthur Klebson Belarmino dos Santos.
- - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2017.

69 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Doses de palha de cana-de-açúcar 2. Água no solo 3. Amplitude térmica 4. Matéria seca remanescente I. Título

Ao meu avô,

Manoel Belarmino (*in memoriam*), por ter sido um dos meus grandes incentivadores e o maior exemplo de ser humano que eu poderia ter na vida.

Aos meus pais,

Amaro e Quitéria, por toda paciência, dedicação, confiança e amor depositados em mim, acreditando sempre em casa passo que dei até aqui.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por seu amor incorruptível e incomparável.

À Universidade de São Paulo, pela oportunidade de ensino e aprendizagem, que me possibilitou um grande crescimento pessoal e profissional.

Ao Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (CENA/USP), por todo suporte oferecido.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao BNDES e a Raízen por terem fomentado este projeto e ao apoio da empresa Delta CO₂ na condução dos experimentos.

Ao meu orientador Dr^a. Carlos Eduardo Pellegrino Cerri, que esteve sempre disposto a me ajudar. Agradeço sua paciência e dedicação.

Aos Professores Dr. Carlos Clemente Cerri (*in memoriam*) e Dr^a Brigitte Josefine Feigl, pela acolhida em minha chegada a Piracicaba e que contrubuíram para que eu chegasse até aqui.

Aos Professores Drs. Gildemberg Amorim Leal Júnior e Júlio Alves Cardoso Filho, por terem despertado em mim há muito tempo o interesse pela ciência e a carreira acadêmica.

Às Pesquisadoras Dr^a Tâmara Cláudia de Araújo Gomes e Dr^a Walane Pereira de Mello Ivo, por toda amizade e conselhos para que eu pudesse chegar até aqui.

Aos meus grandes amigos (família que escolhi): Ana Paula, Camilo, Geovanny, Gustavo, Lígia, Maria Regina, Paul, Yane.

Aos pós-doutorandos Marcos Siqueira Neto e Maurício Cherubin, por toda colaboração, ideias, incentivo e companheirismo.

Aos técnicos do LBA Dagmar, Lilian, Margato, Ralf e Sandra por todo apoio na coleta, preparo e análise das amostras no laboratório.

Ao secretário Zezinho pela amizade e por todas as risadas que alegraram os dias que estive no laboratório.

Aos companheiros do grupo de pesquisa SISPALHA: Henrique, Izaias, Laísa, Letícia, Lucas, Maristela e Silvia pela colaboração em algumas etapas do meu projeto e principalmente pela amizade que me foi fundamental.

Enfim, a todos aqueles que, de alguma forma, colaboraram para a realização deste trabalho, o meu sincero reconhecimento e a minha eterna gratidão.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

Madre Teresa de Calcutá

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	10
1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1. INFLUÊNCIA DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR NA UMIDADE DO SOLO	15
2.2. INFLUÊNCIA DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR NA TEMPERATURA DO SOLO	18
2.3. DECOMPOSIÇÃO DA PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1. EXPERIMENTOS DE CAMPO	25
3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	28
3.3. COLETA DE SOLO E DETERMINAÇÃO DA UMIDADE	29
3.4. DINÂMICA DA TEMPERATURA DO SOLO	30
3.5. DECOMPOSIÇÃO DA PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR	31
3.6. ANÁLISE DOS DADOS	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1. INFLUÊNCIA DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR NA UMIDADE DO SOLO	35
4.2. INFLUÊNCIA DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR NA TEMPERATURA DO SOLO	43
4.3. DECOMPOSIÇÃO DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR	50
5. CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS	59

RESUMO

Dinâmica da temperatura e umidade do solo sob diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar em decomposição

A manutenção da palha de cana-de-açúcar sobre a superfície do solo promove diversos benefícios à qualidade do solo, como a redução das altas temperaturas e a manutenção da umidade do solo. Com base nisso, os objetivos deste trabalho consistiram em avaliar o impacto da palha de cana-de-açúcar na dinâmica da umidade e da temperatura do solo em situações edáficas distintas em três regiões do Estado de São Paulo e verificar a influência da temperatura e umidade do solo na decomposição de diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar. O estudo foi conduzido nos municípios de Igarapu do Tietê, Piracicaba e Dois Córregos (solo muito argiloso, textura média e arenoso, respectivamente) com delineamento experimental de blocos ao acaso. As quantidades de palha utilizadas foram: 0; 2; 3,2; e 7,5 Mg ha⁻¹ (Igarapu do Tietê) e 0; 3; 6; e 12 Mg ha⁻¹ (Piracicaba e Dois Córregos). Para a determinação da umidade do solo foram realizadas coletas periódicas de amostras indeformadas de solo nas linhas de plantio (0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm de profundidade) e analisadas através do método da pesagem. A avaliação da temperatura do solo foi feita por sensores termopares inseridos no solo a 0-5 e 5-10 cm de profundidade. Na análise da decomposição da palha utilizaram-se caixas plásticas onde as diferentes quantidades de palha foram mantidas. Cinco coletas de palha (30, 60, 120 e 180 e 360 dias após a implantação do experimento) foram realizadas para quantificar a perda de massa. Os resultados demonstraram que em relação ao solo descoberto, os tratamentos com diferentes quantidades de palha interferiram significativamente ($p \leq 0,05$) na manutenção da umidade do solo, principalmente entre 7 e 30 dias após o corte nas camadas de 0-20 e 20-40 cm. A temperatura média, máxima e amplitude térmica do solo foram as variáveis que apresentaram as maiores diferenças entre o solo descoberto e o solo com diferentes quantidades de palha, com um comportamento semelhante nas duas profundidades avaliadas. A temperatura mínima foi a variável que menos sofreu efeito dos tratamentos. Em geral, quando foram mantidas quantidades maiores de palha sobre a superfície do solo verificou-se maior umidade e menor a amplitude térmica do solo. A textura do solo afetou a dinâmica da água do solo, onde a manutenção da palha sobre solo arenoso manteve maior a umidade em todas as camadas avaliadas em comparação aos solos de textura mais argilosa que apresentaram diferenças apenas na fase inicial de crescimento da cultura. Diferentes quantidades de palha mantidas sobre o solo pouco alteraram a matéria seca remanescente de palha nas em Piracicaba e Dois Córregos, enquanto em Igarapu do Tietê o processo foi diretamente proporcional a quantidade de palha mantida na superfície do solo. Os resultados demonstram a importância da adoção de práticas conservacionistas de manejo como a manutenção de parte da palha, de modo que concilie a produção de etanol de segunda geração (2G) e evite eventuais problemas com déficit hídrico, temperaturas extremas e consequentes implicações negativas às plantas.

Palavras-chave: Doses de palha de cana-de-açúcar; Água no solo; Amplitude térmica; Matéria seca remanescente

ABSTRACT

Soil temperature and moisture dynamics under different amounts of decomposing sugarcane straw

The sugarcane straw maintenance on soil surface promotes several benefits to soil quality, such as reduction of extreme temperatures and preservation of soil moisture. Based on this, the objective of this study was to evaluate the sugarcane straw removal effects on the soil moisture and temperature dynamics in three regions of São Paulo State, as well as verify the influence of soil temperature and moisture on the sugarcane straw decomposition. The study was conducted in the municipalities of Igaraçu do Tietê, Piracicaba and Dois Córregos (clay soil, medium texture and sandy soil, respectively), under a randomized block experimental design. The amounts of straw were: 0; 2; 3.2; and 7.5 Mg ha⁻¹ (Igaraçu do Tietê) and 0; 3; 6; and 12 Mg ha⁻¹ (Piracicaba e Dois Córregos). Undisturbed soil samples were periodically collected within the crop planting line at the 0-20, 20-40, 40-60 and 60-80 cm depths, and the soil moisture was quantified using the weighing method. The soil temperature was measured every hour by thermocouple sensors inserted at 0-5 and 5-10 cm soil depths. In the straw decomposition analysis, plastic boxes were used to keep the different amounts of straw over time. Five destructive sampling were performed (30, 60, 120 and 180 and 360 days after the experiment implantation) to quantify dry mass losses. The results showed that, in relation to the uncovered soil, the treatments with different amounts of straw preserved higher soil moisture ($p \leq 0,05$), especially, between 7 and 30 days in the 0-20 and 20-40 cm soil depths. The average temperature, maximum and thermal amplitude of the soil were the variables that presented the greatest differences between the uncovered soil and the soil with different amounts of straw, with a similar pattern for both depths evaluated. The minimum temperature was less effected by the treatments. Overall, the larger the straw amount left on soil surface the higher the soil moisture and lower the soil thermal amplitude. Soil texture affected soil water dynamics, where straw maintenance on sandy soil kept moisture at all depths compared to clayey soils that showed differences only in the initial growth stage of the crop. Different amounts of straw left on the soil surface slightly altered the remaining dry matter in Piracicaba e Dois Córregos, while in Igaraçu do Tietê the process was inversely proportional to the amount of straw left on the soil surface. The results showed the importance of the adoption of conservationist management practices such as the straw maintenance, so that part can be destined for the production of second generation ethanol (2G) and another part can be maintained in the field to avoid possible problems with water deficit, extreme temperatures and consequent negative implications to plants.

Keywords: Sugarcane straw doses; Water in soil; Thermal amplitude; Remaining dry mass

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização geográfica das áreas de estudo.	25
Figura 2. Temperatura média e precipitação durante o período de condução dos experimentos. (a) Outubro de 2015 a novembro de 2016. Igarau do Tietê, SP; (b) Dezembro de 2015 a Setembro de 2016. Piracicaba, SP; e (c) Junho de 2016 a Abril de 2017. Dois Córregos, SP.	27
Figura 3. Modelo da parcela utilizada na condução dos experimentos. As linhas pontilhadas representam as linhas de cana-de-açúcar utilizadas como bordadura, enquanto as dez linhas centrais apresentam os pontos demarcados dentro da parcela, sendo os pontos de avaliação da umidade do solo os que estão em vermelho.	30
Figura 4. Distribuição dos sensores dentro da caixa a 0-5 e 5-10 cm de profundidade sobre diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar.	31
Figura 5. Tempos de coleta de palha e disposição das caixas de decomposição da palha nas faixas de plantio. .	32
Figura 6. Processo de retirada de impurezas da palha. (a) Limpeza inicial das amostras de palha de cana-de-açúcar em decomposição; (b) Mufla utilizada para retirada final das impurezas.	33
Figura 7. Umidade do solo (%) em diferentes profundidades com a manutenção de diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar aos (a) 30, (b) 120 e (c) 240 DAC. Letras diferentes dentro das colunas representam diferença estatística na umidade do solo entre os tratamentos numa mesma profundidade pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Barras acima das colunas representam o erro padrão. Igarau do Tietê, SP.	35
Figura 8. Relação de diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar mantidas na superfície do solo e a umidade do solo (%) nas profundidades 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm. Piracicaba, SP.	36
Figura 9. Relação de diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar mantidas na superfície do solo e a umidade do solo (%) nas profundidades 0-20 e 20-40 cm. Piracicaba, SP.	37
Figura 10. Relação de diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar mantidas na superfície do solo e a umidade do solo (%) nas profundidades 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm. Dois Córregos, SP.	38
Figura 11. Perfil de umidade do solo na profundidade de 0-80 cm com a manutenção de diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar depositadas na superfície do solo, 30 e 150 DAC em Igarau do Tietê, SP (a, b) e em Dois Córregos, SP (c, d). Barras representam o erro padrão.	41
Figura 12. Variação da temperatura a 0-5 e 5-10 cm de profundidade sobre diferentes quantidades de palha mantidas na superfície do solo após (a) 30, (b) 120 e (c) 240 DAC. Letras diferentes dentro das colunas representam diferença estatística da temperatura média entre os tratamentos pelo teste de Tukey ($<0,05$). Barras acima das colunas representam o erro padrão. Igarau do Tietê, SP.	43
Figura 13. Temperatura máxima, mínima, média e amplitude térmica do solo nas profundidades (a) 0-5 e (b) 5-10 cm em relação a diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar mantidas na superfície do solo na área de Igarau do Tietê, SP.	44
Figura 14. Temperatura máxima, mínima, média e amplitude térmica do solo nas profundidades (a) 0-5 e (b) 5-10 cm em relação a diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar mantidas na superfície do solo na área de Piracicaba, SP.	45
Figura 15. Temperatura máxima, mínima, média e amplitude térmica do solo nas profundidades (a) 0-5 e (b) 5-10 cm em relação a diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar mantidas na superfície do solo na área de Dois Córregos, SP.	46
Figura 16. Temperatura horária do solo nas profundidades (a) 0-5 e (b) 5-10 cm em relação a diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar depositadas sobre a superfície do solo na área de Igarau do Tietê, SP.	49
Figura 17. Dinâmica da decomposição da palha da cana-de-açúcar após um ciclo de produção da cultura. (a) Usina da Barra- Igarau do Tietê, SP; (b) Centro de Tecnologia Canavieira- Piracicaba, SP; e após metade de 1 ciclo de produção (c) Usina Dois Córregos- Dois Córregos, SP.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Níveis de palha deixada sobre a superfície do solo nas áreas de estudo.	28
Tabela 2. Quantidade média de palha remanescente nas três áreas de estudo ao longo dos tempos de coleta.	54
Tabela 3. Constante de decomposição (k) e tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) para as três áreas de estudo.	54
Tabela 4. Relação da matéria seca remanescente (MSR) da palha de cana-de-açúcar com a temperatura e a umidade do solo.	55

1. INTRODUÇÃO

O aumento do consumo global de combustíveis fósseis é uma das maiores preocupações ambientais dos últimos tempos, uma vez que são gerados uma grande quantidade de gases de efeito estufa (GEE), extremamente nocivos para a qualidade e ao equilíbrio do meio ambiente devido às implicações diretas nas mudanças climáticas (CERRI et al., 2007). Com o aumento dos problemas ambientais causados pelos GEE, a redução das reservas mundiais de combustíveis fósseis, além da necessidade de expansão da matriz energética, a busca por fontes alternativas de energia tem aumentado significativamente (IPCC, 2007). Nesse cenário, o Brasil se destaca como um dos principais produtores e exportadores de bioenergia, especialmente derivada de cana-de-açúcar.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, tendo o Estado de São Paulo como o maior produtor nacional. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2017), a área total cultivada com cana expandiu consideravelmente nos últimos 10 anos, partindo de 5,8 milhões de hectares na safra 2005/2006 para mais de 9 milhões de hectares em 2016/2017. Entretanto, apesar deste importante aumento na produção dessa última década, a demanda de biocombustíveis e energia elétrica segue crescendo, instigando o setor à investir na busca de novas alternativas para aumentar a produtividade do sistema de produção.

Nesse sentido, o aproveitamento dos resíduos culturais da cana-de-açúcar que permanece no campo após a colheita possui um enorme potencial para geração de eletricidade e etanol de segunda geração (2G) (DIAS et al., 2009; LEAL et al., 2013; NUNES et al., 2013). Com a colheita mecanizada da cana-de-açúcar, cerca de 10 a 30 Mg ha⁻¹ de matéria seca permanecem sobre a superfície do solo (TRIVELIN et al., 1996) formando uma cobertura de 10 a 15 cm de espessura (URQUIAGA et al., 1991).

Em geral, a manutenção de resíduos culturais sobre a superfície ou incorporados ao solo, tem trazido diversos benefícios para a manutenção da qualidade do solo. A manutenção dos resíduos sobre a superfície do solo protege-o da radiação solar, dissipa a energia de impacto das gotas de chuva, aumenta a rugosidade superficial e, consequentemente, melhora a infiltração, evita a formação de crosta, reduz a evaporação da água e aumenta a eficiência da ciclagem dos nutrientes, além de diminuir significativamente a infestação de plantas daninhas (MATEUS et al., 2004; WILHELM et al., 2004; CARVALHO et al., 2016; CHERUBIN et al., 2017).

Alguns estudos têm sido realizados com o objetivo de compreender melhor a importância e a quantidade ideal de resíduos culturais a serem mantidos no solo para melhorar

o armazenamento de água do solo (DOURADO-NETO et al.; 1999; ALMEIDA, 2011; RESENDE et al., 2005; PERES et al., 2010).

O fornecimento adequado de água é essencial para que haja um bom desenvolvimento da cana-de-açúcar no campo, tendo em vista que dependendo da fase em que ocorre, a deficiência hídrica provoca danos severos ao crescimento vegetativo. Neste sentido, o uso de resíduos culturais na superfície do solo é de grande importância, pois pode aumentar consideravelmente o armazenamento de água no solo e, conseqüentemente reduzir a amplitude térmica do solo (GASPARIN et al., 2005).

A utilização desses resíduos como estratégia de manutenção da energia térmica do solo também tem se mostrado uma excelente prática nos sistemas agrícolas (SALTON; MIELNICZUCK, 1995; CHABAT, 2010; ANJOS, 2014). Desse modo, há uma suavização da curva de temperatura diária, diminuindo a temperatura máxima e elevando a temperatura mínima do solo (STRECK et al., 1994). De acordo com Timm (2002), a temperatura média do solo pode sofrer uma redução de cerca de 8°C até profundidade de 6 cm em função da manutenção da palha de cana-de-açúcar.

Os resíduos atuam no solo como um isolante térmico que auxilia na reflexão da energia solar, fazendo com que a temperatura do solo não apresente valores muito elevados na superfície em regiões tropicais e subtropicais (DERPESCH et al., 1985). Vale ressaltar que essa redução de temperatura é dependente de fatores como quantidade de radiação emitida, textura, estrutura e umidade do solo. Segundo Hillel (1998), os elementos que mais afetam o regime térmico e no fluxo de calor do solo são os fatores meteorológicos, localização geográfica, declividade, cobertura vegetal, chuva e a ação antrópica.

A temperatura e a umidade do solo são fatores chaves para o adequado desenvolvimento da cana-de-açúcar, além de serem preponderantes na dinâmica de comunidades microbianas, que são responsáveis pelo processo de decomposição da palha da cana-de-açúcar, atuando no controle da atividade microbiana e na degradação dos compostos bioquímicos que fazem parte dos tecidos vegetais desses resíduos (SZAKÁCS, 2007; BENEDETTI, 2014).

Pesquisas que avaliam a influência de diferentes quantidades de palha da cana-de-açúcar sobre a dinâmica da água e da temperatura ainda são escassas devido ao recente interesse pelo manejo dos resíduos para fins energéticos. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivos:

i) Avaliar o impacto da palha de cana-de-açúcar na dinâmica da temperatura e da umidade em situações edáficas distintas em três regiões do Estado de São Paulo;

ii) Verificar a influência da temperatura e umidade do solo na decomposição de diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar.

As hipóteses testadas foram:

i) A palha de cana-de-açúcar atua como uma barreira física que auxilia na redução das temperaturas máximas diárias do solo e, conseqüentemente, preserva maior umidade no solo;

ii) A textura do solo afeta a dinâmica da água e da temperatura do solo, sendo que solos arenosos conduzem mais calor e armazenam menos água do que solos de textura argilosa;

iii) A manutenção de maiores quantidades de palha de cana-de-açúcar sobre o solo condiciona um microclima favorável, aumentando a taxa de decomposição desta palha.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Influência da palha de cana-de-açúcar na umidade do solo

Os resíduos culturais atuam diretamente no teor de água no solo. A umidade dos solos condicionada pela manutenção de resíduos culturais na superfície promove temperaturas mais baixas e reduz as oscilações nas mesmas, uma vez que maior parte do calor recebido é utilizado na evaporação da água (WELLS; TOUCHTON, 1985; UNGERA et al., 1991; CARNEIRO et al., 2013).

A manutenção da umidade do solo é primordial para que haja um bom desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar durante todo o ciclo, porém, vários fatores influem na variabilidade do conteúdo de água no solo, tais como: topografia, propriedades do solo, tipo e densidade de vegetação, umidade inicial do solo, profundidade do lençol freático, precipitação, radiação solar e outros fatores meteorológicos (MEDEIROS; CLARKE, 2007). Segundo Casagrande (2008), a umidade ideal do para o solo é bastante variável, pois para que a cana possa ter uma boa brotação vai depender do tipo de solo e suas principais características físicas como densidade, aeração e condutividade hídrica.

Para Mesquita; Moraes (2004), o fluxo e a retenção de água no solo dependem, além da textura, da profundidade, estrutura, porosidade e pedoforma. A densidade e a porosidade do solo podem variar consideravelmente, dependendo da textura, dos teores de matéria orgânica do solo e da frequência de cultivo (ARAÚJO et al., 2004). Segundo Silva; Mendonça (2007), a retenção de água em solos de textura mais arenosa é mais sensível à quantidade de matéria orgânica que em solos mais argilosos, que possuem textura mais fina. Solos com teores elevados de matéria orgânica possuem uma grande capacidade de retenção de água (SILVA et al., 1986). Dessa maneira, torna-se evidente a importância que existe em se conhecer a dinâmica da decomposição da matéria orgânica sobre diferentes texturas do solo.

É a textura do solo que determina a área de contato entre as partículas sólidas e a água, o que define em boa parte a distribuição do diâmetro dos poros (REICHARDT; TIMM, 2004). A depender da textura, existe um maior risco de déficit hídrico para a cultura da cana-de-açúcar, uma vez que as características dos solos são muito variáveis. Solos argilosos, por exemplo, por terem uma textura mais fina, possuem uma maior capacidade de armazenamento e retenção de água e, conseqüentemente, as perdas por evaporação são significativamente

menores. De acordo com Vianna; Setelhas (2014) o maior risco de déficit hídrico para a cultura está em solos de textura arenosa.

Além de todos os benefícios já mostrados, a presença da palha sobre o solo também aumenta a rugosidade superficial e consequentemente a infiltração, evitando a formação de crosta (MATEUS et al., 2004). Martins Filho et al. (2009) verificaram que as taxas de infiltração de água no solo em áreas de cana-de-açúcar são maiores quando cobertas com a palha proveniente da colheita, e a erosão é reduzida em cerca de 90% em relação ao solo descoberto. Outros autores como Cardoso et al. (2012) e Zonta et al. (2012) também afirmam que uma espécie com alto índice de cobertura e elevada produtividade de fitomassa propicia maior proteção ao solo, contribuindo com a infiltração da água e consequentemente proporcionando a manutenção da água no perfil do solo.

É importante ressaltar que em áreas com problemas de drenagem, onde não há remoção nenhuma da palha, o aumento da taxa de infiltração de água no solo pode ser considerado uma desvantagem, uma vez que onde a rebrota ainda não emergiu, a ocorrência de chuvas é suficiente para encharcar o solo, podendo causar danos na brotação do tolete (CASAGRANDE, 1991). Em contrapartida, a baixa disponibilidade de água no solo pode acarretar sérios problemas para a cultura da cana-de-açúcar, especialmente no início do ciclo e na fase de máximo crescimento, como redução dos perfilhos e da área foliar, aceleração da senescência e, por consequência, redução do crescimento dos colmos e quedas na produtividade (INMAN; BAMBER, 2004; INMAN; BAMBER; SMITH, 2005; SERAFIM et al., 2012).

Por se caracterizar como uma barreira física que impede a ocorrência de grandes trocas gasosas entre o solo e atmosfera, a presença da palha sobre a superfície do solo atua diretamente na redução das perdas de água por evaporação, diminuindo consequentemente os custos de operação com sistemas de irrigação e resultando num maior crescimento do sistema radicular na camada superficial (GILL et al., 1996; STONE; MOREIRA, 2000; VASCONCELOS, 2002). As reduções na taxa de evapotranspiração do solo quando mantido com cobertura comparado ao solo descoberto podem chegar até a 30 % (STANGHELLINI, 1993).

Alguns autores estudaram o impacto da palha de cana-de-açúcar na preservação da umidade do solo, principalmente nas camadas superficiais. Anjos (2014), concluiu que a manutenção de cerca de 13,0 Mg ha⁻¹ de palha distribuída sobre o solo aumenta o armazenamento e reduz a perda de água acumulada no solo, notadamente na profundidade de 0-30 cm. Nesse mesmo sentido, Peres et al., (2010) encontraram uma diminuição da umidade

do solo à medida em que se aumentava a profundidade de avaliação, mas foi na profundidade de 0-20 cm onde os maiores efeitos foram notados, com uma redução de praticamente metade das perdas de água em comparação com o solo descoberto. Através desses estudos pode-se deduzir que a perda de água no solo descoberto ocorreu praticamente por evaporação enquanto no solo com cobertura a perda se deu principalmente por percolação.

Avaliando a perda de água por evaporação na cultura do milho com o uso de diferentes níveis de resíduos, Andrade et al. (2011) observaram que a utilização de cobertura morta na superfície do solo pode ocasionar uma redução nas perdas de água por evaporação de 19 a 42% para 3,0 e 6,0 Mg ha⁻¹ de resíduos até os 10 cm de profundidade, em comparação com o solo descoberto. Almeida (2011) concluiu em seu trabalho que a presença de apenas 4 Mg ha⁻¹ de aveia distribuída sobre a superfície dos solos reduz as perdas de água por evaporação e promove redução na temperatura máxima e na amplitude térmica diárias.

Apesar de diversos trabalhos apontarem a manutenção de resíduos culturais sobre o solo como uma prática importante na melhoria de algumas características do solo, Timm et al. (2002) não encontraram nenhum impacto da palha da cana-de-açúcar nas propriedades físicas de um solo. O autor fala que a palha não afetou nenhum dos seguintes componente do balanço hídrico: escoamento superficial, fluxo de água no solo e capacidade de armazenamento de água. Em contrapartida, Jordán et al., (2011) atribuíram o aumento de umidade do solo causado pela manutenção da palha na camada superficial do solo a melhoria de algumas características como porosidade do solo, estabilidade de agregados, maior teor de matéria orgânica, menor densidade aparente e, conseqüentemente, maior infiltração e capacidade de água disponível.

Pelo exposto, práticas conservacionistas de manejo se mostram cada vez mais eficientes, uma vez que é possível preservar o conteúdo de água presente no solo, principalmente pela redução das altas temperaturas do dia, que aumentam consideravelmente a taxa de evaporação. É importante destacar que tal efeito é mais perceptível fase inicial de desenvolvimento da cultura, já que à medida que vai acontecendo incremento de IAF, a própria cultura atua na preservação da umidade pelo sombreamento que é causado por ela.

2.2. Influência da palha de cana-de-açúcar na temperatura do solo

A temperatura do solo exerce influência sobre fatores físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo e nas plantas que nele crescem (BRADY; WEIL, 2013). A manutenção de resíduos culturais sobre o solo é de fundamental importância para um bom crescimento e desenvolvimento de todas as culturas, uma vez que a temperatura do solo desfavorável durante a estação de crescimento pode retardar ou mesmo acabar com as colheitas (GASPARIN et al., 2005).

A radiação solar é a fonte de energia primária que aquece os solos (BRADY; WEIL, 2013). Uma vez que possuem alta reflexividade à radiação solar e uma baixa condutividade térmica, os resíduos culturais atuam como uma barreira que reduz a evaporação da água, a flutuação da temperatura e preserva a umidade do solo (GILL et al., 1996). Com isso as oscilações de temperatura e umidade do solo são atenuadas, principalmente na camada mais superficial (PEZZOPANE et al., 1996). De acordo com Miranda et al., (2004), isso ocorre pois essa camada de resíduos funciona como um isolamento térmico que reduz o aquecimento do solo durante o dia e a perda de calor para a atmosfera durante a noite.

Uma vez que os resíduos se caracterizam como uma barreira física, o solo se mantém mais protegido contra o impacto das gotas de chuva, reduzindo perdas por lixiviação e erosão. Em conjunto com a umidade do solo, a temperatura controla a atividade microbiana, o que afeta a decomposição de compostos bioquímicos que são constituintes de tecidos vegetais de resíduos mantidos sobre o solo (TSAI et al., 1992; SZAKÁCS, 2007).

Para que haja um bom desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar é preciso que a temperatura do ar esteja entre 25 e 35 °C, quando a temperatura está próximo dos 15 °C já se observa inibição do crescimento vegetativo (EBRAHIM et al., 1998). Se valores muito altos de temperaturas do ar forem atingido, consequentemente a temperatura do solo tende a aumentar e, esse aumento geralmente maximiza a atividade microbiana, acelera a decomposição da matéria orgânica e, consequentemente, reduz os estoques de carbono do solo (SIX et al., 2006; FRANCHINI et al., 2007). As altas temperaturas do solo também podem afetar diretamente na produtividade da cultura, como por exemplo, na brotação, que segundo Blackburn (1984) requer uma temperatura ótima em torno de 30 °C para que o processo ocorra normalmente.

O efeito dos resíduos culturais na redução da temperatura do solo é notado principalmente na fase inicial de crescimento da cultura, quando há maior incidência de luz solar sobre a superfície do solo. Grande parte dos pesquisadores que avaliaram esse efeito

(WOOD, 1991; BRADY; WEIL, 2013; ANJOS, 2014; AWE et al., 2015) notaram que quando o dossel da cana começa a sombrear o solo, as temperaturas se tornam praticamente iguais a de solos totalmente descobertos, uma vez que a radiação solar que chega ao solo é drasticamente reduzida.

A profundidade do solo é um fator muito importante a ser considerado no estudo da dinâmica da temperatura do solo (OLIVEIRA et al., 2005). Estes mesmos autores concluíram que quanto mais se distancia da superfície do solo ocorre redução e retardamento da energia térmica neste sistema, uma vez que a radiação solar é a principal fonte de energia para o solo e seu fluxo acontece por condução, da superfície para o interior do perfil do solo. O solo atinge sua temperatura máxima diária após o ar atingir sua temperatura máxima; nas profundidades maiores, o intervalo é mais longo e as oscilações das temperaturas são menores. Em profundidades maiores que 4 a 5 m, a temperatura pouco muda, aproximando-se da temperatura média anual do ar (BRADY; WEIL, 2013).

Quando é realizada a manutenção da palha da cana-de-açúcar sobre o solo pode ocorrer uma redução de até 7 °C nas temperaturas médias do solo (TIMM, 2002). Valores semelhantes foram encontrados por Lal (1974), que observou diferenças de até 8° C entre o tratamento com solo coberto com palha de milho e com solo descoberto aos 5 cm de profundidade. Tal comportamento acontece porque a palha mantida sobre a superfície do solo tem a capacidade de modificar o regime térmico diário do solo, pela capacidade de reflexão da radiação solar, o que impede que esta chegue diretamente ao solo, aquecendo muito a sua superfície (STRECK et al., 1994).

A temperatura influencia diretamente em uma série de fatores no solo e na planta. Em estudo pioneiro, com plantas de cana-de-açúcar em casa de vegetação submetidas a baixas temperaturas do ar e da terra, separadamente, Hartt (1965) notou efeitos mais expressivos nas plantas com a baixa temperatura do solo. Houve diminuição do crescimento da parte aérea e menor translocação de fotoassimilados, de forma mais severa nesse caso. O autor reforça que o acúmulo de fotossintatos na raiz se deu pela baixa atividade metabólica e baixo crescimento.

Segundo Wilhelm et al. (2004), a presença de resíduos vegetais na superfície tem um maior na amplitude da temperatura diurna do solo (onde são observados os valores mais elevados de temperatura) do que na média. O mesmo autor ainda diz que os efeitos dos resíduos na temperatura do solo estão envolvidos em um conjunto complexo de processos que resultam em uma evaporação reduzida da água do solo quando está coberta com resíduos, o que consequentemente diminui o fluxo de calor no solo.

A variação de temperatura do solo diminuía à medida que se adicionam quantidades maiores de resíduo vegetal sobre a superfície. Bragagnolo; Mielniczuk (1990) encontraram uma redução de até $1,1^{\circ}\text{C}$ na temperatura máxima do solo a cada Mg ha^{-1} de matéria seca depositada na superfície. Os autores disseram que a diferença entre o solo descoberto e o com cobertura é função do teor de água do solo, apresentando uma maior diferença quando a umidade do solo está mais elevada. Esses resultados concordam com Silveira et al. (2013), que observaram que a umidade do solo atua como isolante nas grandes oscilações na temperatura diária do solo. Em outras palavras, eles notaram que à medida que a umidade do solo aumentava, ocorria redução nas flutuações térmicas. Estes autores ainda dizem que essa reação está relacionada com propriedades coloríficas que as moléculas de água possuem.

Oliveira et al. (2005) encontraram uma variação na temperatura e umidade do solo em resposta a diferentes tipos e níveis de cobertura do solo. Os autores concluíram que a natureza da cobertura do solo e o nível de sombreamento influenciaram diretamente nas flutuações de temperatura e umidade do solo, e que as variações mais expressivas ocorreram quando a área encontrava-se sem cobertura, quando a cultura ainda não influenciava tanto na interceptação da radiação solar.

Knies (2010) observou que valores mesmo a manutenção de uma quantidade relativamente baixa de resíduos culturais de aveia preta na superfície do solo (3 e 6 Mg ha^{-1}) no cultivo do diminuíram significativamente a temperatura máxima e a amplitude térmica do solo. Da mesma forma, Awe et al. (2015) viram que a temperatura diária do solo cultivado com cana-de-açúcar foi significativamente maior no plantio em relação ao solo com plantio convencional que no solo com manutenção de palha. O autor ainda especifica que essa redução foi expressiva durante o período extremo do verão e que houve um aumento considerável durante o período extremo de inverno, devido à cobertura de palha.

No Brasil ainda são escassas as pesquisas que relacionam o efeito de diferentes quantidades de palha da cana-de-açúcar na dinâmica da temperatura do solo, principalmente para a cultura da cana-de-açúcar. Muitos trabalhos apresentam resultados promissores, mas grande parte tem buscado demonstrar de maneira secundária que existe um potencial de redução da temperatura do solo nas camadas superficiais à medida que se aumenta o aporte de palha sobre o solo. Tal fato comprova que mais estudos direcionados ao tema ainda precisam ser realizados para elucidar algumas dúvidas.

2.3. Decomposição da palha da cana-de-açúcar

A utilização de resíduos culturais na superfície do solo é fundamental para a manutenção e aumento da qualidade do solo, devido ao incremento de matéria orgânica (SIX et al., 2002). Além desses benefícios, a palha da cana-de-açúcar vem ganhando destaque devido ao seu valor no processo produtivo da indústria sucroalcooleira, por representar uma fonte importante na geração de energia e álcool 2G (DIAS et al., 2009). Com essa retirada parcial da palha, é possível que um menor aporte de resíduos possa exercer uma influência mais acentuada sobre fatores que determinam a dinâmica da decomposição, como o contato entre o solo e o resíduo (CARVALHO et al., 2008). Quando ajustes como esse forem elucidados, esse tipo de manejo poderá trazer ações mais sustentáveis para todo o setor agrícola.

A matéria orgânica atua em diversas propriedades do solo, exercendo efeito tanto na melhoria de condições físicas do solo, como aeração, retenção e armazenamento de água, quanto em propriedades químicas e físico-químicas, como liberação de nutrientes e capacidade de troca catiônica do solo, além de criar um ambiente favorável para o estabelecimento e à atividade da microbiota (FIGUEIREDO et al., 2008; BRADY; WEIL, 2013). Porém, como a decomposição de resíduos culturais depende de uma série de fatores, este processo se torna bastante variável.

A manutenção de diferentes quantidades de resíduos mantidos sobre o solo pode apresentar comportamento completamente distinto na taxa de decomposição da palha de cana-de-açúcar, uma vez que a decomposição dos resíduos depende totalmente do contato direto com o solo. Enquanto, alguns autores não encontram diferenças significativas taxas de decomposição na manutenção de diferentes quantidades mantidas no solo (IVO et al., 2013; ACOSTA et al., 2014; RAMOS et al., 2016), outros estudos demonstraram aumento da decomposição de acordo com o aumento da quantidade de palha mantida sobre o solo (ZOTELLI, 2012; SANTOS, 2016; SOUSA JUNIOR et al., 2017).

Alguns trabalhos realizados na região sudeste do Brasil avaliando a taxa de decomposição de diferentes quantidades de palha da cana-de-açúcar mantidas sobre o solo (FARONI et al., 2003; VITTI et al., 2008; AQUINO, 2012; RAMOS et al., 2016; SOUSA JUNIOR et al., 2017; YAMAGUCHI et al., 2017), observaram taxas de matéria seca remanescente entre 20 e 45% ao fim de um ciclo produtivo da cana-de-açúcar, o que evidencia que pode haver uma grande variação na dinâmica da decomposição a depender de fatores como clima, solo e variedade.

Essa dinâmica pode variar de acordo com o manejo adotado na cultura de cobertura, a produção de biomassa, fertilidade e pH do solo, temperatura e umidade do solo, relação C:N do material, teores de celulose, hemicelulose e polifenóis, qualidade e quantidade dos nutrientes orgânicos disponíveis e condições climáticas (OLIVEIRA et al., 1999; ALVARENGA et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2002; COSTA; SANGAKKARA, 2006; BRADY; WEIL, 2013). Quando a palha da cana-de-açúcar é deixada em condições não limitantes de temperatura e umidade do solo, a disponibilidade de nitrogênio é um dos fatores que mais influenciam no processo de decomposição da palha (POTRICH et al. 2014).

Em geral, o tipo de vegetação e as condições ambientais são os fatores preconizantes na quantidade e qualidade do material que cai no solo, determinando heterogeneidade e controlando o processo de decomposição do material depositado na superfície (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Em regiões tropicais, as condições de temperaturas elevadas, os altos índices pluviométricos e, em consequência, a intensa atividade microbiana propiciam a rápida decomposição dos materiais orgânicos depositados no solo (SILVA; MACHADO, 2000). Segundo Lal; Logan, (1995) a taxa de decomposição em regiões tropicais e subtropicais pode ser até 10 vezes mais acelerada que em regiões temperadas.

Stone; Moreira, (2000) constataram que, em clima tropical, ocorre uma acelerada diminuição da porcentagem de cobertura do solo pelos resíduos devido à velocidade de decomposição dos resíduos com baixa relação C/N. Entretanto, como a palha da cana-de-açúcar possui uma relação C/N acima de 80 (ROSSETTO et al., 2013), a depender da quantidade depositada sobre o solo, espera-se que sua decomposição seja relativamente lenta.

A temperatura do solo é fator determinando nos processos microbianos. Em temperaturas elevadas, a atividade microbiana é muito maior, pois as taxas dos processos microbianos, como respiração, normalmente mais do que dobram a cada 10 °C de aumento da temperatura (BRADY; WEIL, 2013). Os autores ainda dizem que a temperatura ótima para que o processo de decomposição microbiana ocorra é entre 35 e 40 °C, o que é significativamente alto para o crescimento das plantas. Como a respiração microbiana depende de solos com temperaturas altas, este fato passa a ter implicações importantes para a aeração do solo e para a decomposição de resíduos das plantas e, portanto, para a ciclagem de nutrientes neles contidos.

O teor de água do solo também irá influenciar a decomposição da matéria orgânica. Brady; Weil (2013) disseram que para haver uma rápida decomposição é necessária uma suficiente umidade do solo (cerca de 60% do espaço poroso do solo preenchido com água). Autores como Acosta et al. (2014) e Ramos et al., (2016) avaliaram a taxa de decomposição

de diferentes quantidades de resíduos sobre a superfície do solo, e não encontraram diferenças significativas entre as quantidades depositadas. Os autores atribuíram seus resultados ao microclima que é formado pela cultura, principalmente quando já após um maior incremento do IAF. Esse microclima favoreceu a manutenção da umidade do solo e da palha, o que pode ter auxiliado para acelerar o processo de decomposição dos resíduos.

Outra variável de grande relevância na dinâmica de decomposição dos resíduos orgânicos mantidos sobre o solo é a granulometria. Segundo Bayer et al., (2002) quando o material começa a ser decomposto, o material mais fresco fica mais associado às frações mais grosseiras de areia, já o material que se encontra mais num estágio mais avançado de decomposição fica ligado às frações mais finas de argila, o que reflete tanto no grau de humificação quanto à suscetibilidade à decomposição pela biomassa microbiana.

A posição dos resíduos no interior do solo também é outro fator físico que possui bastante influência nas taxas de decomposição. Normalmente, resíduos deixados sobre a superfície do solo possuem uma taxa de decomposição mais lenta e mais variável que aqueles que são incorporados por deposição radicular, ação da fauna ou aração (BRADY; WEIL, 2013), uma vez que o contato solo/resíduo é direto. Tal fato também ajuda a explicar o porquê da palha de cana-de-açúcar persistir durante um período de tempo relativamente longo sobre o solo até sua degradação final.

Em relação à quantidade de água disponível para as plantas, a MOS atua indiretamente, pois ajuda a estabilizar a estrutura do solo e aumentar o seu volume total, bem como o tamanho dos seus poros. Isso resulta em um aumento da infiltração e da capacidade de retenção de água e também no aumento simultâneo da quantidade de água retida no ponto de murcha permanente (SOUZA et al., 2005; BRADY; WEIL, 2013). Além disso, em relação à cana-de-açúcar, a manutenção de resíduos na superfície do solo ainda pode aumentar a produtividade da cultura (GAVA et al., 2001).

Mesmo apresentando diversos benefícios para o solo, a definição de uma quantidade ideal de resíduos culturais a permanecerem na superfície do solo é totalmente importante, uma vez que grandes quantidades desses resíduos também podem causar problemas relacionados ao manejo da cultura (FURLANI NETO et al., 1997). Um dos problemas mais graves e recorrentes causados pela grande quantidade de resíduos no solo é a dificuldade de brotação da cana, o que culmina em falhas na rebrota (VASCONCELOS, 2002; MANHÃES et al., 2015).

Além da taxa de decaimento de massa de matéria seca do resíduo, a decomposição também pode ser avaliada através da constante da velocidade de decomposição (k) e do tempo

de meia-vida ($t^{1/2}$). Faz-se importante conhecer esses parâmetros uma vez que quanto maior for o k , menor será o tempo para que metade do resíduo seja decomposto ($t^{1/2}$). Em outras palavras, a permanência do resíduo é menor, mas existe uma liberação mais rápida dos nutrientes (THOMAS; ASAKAWA, 1993).

Apesar de ser um processo amplamente conhecido, a decomposição de diferentes quantidades de resíduos culturais ainda necessita de mais pesquisas, principalmente em relação à dinâmica da temperatura e da umidade do solo, uma vez diferentes quantidades mantidas sobre a sua superfície podem conferir comportamentos distintos dessas variáveis que são determinantes na velocidade de degradação dos resíduos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Experimentos de Campo

Os experimentos foram conduzidos em três áreas do estado de São Paulo (Figura 1), localizadas nas cidades de Igarapu do Tietê, Piracicaba e Dois Córregos. Estes locais foram escolhidos com o objetivo de representar algumas das principais regiões produtoras de cana-de-açúcar do estado e comparar diferentes tipos de clima e solo. No processo de seleção das áreas foi priorizada topografia plana, bem como a presença das variedades mais representativas para cada região.

Figura 1. Localização geográfica das áreas de estudo.

Igarapu do Tietê:

Localizada na Usina da Barra (Fazenda Monte Belo Francheschi), em um talhão de 29,5 ha (Lat.: 22°37'94" S; Long.: 48°33'62" O; altitude de 593 m). O experimento foi conduzido durante o primeiro ano de cana soca (segundo corte), na estação úmida, entre setembro de 2015 e outubro de 2016. O clima foi classificado como Cfa (Köppen-Geiger), caracterizado como subtropical quente e úmido, sem estação seca definida. O município possui temperatura média anual de 22,3 °C e precipitação pluvial média de 1278 mm. O solo

da área experimental foi classificado como Nitossolo Vermelho Eutroférico típico, de textura muito argilosa (600, 260, e 140 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente).

Piracicaba:

Localizada no Centro de Tecnologia Canavieira – CTC (22°41'26" S, 47°33'28" O). O experimento foi conduzido na estação seca, entre dezembro de 2015 e setembro de 2016. O clima predominante da região é classificado como Cwa (Köppen-Geiger), caracterizado por clima subtropical úmido com estiagem de inverno. A temperatura média anual de 21,6° C, sendo a precipitação pluvial média de 1328 mm. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (Santos et al., 2013), de textura média com 330, 76 e 594 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente.

Dois Córregos:

Localizada na Usina Dois Córregos (Fazenda São Luís VI), em um talhão de 16 ha. O experimento foi conduzido na estação seca, entre agosto de 2016 e abril de 2017. O clima foi classificado como Cwa (Köppen-Geiger), caracterizado por clima subtropical úmido com estiagem de inverno. A temperatura média anual de 19,8° C, sendo a precipitação pluvial média de 1342 mm. Os dados climáticos (Figura 2) foram obtidos no posto meteorológico da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), localizado a cerca de 1 km da área experimental. O solo da área experimental era de textura arenosa (64, 153,5 e 757 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente).

Os dados de temperatura e pluviosidade das três áreas durante os períodos de avaliação (Figura 2) foram cedidos pelo Instituto nacional de meteorologia – INMET.

Figura 2. Temperatura média e precipitação durante o período de condução dos experimentos. (a) Outubro de 2015 a novembro de 2016. Igarçu do Tietê, SP; (b) Dezembro de 2015 a Setembro de 2016. Piracicaba, SP; e (c) Junho de 2016 a Abril de 2017. Dois Córregos, SP.

Em cada área experimental foram realizadas coletas de solo antes da implantação dos experimentos para a realização da análise granulométrica.

3.2. Delineamento experimental

Os ensaios foram conduzidos em delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições para os experimentos de decomposição da palha da cana-de-açúcar e três repetições para de temperatura e umidade, em áreas de cana-de-açúcar colhida sem queima. Os tratamentos foram representados por solo descoberto e três quantidades de palha remanescente da colheita. (0, 25, 50 e 100%).

Antes da colheita das áreas, foram realizados alguns testes com diferentes regulagens das colhedoras (extrator primário ligado em diferentes velocidades angulares, extrator secundário e despontador desligados) para definir a quantidade de palha a ser distribuída em cada tratamento nas áreas experimentais (Lisboa et al., 2017). Para tanto, foi utilizado um gabarito com 1 m² e, a quantidade de palha que se encontrava dentro do mesmo foi pesada e extrapolada para o valor de um hectare. Sendo assim, como a quantidade de palha gerada pela cana-de-açúcar varia de acordo com fatores edafoclimáticos e com as características de cada variedade utilizada, obtiveram-se as quantidades representadas na Tabela 1.

Tabela 1. Níveis de palha deixada sobre a superfície do solo nas áreas de estudo.

Tratamento	%	Igarapu do Tietê	Piracicaba e Dois Córregos
		Mg ha ⁻¹	
1	0	0	0
2	25	2	3
3	50	3,2	6
4	100	7,5	12

A variedade utilizada nas áreas de Igarapu do Tietê e Piracicaba foi a SP80-3280, caracterizada por se desenvolver bem em solos férteis, bom fechamento de entrelinhas, possibilidade de florescimento moderado ao final do ciclo e boa para colheita mecanizada (MARIN, 2009), além de possuir boa brotação e produtividade de soqueiras (COPERSUCAR, 1997). O espaçamento de plantio foi o de linha de cultivo dupla, com direcionamento de tráfico de 0,9 x 1,50 m.

Na área de Dois Córregos a variedade utilizada foi a RB 92579 que se caracteriza por alcançar elevados valores de IAF, contribuindo para uma melhor eficiência no uso da água, além de se destacar por apresentar alto rendimento de colmos e de açúcar devido à sua maior capacidade de rebrotação e eficiência em conversão de energia em fotoassimilados (FERREIRA JÚNIOR, 2012).

3.3. Coleta de solo e determinação da umidade

Foram coletadas amostras deformadas com o auxílio de uma broca mecânica nas camadas de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm, em três pontos equidistantes de cada parcela, nas linhas de 0,90 m, a 30 cm de distância da planta (Figura 3). Em todas as áreas as coletas foram realizadas em três pontos marcados dentro de cada parcela, tendo sidas realizadas quinzenalmente na fase inicial de crescimento da cultura e com espaçamentos maiores após o fechamento do canavial. Além disso, quando ocorriam eventos de alta pluviosidade as coletas eram remarcadas, uma vez que todo solo da área experimental ficava saturado, impossibilitando observar o efeito dos tratamentos. É importante ressaltar que devido a dimensão da área de Piracicaba e a sua divisão que foi diferente das demais áreas, as coletas de solo foram realizadas nas camadas 0-20 e 20-40 cm, buscando aperfeiçoar o trabalho e o espaço disponível para coleta sem danificar o experimento, uma vez que as coletas eram realizadas dentro de caixas plásticas dispostas nas faixas de plantio.

A determinação da umidade do solo foi feita por diferença de massa, seguindo o método tradicional da pesagem (EMBRAPA, 1997). Nesse método, eram pesados cerca de 5g de cada amostra chegadas do campo e logo após as mesmas eram condicionadas numa estufa a 105 °C por 48h. Em seguida as amostras eram pesadas novamente para determinação do peso seco. A umidade gravimétrica (U, %) de uma amostra de solo se obtém através da relação entre a massa da água e a dos sólidos nela contidos (eq. 1).

(1)

$$U = \frac{ma - ms}{ms} \times 100$$

Em que: U= umidade gravimétrica do solo (%); ma= massa de água da amostra (g); ms= massa de sólidos da amostra (g); 100= fator multiplicador para obtenção do resultado em porcentagem.

Figura 3. Modelo da parcela utilizada na condução dos experimentos. As linhas pontilhadas representam as linhas de cana-de-açúcar utilizadas como bordadura, enquanto as dez linhas centrais apresentam os pontos demarcados dentro da parcela, sendo os pontos de avaliação da umidade do solo os que estão em vermelho.

3.4. Dinâmica da temperatura do solo

Para avaliar o efeito dos diferentes quantidades de palha na temperatura do solo, foram efetuadas medidas na camada entre a palha e o solo, acima da palha e nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm (Figura 4), utilizando um sistema com datalogger, multiplexador, bateria e cabos termopares tipo T, devidamente encapsulados em terminais de aço inox. O sistema foi configurado para coleta de dados de temperatura do solo fossem realizadas de hora em hora.

Por se tratar de um sistema que estava em fase de testes e outros incidentes como roubo de material no campo, alguns dados foram perdidos durante a condução do experimento no campo. Entretanto, foram obtidos resultados dos períodos iniciais de crescimento da cultura quanto do seu estágio final (para uma área), quando toda a área já se encontrava sombreada, o que é importante para contrastar a época em que a palha apresenta uma influência mais nítida na redução da temperatura do solo (devido a sua maior exposição com a

radiação solar) e quando já não demonstra efeito devido ao sombreamento total das entrelinhas de plantio.

Figura 4. Distribuição dos sensores dentro da caixa a 0-5 e 5-10 cm de profundidade sobre diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar.

A temperatura média diária dos solos foi calculada através da média aritmética dos 24 registros diários de temperatura. Do maior valor foi retirada temperatura máxima, e do menor valor a temperatura mínima do solo e, através da subtração entre os dois valores foi obtida a amplitude térmica. Uma vez que estes dados gerados pelo sistema eram expressos em horas, semanalmente foi realizado o download desses dados com um notebook para que fossem tabulados e interpretados. As avaliações foram realizadas até o final do ciclo da cultura em conjunto com as análises de umidade do solo.

3.5. Decomposição da palha da cana-de-açúcar

O estudo da decomposição da palha da cana-de-açúcar foi realizado nas três áreas experimentais, seguindo o mesmo padrão. Foram instaladas 60 caixas em cada área, nos períodos seco e chuvoso, compostas por três tratamentos (25, 50 e 100% de palha remanescente sobre o solo), com quatro repetições e cinco coletas ao longo do tempo (30, 60, 120, 180 e 360 dias). A taxa de decomposição da palha foi avaliada com base na perda de massa da palha contida dentro das caixas. As parcelas experimentais foram dispostas em três entrelinhas de plantio da cana-de-açúcar como ilustrado na Figura 5.

Figura 5. Tempos de coleta de palha e disposição das caixas de decomposição da palha nas faixas de plantio.

A quantidade de palha a ser colocada dentro das caixas foi calculada de acordo com a quantidade de palha produzida na área na última colheita da cana-de-açúcar, onde o valor de um hectare foi convertido para área da caixa, correspondente a 0,17 m². Para a distribuição das caixas foi realizada a limpeza das áreas com o auxílio de rastelos e vassouras, para a retirada de todo material vegetal ou exógeno que se encontrava na superfície do solo.

Vale ressaltar que devido à última coleta de palha da em Dois Córregos estar prevista para Agosto de 2017, não foi possível avaliar a dinâmica da decomposição durante um ano nesta área. Sendo assim, os resultados expressos neste trabalho para este local são até os 6 meses de avaliação.

A cada coleta destrutiva, as amostras eram trazidas para o laboratório, onde eram pesadas para determinação da massa úmida e logo após eram condicionadas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C durante 48 horas até peso constante, para a obtenção do peso seco do material. Para a quantificação de impurezas das amostras foi feita uma primeira separação utilizando peneiras de 1 e 2 mm de diâmetro e, posteriormente, cerca de 5g de cada amostra passou por uma incineração em mufla a 550°C por 3 horas (Tedesco et al., 1995), para a obtenção do resultado de massa seca livre de impurezas, realizada por diferença de massa (Figura 6).

Figura 6. Processo de retirada de impurezas da palha. (a) Limpeza inicial das amostras de palha de cana-de-açúcar em decomposição; (b) Mufla utilizada para retirada final das impurezas.

3.6. Análise dos dados

Os resultados de umidade e temperatura média, máxima, mínima e amplitude térmica do solo, foram analisados estatisticamente através de uma análise de variância e teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. A dinâmica de decomposição da palha foi avaliada através da perda de massa, a qual foi estimada utilizando o modelo exponencial (eq. 2) descrito por Rezende et al. (1999):

$$X = X_0 \cdot e^{-kt} \quad (2)$$

Em que: X= quantidade de matéria seca remanescente após um período de tempo (em dias); X_0 = quantidade de matéria seca inicial; k= constante de decomposição.

Reorganizando os termos dessa equação, é possível encontrar a constante de decomposição (k).

$$k = \frac{\ln (X/X_0)}{\text{tempo}} \quad (3)$$

O tempo de meia-vida ($t^{1/2}$) da palha foi calculado por meio da seguinte equação:

$$t^{1/2} = \ln(2)/k \quad (4)$$

Em que: $t^{1/2}$ = tempo de meia-vida de matéria da seca; $\ln (2)$ = valor constante; k= constante de decomposição descrita anteriormente.

Os dados de decomposição também foram avaliados por análise de variância e teste de Tukey a 5%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Influência da palha de cana-de-açúcar na umidade do solo

Os resultados de umidade do solo apresentaram diferença estatística entre os tratamentos ($p \leq 0,05$) na fase inicial de crescimento da cultura (7 a 30 DAC) em todas as áreas, principalmente nas camadas de 0-20 e 20-40 cm. Já da fase intermediária para a fase final (120 a 150 DAC) tal comportamento não foi mais observado devido ao microclima gerando dentro do canavial pelo incremento de IAF, diminuindo a incidência solar direta e, por consequência, a taxa de evaporação. A Figura 7 traz a representação desse efeito para a área de Igaráu do Tietê, uma vez que o comportamento foi semelhante nas demais. Pequenas diferenças encontradas em algumas coletas que não foram da fase inicial podem estar relacionadas com o efeito distinto no crescimento da cultura para cada tratamento.

Figura 7. Umidade do solo (%) em diferentes profundidades com a manutenção de diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar aos (a) 30, (b) 120 e (c) 240 DAC. Letras diferentes dentro das colunas representam diferença estatística na umidade do solo entre os tratamentos numa mesma profundidade pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Barras acima das colunas representam o erro padrão. Igaráu do Tietê, SP.

O efeito de diferentes quantidades de palha da cana-de-açúcar na umidade do solo durante todo o ciclo é apresentado nas Figuras 8, 9 e 10.

Figura 8. Relação de diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar mantidas na superfície do solo e a umidade do solo (%) nas profundidades 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm. Piracicaba, SP.

Figura 9. Relação de diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar mantidas na superfície do solo e a umidade do solo (%) nas profundidades 0-20 e 20-40 cm. Piracicaba, SP.

Figura 10. Relação de diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar mantidas na superfície do solo e a umidade do solo (%) nas profundidades 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm. Dois Córregos, SP.

É importante destacar que algumas coletas foram realizadas em períodos com alta frequência de chuvas, principalmente nas áreas de Igarçu do Tietê e Piracicaba, que tiveram seus experimentos implantados na estação chuvosa. O somatório da precipitação das áreas de Igarçu do Tietê, Piracicaba e Dois Córregos durante o período experimental foram de 1697, 875, 993 mm, respectivamente. Os maiores volumes de chuva saturavam todo o solo, impossibilitando a observação do efeito dos tratamentos. Assim, o efeito da palha de cana-de-açúcar na manutenção da umidade do solo é mais expressivo após a ocorrência de chuvas, uma vez que é possível mensurar qual a quantidade ideal de palha que pode evitar as perdas de água no solo por evaporação. Além do exposto, as áreas de estudo possuem características texturais distintas, o que pode gerar comportamentos diferentes na percolação e no armazenamento da água no solo.

Entre as diversas vantagens que existem na manutenção da palha proveniente da colheita sobre a superfície do solo, está a maior disponibilidade de água para as plantas, visto que as perdas são consideravelmente reduzidas. Nesse contexto, Bizari et al., (2009) observaram que houve uma maior economia de água usada para irrigação em torno de 14% na cultura do feijão quando utilizou cerca de 9 Mg ha⁻¹ em relação ao sem cobertura na superfície, uma vez que a palha manteve a umidade do solo elevada por mais tempo. No mesmo sentido, Iftikhar; Ali (2004) concluíram que a manutenção de resíduos de aveia sobre a superfície do solo reduziu em até 50% as perdas de água evaporação. Maior economia de água pela manutenção de resíduos no solo também foi verificada por Stone (2005).

As maiores diferenças encontradas neste trabalho foram observadas na camada 0-20 cm, com 6, 2,5 e 8% de redução de perdas de água no solo (comparando a maior quantidade de palha e o solo descoberto), nas áreas de Igarçu do Tietê, Piracicaba e Dois Córregos, respectivamente. Da mesma forma, Andrade (2008) observou que 3 Mg ha⁻¹ de palha de milho na superfície do solo proporcionou uma redução nas perdas de água por evaporação nos primeiros 30 cm do perfil do solo de 18% e 23% em relação ao plantio convencional e ao solo descoberto, respectivamente. Quando utilizou 6 Mg ha⁻¹ de palha, a redução foi de 38% e 42%, respectivamente. O autor concluiu em seu trabalho que o aumento nas perdas de água do solo ocorreu devido ao crescimento da cultura, uma vez que além da evaporação, aumentou a participação da transpiração no consumo de água.

Concordando com os resultados encontrados neste trabalho, Fidalski et al. (2010), encontraram efeitos positivos no conteúdo de água na camada mais superficial de um solo de textura arenosa (0-20 cm), bem como em subsuperfície (20- 40 cm) em solos de textura média

quando mantida cobertura morta na superfície. Tal fato demonstra que a manutenção dos resíduos sobre o solo também pode atuar em camadas mais profundas do solo.

Apesar de os maiores efeitos da palha na manutenção da umidade do solo terem sido mais perceptíveis nas camadas superficiais, neste trabalho a umidade foi avaliada até a camada de 80 cm, buscando entender se a manutenção da palha sobre o solo também possuía alguma influência nas camadas mais profundas. Com base nos resultados obtidos, principalmente no período inicial de avaliação, a umidade do solo se manteve e valores elevados em todas as profundidades do solo, o que pode ter acontecido devido à percolação das camadas superficiais para as mais profundas e/ou por um efeito direto da manutenção da palha sobre o solo, o que é muito importante para o suprimento de água da cultura principalmente nos períodos mais secos.

As maiores diferenças entre tratamentos para todas as profundidades avaliadas foram encontradas em Dois Córregos (Figura 10), o que pode ser explicado pela estrutura distinta dos solos arenosos em comparação aos solos de textura média e dos argilosos. Solos de textura arenosa, como este estudado ($757,1 \text{ g kg}^{-1}$ de areia), por exemplo, possuem uma estrutura com uma maior quantidade de macroporos que os solos argilosos e, consequentemente, apresentam maior condutividade hidráulica e taxa de infiltração (SILVA; KATO, 1997). Além disso, são solos com baixos teores de matéria orgânica (MO), que diminui sua quantidade com o aumento da profundidade, o que promove um comportamento diferente da dinâmica da água no perfil do solo. Tal fato pode ser comprovado pelo comportamento que foi observado em Igaraçu do Tietê, onde os valores de umidade do solo se mostraram os maiores observados devido a grande quantidade de argila presente neste solo (600 g kg^{-1}). Na Figura 11 é possível observar o comportamento da água no solo nos solos de textura argilosa e arenosa para o início e o fim do ciclo da cultura.

Figura 11. Perfil de umidade do solo na profundidade de 0-80 cm com a manutenção de diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar depositadas na superfície do solo, 30 e 150 DAC em Igarau do Tietê, SP (a, b) e em Dois Córregos, SP (c, d). Barras representam o erro padrão.

Além de todo exposto, a utilização de práticas conservacionistas como a manutenção dos resíduos sobre a superfície do solo se destaca também por favorecer um maior aproveitamento das águas pluviais, evitando-se perdas excessivas por escoamento superficial (PAIVA; ARAÚJO 2012).

O fato de praticamente não terem sido encontradas diferenças entre os tratamentos com palha na preservação da umidade do solo após as primeiras avaliações (7 a 30 DAC), principalmente em Igarau do Tietê e Piracicaba pode ser explicado pela ocorrência de chuvas próximo das primeiras coletas e o rápido incremento do IAF da cultura. Mais especificamente para em Igarau do Tietê, outro fato que ainda pode explicar tal comportamento é a pequena quantidade de palha que foi gerada na colheita (7,5 Mg ha⁻¹), o que é um número

relativamente baixo em relação a média que está entre 10 e 30 Mg ha⁻¹. Um trabalho de Mulumba; Lal (2008) sobre o efeito da palha do milho na dinâmica de água no solo reforça essa ideia, uma vez que os autores observaram que a manutenção de pequenas quantidades de resíduo na superfície do solo promove apenas um pequeno aumento no armazenamento de água.

A presença da palha na superfície do solo ainda contribui para uma série de processos no solo e na planta. Com base nisso, resultados de Pereira et al., (2015) observaram que a utilização de 12 Mg ha⁻¹ de palha de milho proporcionou um melhor aproveitamento de água pela cultura do feijão irrigado e auxiliou na relação solo-água-planta-atmosfera uma vez que há uma diminuição da temperatura e da evaporação de água do solo, o que causa uma maior permanência da umidade no perfil do solo.

Diversos trabalhos têm demonstrado a eficácia da manutenção de resíduos culturais na preservação da umidade do solo, principalmente em camadas superficiais, onde ocorrem as maiores trocas com a atmosfera. Wang et al., (2014) concluíram num estudo conduzido no semiárido da China que 9 Mg ha⁻¹ de palha de milho conseguiu regular a disponibilidade de água para as plantas e que houve um aumento da umidade do solo na camada 0-20 cm durante os estágios críticos de crescimento do milho, especialmente quando a precipitação foi menor. Segundo Azooz et al. (1996), as maiores diferenças na retenção de água entre sistemas de manejo acontecem nas camadas superficiais do solo, possivelmente devido à sua compactação, diminuindo o número de macroporos no sistema de semeadura direta. Isso evidencia a grande importância de práticas conservacionistas nos sistemas de manejo de cana-de-açúcar.

Os resultados obtidos neste trabalho com cana-de-açúcar são consistentes com aqueles reportados na literatura. Anjos (2014), que observou que a manutenção de 13 Mg ha⁻¹ de palha de cana-de-açúcar sobre o solo aumentou expressivamente a manutenção de água no solo até os 30 cm de profundidade na fase inicial de desenvolvimento da cultura. No mesmo sentido, Peres et al., (2010) concluíram em que cerca de 15 Mg ha⁻¹ de palha de cana-de-açúcar reduziu as perdas de água praticamente pela metade em comparação ao solo descoberto na camada 0-20 cm.

Para uma cultura como a cana-de-açúcar que é sensível ao déficit hídrico em alguns períodos do seu desenvolvimento e que possui um período crítico bem definido, mesmo que não promova um aumento expressivo, a manutenção da umidade do solo através da utilização de resíduos culturais na superfície do solo possui uma grande importância durante toda fase de desenvolvimento da cultura. É na fase inicial e de intenso crescimento os períodos mais

críticos da cultura da cana-de-açúcar em relação aos efeitos do déficit hídrico, pois se caracteriza pelo período em que as plantas apresentam grande área foliar e necessitam de maior quantidade de água para a realização das trocas gasosas com a atmosfera (SMIT; SINGELS, 2006; GONÇALVES et al., 2010). Um leve aumento na umidade do solo nesse período pode garantir um maior rendimento para a cultura, garantindo um melhor desenvolvimento e consequentemente reduzindo perdas de produtividade.

4.2. Influência da palha de cana-de-açúcar na temperatura do solo

Em termos de temperatura média, a variação encontrada foi muito pequena entre as duas profundidades avaliadas nas três áreas de estudo. Porém, principalmente no período inicial de crescimento da cultura (30 DAC), tanto a temperatura média quanto a amplitude térmica do solo apresentaram as maiores diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre o solo descoberto (total remoção) e com a manutenção das maiores quantidades de palha de cana-de-açúcar (Figura 12). Vale ressaltar que as últimas leituras de na área de Igarçu do Tietê (onde a temperatura média mostra uma maior diferença entre os tratamentos) foram realizadas após a colheita, ou seja, já não havia mais interferência do sombreamento gerado pela cultura nas entrelinhas de plantio.

Figura 12. Variação da temperatura a 0-5 e 5-10 cm de profundidade sobre diferentes quantidades de palha mantidas na superfície do solo após (a) 30, (b) 120 e (c) 240 DAC. Letras diferentes dentro das colunas representam diferença estatística da temperatura média entre os tratamentos pelo teste de Tukey (<0,05). Barras acima das colunas representam o erro padrão. Igarçu do Tietê, SP.

Os valores de temperatura média, máxima, mínima e amplitude térmica do solo para os diferentes tratamentos com palha de cana-de-açúcar estão apresentados nas figuras 13, 14 e 15.

Figura 13. Temperatura máxima, mínima, média e amplitude térmica do solo nas profundidades (a) 0-5 e (b) 5-10 cm em relação a diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar mantidas na superfície do solo na área de Igarau do Tietê, SP.

Figura 14. Temperatura máxima, mínima, média e amplitude térmica do solo nas profundidades (a) 0-5 e (b) 5-10 cm em relação a diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar mantidas na superfície do solo na área de Piracicaba, SP.

Figura 15. Temperatura máxima, mínima, média e amplitude térmica do solo nas profundidades (a) 0-5 e (b) 5-10 cm em relação a diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar mantidas na superfície do solo na área de Dois Córregos, SP.

Apesar de os resultados encontrados de Dois Córregos terem seguido uma tendência muito parecida com os encontrados nas demais áreas de estudo, era esperado que estes apresentassem um comportamento diferente, uma vez que solos arenosos se caracterizam pelos baixos teores de matéria orgânica e de argila e o grande volume de macroporos, o que conferem a ele uma baixa retenção de água. Entretanto, nesse trabalho essa característica não foi determinante nas mudanças de temperatura do solo. As diferenças maiores encontradas na área de Dois Córregos foram na fase inicial de desenvolvimento da cultura, onde os valores de temperatura estavam relativamente mais baixos, mas tal fato deve-se a baixa temperatura do ar e as chuvas que estavam ocorrendo neste período. De acordo com Bragagnolo; Mielnickzuk (1990) a temperatura do solo descoberto e do solo com manutenção de resíduos é função do conteúdo de água no solo, sendo maior à medida que se aumentam as diferenças na sua umidade.

Segundo Mota (1989) a temperatura do solo é uma variável que influencia diretamente no crescimento e o desenvolvimento das plantas, podendo causar danos de produtividade, e controlar a distribuição dessas plantas no solo. Neste trabalho, em todos os locais de estudo a temperatura média seguiu a mesma tendência no início das avaliações, com uma redução em cerca de 2 °C, o que em termos de temperatura média do solo é um valor bastante significativo. A partir disso é possível analisar a importância da manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, uma vez que a prática da colheita crua da cana-de-açúcar pode reduzir as temperaturas médias da camada superficial do solo em até 7 °C (TIMM, 2002). Assim, são evitadas as temperaturas máximas da superfície durante o período inicial de estabelecimento da cultura no campo.

Os valores de temperatura mínima do solo foram os que apresentaram as menores variações entre os tratamentos e as profundidades avaliadas em todas as áreas de estudo. Entretanto, em todos os locais de estudo foi observada uma grande redução na temperatura máxima do solo coberto com diferentes quantidades de palha em relação ao solo descoberto. Na área de Igarçu do Tietê, por exemplo, observou-se um valor de até 37°C em uma das primeiras avaliações, enquanto que, no solo mantido com 2, 3,2 e 7,5 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, os valores máximos encontrados foram de 28,5, 27 e 26,5 °C, respectivamente. Este resultado demonstra que o tratamento com 7,5 Mg ha⁻¹ foi o que demonstrou maior efeito na redução da temperatura máxima do solo, reduzindo cerca de 10 °C, o que representa uma redução de 0,75°C na temperatura máxima do solo a cada Mg ha⁻¹ mantido sobre o solo. Resultados semelhantes foram vistos por Bragagnolo; Mielnickzuk (1990).

Apesar de as quantidades de resíduo sobre o solo serem totalmente diferentes, esses dados estão de acordo com resultados encontrados por Gasparin et al. (2005) observaram temperaturas superiores a 40 °C quando o solo foi mantido descoberto e 31 °C em solo com uma cobertura de 4 Mg ha⁻¹ de resíduos de aveia. Da mesma forma, Pezzopane et al. (1996), que obtiveram uma redução de 9,5° C na temperatura máxima do solo para a profundidade 0-2 cm, utilizando 24 Mg ha⁻¹ de resíduos culturais de café. Isso demonstra que utilização dos resíduos culturais na superfície o solo atua principalmente na redução das altas temperaturas do dia, o que é de grande relevância, considerando que essas altas temperaturas podem afetar diversos processos ligados ao desenvolvimento das culturas.

Para entender melhor o efeito dos resíduos na temperatura do solo, a amplitude térmica talvez seja a variável mais importante a se observar, uma vez que através dela é possível ver a influência das diferentes quantidades de palha na redução das altas temperaturas do solo, devido ao efeito de reflexão e à absorção de energia solar incidente que os resíduos culturais possuem. Gasparin et al. (2005), relataram que a medida que se aumenta a quantidade de cobertura vegetal na superfície do solo, a amplitude de variação da temperatura do solo é reduzida. O autor ainda disse que as maiores variações são observadas a 2 cm de profundidade, ainda que a 5 cm o comportamento seja muito semelhante.

Em todas as áreas também foram encontradas variações expressivas na amplitude térmica do solo, com uma redução média de 5°C por volta de 30 DAC entre o solo descoberto e o solo com a maior quantidade de palha na superfície. Tal resultado confirma a ideia de que o uso de resíduos culturais é totalmente eficiente na redução das oscilações de temperatura do solo durante o dia. Talvez a quantidade de argila presente nesse solo explique as maiores reduções de temperatura observadas nesta área, uma vez que estes solos possuem grande capacidade de armazenamento de água e conduzem menos calor. Os menores valores observados ao longo do ciclo devem-se ao crescimento da cultura, uma vez que o sombreamento causado pela mesma acabava dando o mesmo caráter para toda área de estudo, o que mascarava o efeito dos tratamentos.

Os resultados encontrados neste trabalho vão de acordo com um estudo realizado por Knies (2010), que com a manutenção de 3 e 6 Mg ha⁻¹ de resíduos culturais de aveia-preta sobre a superfície do solo cultivado com milho, obteve uma diminuição da amplitude térmica de até 6,3 °C. Da mesma maneira, Elesbão (2011) encontrou uma média de amplitude térmica diária de 8,6 °C no solo mantido com 4 Mg ha⁻¹ de resíduos de aveia na superfície, enquanto o solo descoberto teve uma média de amplitude térmica diária de 17,8 °C. Outros autores como Gill et al., (1996) também observaram essa mesma tendência.

Avaliando o uso de resíduos na superfície do solo, Silva et al., (2006) observaram que no solo descoberto houve um maior aquecimento durante o dia e maior resfriamento durante a noite, comparado com o solo coberto por resíduos culturais, o que demonstra a capacidade dos resíduos em atenuar as altas temperaturas do dia. Nesse mesmo sentido, Salton; Mielniczuk (1995) verificaram que o sistema de cultivo com cobertura do solo proporcionou menor temperatura máxima e menor amplitude térmica no solo do que os sistemas de plantio sem cobertura.

Resultados semelhantes aos deste trabalho foram vistos por Anjos (2014), que com cerca de $9,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de palha de cana-de-açúcar na superfície do solo conseguiu reduzir a temperatura na profundidade de 0-5 cm em cerca de $0,7^\circ\text{C}$ em relação ao solo descoberto. Além da redução na temperatura do solo nas profundidades de 1 e 5 cm, Velini e Negrisoni (2000) também aumentou o teor de matéria orgânica e favoreceu o desenvolvimento de microrganismos benéficos do solo.

Com objetivo de avaliar o efeito dos tratamentos com palha de cana-de-açúcar na dinâmica da temperatura do solo ao longo do dia, foi selecionado um dos dias de avaliação da na área de Igarapu do Tietê (Figura 16).

Figura 16. Temperatura horária do solo nas profundidades (a) 0-5 e (b) 5-10 cm em relação a diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar depositadas sobre a superfície do solo na área de Igarapu do Tietê, SP.

Esta data foi escolhida por se tratar de uma das primeiras datas de avaliação, onde é mais perceptível o efeito dos tratamentos na redução das altas temperaturas do dia. Além disso, este dia apresentava uma temperatura média do ar elevada e ausência de chuvas, que faz com que o solo conduza menos o calor recebido, sendo mais perceptível o efeito dos tratamentos.

Por meio dos resultados foi possível verificar uma grande variação da temperatura do solo descoberto entre o dia e a noite. Como essa data de avaliação foi escolhida por representar a fase inicial de crescimento da cultura, é importante que não existam oscilações muito grandes, principalmente no período de 10h e 15h, onde a temperatura atinge valores muito elevados. O solo descoberto atingiu até 36 °C na camada 0-5 cm às 15h, enquanto no tratamento com 7,5 Mg ha⁻¹ houve uma redução de até 6 °C, o que permite que a cana-de-açúcar tenha seu desenvolvimento numa faixa de temperatura ideal durante todo o dia. Na profundidade de 0-10 cm, a temperatura variou entre 32°C e 27 °C, para o solo descoberto e com 7,5 Mg ha⁻¹, respectivamente, às 15h00min. Corroborando com os resultados encontrados neste trabalho, Ribas et al. (2015) num estudo com aveia-branca, encontraram em solo descoberto, na profundidade de 0-5 cm, uma temperatura horária de até 33,4°C no período mais quente do dia, enquanto no solo coberto com 5 Mg ha⁻¹ de palha ficou com uma temperatura máxima de 27°C.

Essa variação entre as profundidades seguiu uma tendência esperada, uma vez que a temperatura do solo tende a diminuir com o aumento da profundidade (Oliveira et al., 2005). Os resultados de temperatura horária do solo reafirmam o papel da palha como isolante térmico no solo, uma vez que evita uma grande quantidade de radiação no solo durante o dia e controla as perdas de calor durante a noite.

4.3. Decomposição da palha de cana-de-açúcar

A matéria seca remanescente de palha de cana-de-açúcar se apresentou semelhante em todas as áreas de estudo (Figura 17), com um comportamento de decaimento exponencial negativo, apresentando-se maior nos meses iniciais. Este comportamento pode ser explicado pela temperatura e precipitação em níveis adequados em todas as áreas, que são fatores preponderantes no processo de decomposição.

Figura 17. Dinâmica da decomposição da palha da cana-de-açúcar após um ciclo de produção da cultura. (a) Usina da Barra- Igarau do Tietê, SP; (b) Centro de Tecnologia Canavieira- Piracicaba, SP; e após metade de 1 ciclo de produção (c) Usina Dois Córregos- Dois Córregos, SP.

Apesar de as avaliações de decomposição em Dois Córregos terem sido realizadas apenas nos seis primeiros meses, foi possível observar uma tendência muito semelhante aos resultados dos demais locais de estudo, uma vez que durante este período de avaliação os valores se encontraram muito próximos uns dos outros.

Os resultados deste trabalho demonstraram que um ciclo de produção da cultura da cana-de-açúcar não foi suficiente para decompor totalmente a palha, mesmo em menores quantidades. A média de matéria seca remanescente de palha de cana-de-açúcar depois de seis meses de decomposição em Igarau do Tietê, Piracicaba e Dois Córregos foi de 61, 65 e 57% (Tabela 2), respectivamente. Apenas depois dos 12 meses de avaliação foi possível observar

as maiores diferenças na matéria seca remanescente das três áreas. O único local em que o processo foi diretamente proporcional a quantidade de palha mantida sobre o solo foi em Igaraçu do Tietê, com valores de 40, 33 e 31% para 2, 3,2 e 7,5 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Nas demais áreas, apesar de também terem apresentado diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as diferentes quantidades de palha, as variações entre os tratamentos foi expressivamente menor. Este comportamento pode ser explicado pelo microclima formado pelas diferentes quantidades de palha, uma vez que a umidade do solo é preservada e o processo de decomposição pode ser favorecido. Oliveira et al., (2002) avaliaram a decomposição da palha de cana-de-açúcar em dois ambientes agrícolas e observaram valores de matéria seca remanescente entre 70% aos 330 dias e 22% aos 360 dias na taxa de decomposição, atribuindo tal diferença à umidade do solo.

Dados muito semelhantes aos encontrados em Piracicaba e Dois Córregos podem ser encontrados na literatura. Num estudo sobre a decomposição da palha de cana-de-açúcar, Yamaguchi et al., (2017) também não encontraram diferença entre as diferentes quantidades de palha depositadas na superfície do solo, com matéria seca remanescente variando de 25 a 32% durante um ciclo de produção da cultura (12 meses). Da mesma forma, Ramos et al., (2016) obteve valores de matéria seca remanescente numa faixa de 32 a 37% entre todas as quantidades avaliadas. Outros autores também não verificaram diferenças entre as taxas de decomposição para diferentes quantidades palha de cana-de-açúcar mantidas na superfície do solo (IVO et al., 2013; DIETRICH, 2014; ACOSTA et al., 2014), evidenciando que mais estudos devem ser realizados para elucidar os efeitos da manutenção de diferentes quantidades de palha no solo.

Já outras pesquisas obtiveram como resultado uma maior taxa de decomposição de palha de cana-de-açúcar à medida que se aumentou a quantidade de palha sobre o solo. Aquino (2012) encontrou com a manutenção de 15 Mg ha⁻¹, uma taxa de matéria seca remanescente próxima de 40%, e cerca de 20% quando se manteve 20 Mg ha⁻¹. Esses resultados estão de acordo com os encontrados neste trabalho para Igaraçu do Tietê, uma vez que a taxa foi de 40 e 31% para 2,0 Mg ha⁻¹ e 7,5 Mg ha⁻¹ de palha de cana-de-açúcar, respectivamente. Resultados semelhantes também foram obtidos por Zotelli (2012) e Sousa Junior et al., (2017).

Como já foi visto por diversos autores e também neste trabalho, principalmente nos primeiros meses de desenvolvimento da cultura, a manutenção de quantidades crescentes de palha de cana-de-açúcar na superfície do solo pode reduzir as altas temperaturas e preservar a umidade do solo, o que favorece expressivamente o processo de decomposição, uma vez que

estas variáveis são determinantes na dinâmica das comunidades microbianas que são responsáveis pelo processo de decomposição (WAKSMAN; GERRETSEN, 1931; BRADY; WEIL, 2013).

Com relação ao tipo de solo, apesar de a área de Dois Córregos possuir um solo de textura arenosa, não foi observado um comportamento muito diferente das demais áreas na dinâmica de decomposição da palha, evidenciando que este fator não foi preponderante para alterar o processo neste trabalho. Estes resultados concordam com Santos, (2016) que não encontrou diferenças na taxa de decomposição da palha de cana-de-açúcar comparando solo arenoso e argiloso.

Além da matéria seca remanescente (%), outros parâmetros foram utilizados para avaliar a decomposição da palha, tais como: tempo de meia vida ($t_{1/2}$) e a constante de decomposição (k), ambos apresentados na Tabela 6. Em todos os locais foram encontradas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre o $t_{1/2}$, entretanto, foi em Igarapu do Tietê onde os valores se apresentaram menores e diretamente proporcionais à quantidade de palha mantida sobre o solo. Já nas outras áreas, os valores foram mais próximos, o que pode ser explicado com base na precipitação dos primeiros seis meses de avaliação, uma vez que foram registrados 1168 e 807 mm em Igarapu do Tietê e Piracicaba, respectivamente.

Apenas em Igarapu do Tietê foi observada diferença estatística ($p \leq 0,05$) para o k entre as diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar, diferindo entre todos os tratamentos, com velocidade de decomposição diretamente proporcional a quantidade de palha mantida sobre o solo. Os valores de k dos outros locais ficaram muito próximos, o que evidencia que a quantidade de resíduo no solo não influenciou muito na velocidade de decomposição do resíduo.

Tabela 2. Quantidade média de palha remanescente nas três áreas de estudo ao longo dos tempos de coleta.

Quantidade de palha		Tempo (meses)													
(Mg ha ⁻¹)		1			2			4			6			12	
Igarçu do Tietê	Piracicaba e Dois Córregos	IT	PI	DC	IT	PI	DC	IT	PI	DC	IT	PI	DC	IT	PI
2	3	93a	92ab	92a	83a	86b	84ab	71a	72b	70ab	63a	63b	58a	40a	49a
3,2	6	92ab	91b	90a	85a	85b	85a	75a	73b	69b	62a	65a	54ab	33b	45ab
7,5	12	91b	94a	93a	83a	88a	84b	71a	75a	71a	59b	66a	59b	31c	47b

IT: Igarçu do Tietê; PI: Piracicaba; e DC: Dois Córregos.

Dados seguidos pela mesma letra na coluna (quantidades de palha dentro do mesmo local) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).**Tabela 3.** Constante de decomposição (k) e tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) para as três áreas de estudo.

Igarçu do Tietê			Piracicaba			Dois Córregos		
$X_0^{(1)}$	$k^{(2)}$	$t_{1/2}^{(3)}$	X_0	k	$t_{1/2}$	X_0	k	$t_{1/2}$
Mg ha ⁻¹	mês ⁻¹	meses	Mg ha ⁻¹	mês ⁻¹	meses	Mg ha ⁻¹	mês ⁻¹	meses
2	0,8a	9,1a	3	0,6a	11,7a	3	0,9a	7,2b
3,2	0,9a	7,6b	6	0,7a	10,4b	6	0,10a	6,6a
7,5	0,10a	7,1c	12	0,6a	11,0ab	12	0,10a	6,7a

⁽¹⁾ Quantidade inicial de palha depositada sobre o solo em Mg ha⁻¹.⁽²⁾ Constante de decomposição da palha em mês⁻¹.⁽³⁾ Tempo de meia vida da palha em meses.Dados seguidos pela mesma letra coluna (quantidades de palha dentro do mesmo local) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Como visto neste trabalho, um ciclo de produção da cana-de-açúcar não é suficiente para degradar toda palha mantida na superfície do solo. Autores como Fortes et al., (2012) perceberam que com uma quantidade próxima de 10 Mg ha⁻¹ sobre o solo, houve uma redução de 45% em um ciclo, e após dois ciclos a redução chegou a 73%. Já Yamaguchi, (2015) encontrou uma redução de até 68% no primeiro ciclo e 92% no segundo ciclo produtivo da cana-de-açúcar. Dessa maneira, uma vez que este é um processo totalmente variável, é importante que sejam realizados mais estudos que acompanhem a decomposição durante os demais ciclos da cultura, a fim de buscar entender melhor este comportamento ao longo do tempo.

Na Tabela 7 são apresentados os dados de temperatura e umidade do solo para os primeiros meses de avaliação de matéria seca remanescente. Através desses resultados é possível perceber que a influência dessas variáveis no decaimento de matéria seca deve ter sido maior durante as primeiras avaliações (2 e 4 meses), uma vez que aos 6 meses de avaliação já não era possível observar o efeito dos tratamentos nas variações de temperatura e umidade do solo. A partir desse período, o incremento de IAF da cultura já é bastante alto, então o processo de decomposição pode se tornar mais lento, já que existe uma atenuação na incidência solar que é essencial no processo de decomposição. Nessa fase a manutenção da umidade continua alta e as temperaturas em faixas aceitáveis para a cultura, mas já não há mais efeito dos tratamentos com palha na dinâmica dessas variáveis.

Tabela 4. Relação da matéria seca remanescente (MSR) da palha de cana-de-açúcar com a temperatura e a umidade do solo.

Quantidade de palha (Mg ha ⁻¹)	Tempo (meses)								
	2			4			6		
Igarapé do Tietê	⁽¹⁾ MSR(%)	⁽²⁾ T(°C)	⁽³⁾ U(%)	MSR(%)	T(°C)	U(%)	MSR(%)	T(°C)	U(%)
2	83	26,8	24,9	71	26,5	21,5	63	23,2	25,9
3,2	85	26,4	27,1	75	26,5	21,6	62	23,1	25,3
7,5	83	26,2	28,2	71	26,2	22,7	59	23,0	25,9
Piracicaba	MSR(%)	T(°C)	U(%)	MSR(%)	T(°C)	U(%)	MSR(%)	T(°C)	U(%)
3	86	26,5	10,7	72	23,1	12,2	63	19,4	8,5
6	85	26,2	10,9	73	22,7	13,1	65	19,2	8,9
12	88	25,9	12,5	75	22,4	13,9	66	19,2	9,1
Dois Córregos	MSR(%)	T(°C)	U(%)	MSR(%)	T(°C)	U(%)	MSR(%)	T(°C)	U(%)
3	84	21,1	15,3	70	23,7	17,8	58	24,4	16,5
6	85	20,4	19,7	69	23,6	16,4	54	24,4	16,9
12	84	20,3	23,4	71	23,1	19,5	59	24,2	14,0

⁽¹⁾T(°C): Temperatura do solo na profundidade 0-5 cm; ⁽²⁾U (%): Umidade do solo na profundidade 0-20 cm.

Vale destacar que os experimentos foram conduzidos em tipos de solo e épocas distintas do ano, o que pode alterar a dinâmica de decomposição dos resíduos. Em Igarapu do Tietê e Piracicaba os experimentos foram implantados durante o verão (estação chuvosa), e em Dois Córregos durante o inverno (estação seca). A precipitação registrada nos primeiros seis meses de condução dos experimentos foi de 1168, 807 e 993 mm para Igarapu do Tietê, Piracicaba e Dois Córregos, respectivamente. Com base nisso, é possível dizer que em Igarapu do Tietê pode ter havido uma maior influência da umidade do solo no processo de decomposição, uma vez que a precipitação se apresentou ligeiramente maior nesses primeiros meses (período em que ocorre o maior decaimento de matéria seca).

Através de todo exposto, fica claro que, apesar da decomposição da palha de cana-de-açúcar ser um processo bastante conhecido, é necessário que outras pesquisas sejam realizadas, já que este é um processo totalmente dinâmico e variável. É importante que sejam realizados estudos em condições controladas de temperatura e umidade, para entender melhor a influência dessas variáveis no processo.

5. CONCLUSÕES

Nas três áreas de estudo, as diferentes quantidades de palha sobre o solo interferiram significativamente na manutenção da umidade do solo, nas camadas 0-20 e 20-40 cm de profundidade, durante a fase inicial de crescimento da cultura, principalmente no tratamento com maior quantidade de palha sobre o solo.

A temperatura média, máxima e a amplitude térmica do solo foram as variáveis que apresentaram maiores diferenças entre o solo descoberto e o solo mantido com diferentes quantidades de palha na superfície, principalmente no tratamento com maior quantidade de palha. Apesar da pouca variação entre os tratamentos, a temperatura mínima do solo manteve-se sempre em valores adequados para um bom desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar.

O solo arenoso demonstrou um efeito distinto aos demais solos (textura média e muito argiloso) apenas na dinâmica da água no solo, com uma diferença entre os tratamentos durante quase todo o ciclo. A textura do solo não foi determinante para gerar alterações na temperatura do solo.

Diferentes quantidades de palha mantidas sobre o solo pouco alteraram a quantidade de matéria seca remanescente de palha nas áreas de Piracicaba e Dois Córregos, enquanto na área de Igarapu do Tietê o processo foi diretamente proporcional à quantidade de palha mantida sobre o solo. Esse comportamento se deve principalmente ao solo muito argiloso aliado a elevada precipitação registrada nesta área no período experimental.

As maiores quantidades de palha depositadas na superfície do solo (7,5 e 12 Mg ha⁻¹) são as mais eficientes na redução das altas temperaturas e manutenção da umidade do solo. Entretanto, metade dessas quantidades (3,2 e 6 Mg ha⁻¹) apresentam um comportamento semelhante. Desta forma, metade de toda palha gerada da colheita pode ser destinada para a produção de etanol 2G na indústria e a outra metade pode ser mantida sobre o solo.

Por fim, os resultados apresentados neste trabalho podem colaborar para uma melhor compreensão do papel da temperatura e umidade do solo no desenvolvimento da cana-de-açúcar e na decomposição da palha proveniente da colheita. Além disso, estes dados servem de base científica para modelos e avaliações integradas que visam avaliar o impacto do manejo da palha na sustentabilidade da produção de bioenergia a partir da cana-de-açúcar no Brasil.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, J.A. de A.; AMADO, T.J.C.; SILVA, L.S. da; SANTI, A.; WEBER, M.A. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.44, p.801-809, 2014.
- ALMEIDA, R. E. **Evaporação e temperatura em solos mantidos com diferentes quantidades de resíduos em superfície**. Tese de Doutorado (Programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria-RS. 2011. 118p.
- ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, v.22, p.25-36, 2001.
- ANDRADE, J.G. **Perdas de água por evaporação de um solo cultivado com milho nos sistemas de plantio direto e convencional**. Dissertação de Mestrado (Programa de pós-graduação em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2008. 93p.
- ANDRADE, J.G.; SEGUÍ, J.P.; CARLESSO, R.; TROIS, C.; KNIES, A.E. Perdas de agua por evaporacion em maiz con siembra convencional y directa para diferentes niveles de cobertura muerta. I. Resultados experimentales. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, v.20, p.60-64, 2011.
- ANJOS, J. C. R dos. **Dinâmica da água e da temperatura em um Plintossolo Argilúvico cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes níveis de palhada**. Dissertação de Mestrado (Programa de pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí. Piauí- PI. 2014. 79p.
- AQUINO, G. S. **Desenvolvimento e produção da cana-de-açúcar em sistema sob palhada**. Dissertação de Mestrado (Programa de pós-graduação em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, PR. 2012. 84p.
- ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.2, p.337-345, 2004.
- AWE, G.O.; REICHERT, J.M.; WENDROTH, O.O. Temporal variability and covariance structures of soil temperature in a sugarcane field under different management practices in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.150, p.93-106, 2015.
- AZOOZ, R.H.; ARSHAD, M.A.; FRANZLUEBBERS, A.J. Pore size distribution and hydraulic conductivity affected by tillage in Northwestern Canada. **Soil Science Society of America Journal**, v.60, p.1197-1201, 1996.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; ERNANI, P.R. Stocks and humification degree of organic matter soil as affected by no-tillage on a subtropical soil. **Plant Soil**, v.238, p.133-140, 2002.

- BENEDETTI, M. M. **Palhada de cana-de-açúcar em condição de cerrado: decomposição e disponibilidade de nutrientes**. Tese de Doutorado (Programa de pós-graduação em Agronomia) – Universidade de Uberlândia, Uberlândia-MG. 2014. 78p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7.ed. Viçosa-MG: Editora UFV, 2005. 611p.
- BIZARI, D. R.; MATSURA, E. E.; ROQUE, M. W.; SOUZA, A. L. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, v.39, p.2073-2079, 2009.
- BLACKBURN, F. **Sugar-cane**. New York: Longman, 1984. 414p.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3.ed. Porto Alegre-RS: Bookman, 2013. 704p.
- BRAGAGNOLO, N., MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por resíduos de oito seqüências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 91-98, 1990.
- CARDOSO, D.P.; SILVA, M.L.N.; CARVALHO, G.J.; FREITAS, D.A.F.; AVANZI, J.C. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 6, p. 632-638, 2012.
- CARNEIRO, R.G.; MOURA, M.A.L.; SILVA, V.P.R.; SILVA JÚNIOR, R.S.; ANDRADE, A.M.D.; SANTOS, A.B. Estudo da temperatura do solo em dois biomas florestais nos períodos, chuvoso e seco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 1009-1022, 2013.
- CARVALHO, A.M. de; BUSTAMANTE, M.M. da C.; SOUZA JUNIOR, J.G. de A.; VIVALDI, L.J. Decomposição de resíduos vegetais em Latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2831-2838, 2008.
- CARVALHO, J. L. N.; NOGUEIROL, R. C.; MENANDRO, L. M. S.; BORDONAL, R. D. O.; BORGES, C. D.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H. C. J. (2017), Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review. **Global Change Biology Bioenergy**, v.9, p.1181-1195, 2016.
- CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia de cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157p.
- CASAGRANDE, A. A.; VASCONCELOS, A. C. M. **Fisiologia da parte aérea**. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; ANDRADE LANDELL, M.G. de. Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônômico, p.57-58, 2008.
- CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W.E.; MELILLO, J.M.; CERRI, C.C. Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, v.64, p.83-99, 2007.

- CHABAT, M. M. **Influência dos resíduos vegetais na superfície do solo na dinâmica de evaporação da água e temperatura do solo.** Dissertação de mestrado (Programa de pós-graduação em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2010. 92p.
- CHERUBIN, M. R.; OLIVEIRA, D. M. S.; FEIGL, B. J.; PIMENTEL, L. G.; LISBOA, I. P.; GMACH, M. R.; VARANDA, L. L.; MORAIS, M. C.; SATIRO, L. S.; POPIN, G. V.; PAIVA, S. R.; SANTOS, A. K. B.; VASCONCELOS, A. L. S.; MELO, P. L. A.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Crop residue harvest for bioenergy production and its implications on soil functioning and plant growth: A review. **Scientia Agricola**, 2017. *In press*.
- CONAB, **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da safra brasileira de cana (4º levantamento)- Safra 2016/2017. Brasília, v.3, n.4, p.1-77, 2017.
- COPERSUCAR. **Potencial de produção de cana-de-açúcar.** In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA. Centro de Tecnologia Copersucar. Piracicaba, p.68-76, 1997.
- COSTA, W.A.J.M.D.; SANGAKKARA, U.R. Agronomic regeneration of soil fertility in tropical Asian smallholder uplands for sustainable food production. **Journal of Agricultural Science**, v.144, p.111-133, 2006.
- CRUZ, S. J. S.; OLIVEIRA, S. S. C; CRUZ, S. C. S.; MACHADO, C. G.; PEREIRA, R. G.Efeito da adubação fosfatada sobre o acúmulo de biomassa e teor de brix de duas variedades de cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 2, p. 110-116, 2009.
- DERPESCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, p. 721-773, 1985.
- DIAS, M. O. S.; ENSINAS, A. V.; NEBRA, S. A.; MACIEL FILHO, R.; ROSSEL, C. E. V.; MACIEL, M. R. W. Production of bioethanol and other bio-based materials from sugarcane bagasse: Integration to conventional bioethanol production process. **Chemical Engineering Research & Design**, n. 87, p. 1206-1216, 2009.
- DIETRICH G. **Decomposição e liberação de nitrogênio da palha de cana-de-açúcar em função do ambiente e quantidade de palha.** Dissertação de Mestrado (Programa de pós-graduação em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, RS. 2014. 58p.
- DOURADO-NETO, D.; TIMM, L.C.; OLIVEIRA, J.C.M.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S.; TOMINAGA, T.T.; CÁSSARO, F.A.M. Statespace approach for the analysis of soil water content and temperature in a sugarcane crop. **Scientia Agricola**, v.56, p. 1215- 1221, 1999.
- EBRAHIM, M.K.H.; VOGG, G.; OSMAN, M.N.E.H; KOMOR, E. Photosynthetic performance and adaptation of sugarcane at suboptimal temperatures. **Journal of Plant Physiology**, v.153, p.587-592, 1998.

- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Manual de métodos de análise de solo**, Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FANG, S.; XIE, B.; LIU, D.; LIU, J. Effects of mulching materials on nitrogen mineralization, nitrogen availability and poplar growth on degraded agricultural soil. **New Forests**, v. 41, p.147-162, 2011.
- FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; MANZONI, C. S.; PENATTI, C. P.; TRIVELIN, P. C. O. Degradação da palha (15^N) de cana-de-açúcar em dois anos consecutivos. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: UNESP/SBCS, v. 1, p.1-4, 2003.
- FERREIRA JÚNIOR, R.A; SOUZA, J.L; LYRA, G.B; TEODORO, I; SANTOS, M.A; PORFIRIO, A.C.S. Crescimento e fotossíntese de cana-de-açúcar em função de variáveis biométricas e meteorológicas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.11, p.1229-1236, 2012.
- FIDALSKI, J.; AULER, P. A. M.; BERALDO, J. M. G.; MARUR, C. J.; FARIA, R. T.; BARBOSA, G. M. C. Disponibilidade de água no solo em sistemas de preparo, manejo da cobertura morta e porta-enxertos de citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.3, p.917-924, 2010.
- FIGUEIREDO, C.C.; RAMOS, M.L.G.; TOSTES, R. Propriedades físicas e matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo e cerrado nativo. **Bioscience Journal**, v.24, p.24-30, 2008.
- FORTES, C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. Long-term decomposition of sugarcane harvest residues in Sao Paulo state, Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 42, p.189-198, 2012.
- FRANCHINI, J.C.; CRISPINO, C.C.; SOUZA, R.A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil Tillage Research**, v.92, p.18-29, 2007.
- FREITAS, C.E. **Qualidade da matéria prima**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- Embrapa. Brasília, DF. ANAIS. 2007.
- FURLANI NETO, V.L.; RIPOLI, T.C.; VILA NOVA, N.A. Biomassa de cana-de-açúcar: energia contida no palhço remanescente de colheita mecânica. **Revista STAB**, v.15, p.24-27, 1997.
- GASPARIN, E.; RICIERI, R. P.; SILVA, S. L.; DALLACORT, R.; GNOATTO, E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, p.107-115, 2005.
- GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; PENATTI, C.P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto ou não com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1347-1354, 2001.

- GILL, K.S.; GAJRI, P.R.; CHAUDHARY, M.R.; SINGH, B. Tillage, mulch, and irrigation effects on corn (*Zea mays* L.) in relation to evaporative demand. **Soil Tillage Research**, v.39, p.213-227, 1996.
- GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.4, p.378-386, 2010.
- HARTT, C.E. The effect of temperature upon translocation of C14 in sugarcane. **Plant Physiology**, v.40, p.74-81, 1965.
- HILLEL, D. **Environmental soil physics**. London: Academic Press, 1998.
- IFTIKHAR, F.; ALI, S. Impact of different types of mulches on soil moisture. **Sarhad Journal of Agriculture**, v.20, n.4, p.571-573, 2004.
- INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, v. 92, p. 185-202, 2005.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC., United Nations Environment Programme. **Assessment Report 4: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva: 2007. 104p.
- IVO, W. M. P. de; SILVA, E. F. da; SILVA, P. A.; SANTIAGO, A. D.; MARAFON, A. C. Impacto do manejo de palha da cana-de-açúcar na produção e decomposição desses resíduos. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 34., 2013, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 4p, 2013.
- JIMÉNEZ, M. N; PINTO, J. R.; RIPOLL, M. A.; SÁNCHEZ-MIRANDA, A.; NAVARRO, F. B. Impact of straw and rock-fragment mulches on soil moisture and early growth of holm oaks in a semiarid area. **Catena**, v.152, p.198-206, 2017.
- JORDÁN, A.; ZAVALA, L.M.; GIL, J. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in Southern Spain. **Catena**, v. 81, n. 1, p. 77-85, 2010.
- KNIES, A. E. **Temperatura e umidade de um solo franco arenoso cultivado com milho**. Dissertação de mestrado (Programa de pós-graduação em Ciência do Solo)-Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2010. 104p.
- LAL, R.; LOGAN, T. J. **Agricultural activities and greenhouse gas emissions from soils of the tropics**. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; LEVINE, E.; STEWART, B. A. (Eds.) Soil management greenhouse effect. Boca Raton: CRC Press, p.293-307, 1995.
- LAL, R. Soil temperature, soil moisture and maize yield from mulched and unmulched tropical soils. **Plant & Soil**, v.40, p.129-143, 1974.

- LEAL, M.R.L.; 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**, v.53, p.11-19, 2013.
- LISBOA, I. P.; CHERUBIN, M.R.; CERRI, C. C.; CERRI, D. G. P.; CERRI, C. E. P. Guidelines for the recovery of sugarcane straw from the field during harvesting. **Biomass and Bioenergy**, v.96, p. 69-74, 2017.
- MANHÃES, C. M. C.; GARCIA, R. F.; FRANCELINO, F. M. A.; FRANCELINO, H. DE O.; COELHO, F. C. Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. **Vértices**, v.17, p.163-181, 2015.
- MARCOCCIA, R. **A participação do etanol brasileiro em uma nova perspectiva na matriz energética mundial**. Dissertação de mestrado (Programa de Pós Graduação em Energia). Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 95p. 2007.
- MARIN F. R. **Variedades**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC) – EMBRAPA, 2009.
- MARTINS FILHOS, M.V.; LICCIOTI, T.T.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SANCHEZ, R.B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.1, p.8-18, 2009.
- MATEUS, G.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; NEGRISOLI, E. Palhada do sorgo de guiné gigante no estabelecimento de plantas daninhas em área de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.6, 2004.
- MEDEIROS, J. D.; CLARKE, J. A. G. Variabilidade espacial do conteúdo de água no solo numa pequena bacia rural: Análise geoestatística. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 1, p. 43-52, 2007.
- MESQUITA, M.G.B.F.; MORAES, S.O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, v.34, p.963-969, 2004.
- MIRANDA, F. R. de; OLIVEIRA, F. N. S.; ROSA, M. de F.; LIMA, R. N. Efeito da cobertura morta com a fibra da casca de coco sobre a temperatura do solo. **Ciência Agrônômica**, v. 35, p.335-339, 2004.
- MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras: Editora UFLA, 2006, 729p.
- MOTA, F.S. Meteorologia agrícola. São Paulo, Nobel, 1989. 201p.
- MULUMBA, L.N.; LAL, R. Mulching effects on selected soil physical properties. **Soil and Tillage Research**, v.98, p.106-111, 2008.
- NUNES, R.M.; GUARDA, E.A.; SERRA, J.C.V.; MARTINS, A.A. Resíduos agroindustriais: potencial de produção do etanol de segunda geração no Brasil. **Revista Liberato**, v. 14, n. 22, p.113-238, 2013.

- OLIVEIRA, M. W., TRIVELIN, P. C. O., GAVA, G. J. C. E PENATTI, C. P. Degradação da palhada de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v.56, p. 803-809, 1999.
- OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; KINGSTON, G.; BARBOSA, M.H.P.; VITTI, A.C. Decomposition and release of nutrients from sugarcane trash in two agricultural environments in Brazil. In: Conference of Australian Society of Sugar Cane Technologists, **Proceedings...** v.24, p.1-10, 2002.
- OLIVEIRA, M.L.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R. Flutuações de temperatura e umidade em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p.535-539, 2005.
- PAIVA, A.Q.; ARAÚJO, Q.R. **Fundamentos do manejo e da conservação dos solos na região produtora de cacau da Bahia**. In: VALLE, R.R., ed. Ciência, tecnologia e manejo do cacau. 2.ed. Brasília, Ceplac/CEPEC/SEFIS, 2012. p.115-134.
- PEREIRA, F. F. S.; MATSURA, E. E.; MOUSINHO, F. E. P.; BIZARI, D. R. Retenção de água em níveis de cobertura morta no feijoeiro irrigado em sistema plantio direto. **Irriga**, v. 20, n. 3, p. 557-569, 2015.
- PERES, J. G.; SOUZA, C. F.; LAVORENTI, N. A. Avaliação dos efeitos da cobertura de palha de cana-de-açúcar na umidade e na perda de água do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 5, p. 875-886, 2010.
- PEZZOPANE, J.E.M.; CUNHA, G.M.; ARNSHOLZ, E.; COSTALONGA JÚNIOR, M. Temperatura do solo em função da cobertura morta por palha de café. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n.2, p. 7-10, 1996.
- POTRICH, D. C., MARCHETTI, M. E., POTRICH, D. C., ENSINAS, S. C., SERRA, A. P., SILVA, E. F. E SOUZA, N. H. Decomposição de resíduos culturais de cana-de-açúcar submetidos a diferentes doses de nitrogênio. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, p.1751-1760, 2014.
- RAMOS, N.P.; YAMAGUCHI, C.S.; PIRES, A. M. M.; ROSSETTO, R.; POSSENTI, R. A.; PACKER, A. P.; CABRAL, O. M. R.; ANDRADE, C. A. Decomposição de palha de cana-de-açúcar recolhida em diferentes níveis após a colheita mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1492-1500, 2016.
- REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações**. São Paulo, Manole, 2004. 478p.
- RESENDE, F. V.; SOUZA, L. S.; OLIVEIRA, P. S. R.; GUALBERTO, R. Uso de cobertura morta vegetal no controle da umidade e temperatura do solo, na incidência de plantas invasoras e na produção da cenoura em cultivo de verão. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 1, p.100-105, 2005.

- REZENDE, C.P.; CANTARUTTI, R.B.; BRAGA, J.M.; GOMIDE, J.A.; PEREIRA, J.M.; FERREIRA, E.; TARRÉ, R.; MACEDO, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; CADISCH, G.; GILLER, K.E.; BODDEY, R.M. Litter deposition and disappearance in Brachiaria pastures in the Atlantic Forest region of the south of Bahia, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.54, p.99-112, 1999.
- RIBAS, G. G.; STRECK, N.A.; SILVA, S.D.; ROCHA, T. S. M.; LANGNER, J.A. Temperatura do solo afetada pela irrigação e por diferentes coberturas. **Revista Engenharia Agrícola**, v.35, n.5, p.817-828, 2015.
- ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; CANTARELLA, H.; LANDEL, M.G.A. **Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes em cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecânica**. Informações Agronômicas, Piracicaba, n.124, p. 8-13, 2008.
- SÁ, J. C. M.; CERRI, C.C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENZKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E. Organic matter dynamic and carbon sequestration rates for a tillage chronosequences in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.1486-1499, 2001.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.313-319, 1995.
- SANTOS, A. P. G. **Manutenção da palha em superfície e seu efeito nos atributos do solo e na produtividade do canavial**. Tese de Doutorado (Programa de Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas, SP. 159 p. 2016.
- SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 353p, 2013.
- SERAFIM, L.G.F. STOLF, R.; SILVA, J. R.; SILVA, L. C. F.; MANIERO, M. A. Influência do plantio mecanizado no índice de brotação da cana-de-açúcar. In: CONGRESO LATINO AMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, 10., 2012, Londrina. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CLIA/CONBEA, 41., 2012, Londrina. **Anais...** Londrina, [S.n.], 2012. p.1- 4.
- SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. & CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.91-95, 1986.
- SILVA, C.A.; MACHADO, P. L. O. A. **Sequestro e emissão de carbono em ecossistemas agrícolas: Estratégias para o aumento dos estoques de matéria orgânica em solos tropicais** (Documentos, 19). Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 23p. 2000.
- SILVA, C.L.; KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, p.213-220, 1997.

- SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. **Matéria orgânica do solo**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.
- SILVA, V. R. da; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variação na temperatura do solo em três sistemas de manejo na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, p. 391-399, 2006.
- SIX, J., FELLER, C., DENEFF, K., OGLE, S.M., SÁ, J.C.M., ALBECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils- effect of no-tillage. **Agronomie**, v. 22, p.755-775, 2002.
- SIX, J.; FREY, S. D.; THIES, R. K.; BATTEN, K. M. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. **Soil Science Society America Journal**, v. 70, n. 2, p. 555-569, 2006.
- SMIT, M.A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v. 98, p. 91-97, 2006.
- SOUSA JUNIOR, J. G. A. **Decomposição de diferentes doses de palhada de cana-de-açúcar e seu efeito sobre o carbono do solo**. Tese de Doutorado (Programa de pós-graduação em Ciências). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 91p. 2015.
- SOUSA, V. F. de; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011.
- SOUZA, Z. M.; PRADO, R. M.; PAIXÃO, A. C. S. P.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.3, p.271-278, 2005.
- STANGHELLINI, C. Evapotranspiration in greenhouse with special reference on Mediterranean conditions. **Acta Horticulturae**, v. 335, p. 296-304, 1993.
- STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 4, p. 835-841, 2000.
- STONE, L.F. Irrigação do feijoeiro e do arroz de terras altas no sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, v.14. p.31-34, 2005.
- STRECK, N. A.; SCHNEIDER, F.M.; BURIOL, G.A. Modificações físicas causadas pelo mulching. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.2, p. 131-142, 1994.
- SZAKÁCS, G.G.J. **Estoques de carbono e agregados do solo cultivado com cana-de-açúcar: efeito da palhada e do clima no centro-sul do Brasil**. Tese de Doutorado (Programa de pós-graduação em Ciências). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 105p. 2007.

- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 174p. 1995.
- TIMM, L. C. **Efeito do manejo da palha da cana-de-açúcar nas propriedades físico-hídricas de um solo**. Tese de Doutorado (Programa de pós-graduação em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 127p. 2002.
- TORRES, J.S.; VILLEGAS, F. Labranza reducida para renovación de plantaciones de caña de azúcar. In: ENCUESTRO NACIONAL DE LABRANZA DE CONSERVACIÓN, 1., Villavicencio, 1998. **Anais...** Villavicencio, 1998. p.337-352.
- TRIVELIN, P.C.O.; RODRIGUES, J.C.S.; VICTORIA, R.L.; REICHARDT, K. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia-¹⁵N e uréia-¹⁵N aplicado ao solo em complemento a vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, p.89-99, 1996.
- TSAI, S. M.; BARAIBAR, A.V.L.; ROMANI, V.L.M. **Efeito de fatores do solo**. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. (Eds). Microbiologia do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 1992. p. 59-72.
- UNGERA, P.W.; STEWARTA, B.A.; PARRB, J.F.; SINGHC, R.P. Crop residue management and tillage methods for conserving soil and water in semi-arid regions. **Soil & Tillage Research**, v.20, p.219-240, 1991.
- URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; OLIVEIRA, O.C.; LIMA, E. & GUIMARÃES, D.H.V. **Importância de não queimar a palha da cana-de-açúcar** (Comunicado Técnico, 5). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília, 1991.12p.
- VASCONCELOS, A.C.M. **Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita**: crua mecanizada e queimada manual. Tese de Doutorado (Programa de pós-graduação em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal-SP. 2002. 140p.
- VELINI, E. D.; NEGRISOLI, E. Controle de plantas daninhas em cana crua. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22., 2000, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: 2000. p.148-164.
- VIANNA, M. S.; SENTELHAS, P. C. Simulação do risco de deficit hídrico em regiões de expansão do cultivo de cana-de-açúcar no Brasil. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.49, n.4, p.237-246, 2014.
- VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H., FARONI, C. E.; FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; TRIVELIN, M. O.; TOALIARI, J. G. Mineralização da palhada e desenvolvimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados à adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2757-2762, 2008.

- WAKSMAN, S.A.; GERRETSEN, F.C. Influence of temperature and moisture upon the nature and extent of decomposition of plant residues by microorganisms. **Ecology**, v.12, p.33-60, 1931.
- WANG, X.; JIA, Z.; LIANG, L. Effect of straw incorporation on soil moisture, evapotranspiration, and rainfall-use efficiency of maize under dryland farming. **Journal of soil and water conservation**, v.69, n.5, p.449-455, 2014.
- WELLS, K. L.; TOUCHTON, J. T. Soil Management and Fertility for No Till Production. In: Southern Region No Till Conference. **Proceedings...** Griffin, Georgia, julho, 1985. p.71-77.
- WILHELM, W.W., JOHNSON, J.M.F., HATFIELD, J.L., VOORHEES, W.B. AND LINDEN, D.R. Crop and soil productivity response to corn residue removal: A review of the literature. **Agronomy Journal**, v.96, p.1-17, 2004.
- WOOD, A.W. Management of crop residues following green harvesting of sugarcane in north Queensland. **Soil & Tillage Research**, v.20, p.69-85, 1991.
- YAMAGUCHI, C.S. **Decomposição da palha de cana-de-açúcar em função da quantidade aportada e da aplicação de vinhaça**. Dissertação de Mestrado (Programa de pós-graduação em Agricultura Tropical e Subtropical)- Instituto Agronômico de Campinas, Campinas-SP. 2015. 68p.
- YAMAGUCHI, C.S.; RAMOS, N. P.; CARVALHO, C. S.; PIRES, A. M. M.; ANDRADE, C. A. Sugarcane straw decomposition and carbon balance as a function of initial biomass and vinasse addition to soil surface. **Bragantia**, v. 76, n. 1, p.135-144, 2017.
- ZONTA, J.H.; MARTINEZ, M.A.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.; SANTOS, M.R. Efeito da Aplicação sucessiva de precipitações pluviais com diferentes perfis na taxa de infiltração de água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 377-388, 2012.
- ZOTELLI, L. C. **Palha e vinhaça: emissões de CO₂, N₂O e CH₄ em solo com cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical). Instituto Agronômico de Campinas, Campinas-SP. 2012. 77p.