

THALES CASSEMIRO ALVES

**TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO AÉREA E TERRESTRE NO CONTROLE DA
FERRUGEM ALARANJADA (*Puccinia kuehnni* (W. KRÜGER) E.J. BUTLER)
DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp*)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia como parte das exigências do Programa de
Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de
concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de
“Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL

2016

THALES CASSEMIRO ALVES

**TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO AÉREA E TERRESTRE NO CONTROLE DA
FERRUGEM ALARANJADA (*Puccinia kuehnni* (W. KRÜGER) E.J. BUTLER)
DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp*)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia como parte das exigências do Programa de
Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de
concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de
“Mestre”.

APROVADO em 26 de fevereiro de 2016.

Prof. Dr. Carlos Alberto Alves de Oliveira IFTM

Prof. Dr. Cleyton Batista de Alvarenga UFU

Prof. Dr. Alison Talis Martins Lima UFU

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha
ICIAG-UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

A474t Alves, Thales Cassemiro, 1983
2016 Tecnologia de aplicação aérea e terrestre no controle da ferrugem
alaranjada (*Puccinia kuehni* (W. KRÜGER) E.J. BUTLER) da cana-de-
açúcar (*Saccharum spp*) / Thales Cassemiro Alves. - 2016.
77 f. : il.

Orientador: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Cana-de-açúcar - Doenças e pragas - Teses.
3. Produtos químicos agrícolas - Teses. 4. Fungos fitopatogênicos -
Teses. I. Cunha, João Paulo Arantes Rodrigues da, 1976-. II.
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em
Agronomia. III. Título.

*À minha querida esposa, Fabiana Queiroz Barbosa;
aos meus estimados pais, José Carlos Alves e Divina Cassemira Alves,
meus exemplos de dedicação e hombridade.*

Dedico!

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a **DEUS**, por me conceder o dom da vida e do aprendizado, por ter-me dado saúde e força para concluir mais uma etapa importante.

Aos meus amados pais, **José Carlos Alves** e **Divina Cassemira Alves**. Se há algo que faz diferença na formação da personalidade e na vida de uma pessoa, é o amor que ela recebe. Vocês me educaram com amor, se dedicaram à minha educação como ser humano, me deram amor. Vocês fizeram de mim a pessoa que hoje sou, me incentivaram nas minhas escolhas, e eu só tenho motivos para agradecer.

À minha querida esposa, **Fabiana Queiroz Barbosa**, uma grande companheira, inteligente, astuta, dedicada, uma ótima profissional. Tem uma dignidade inabalável, que a caracteriza como responsável e competente.

À minha irmã, **Thaliane Cassemira Alves**, apaixonada pela vida, por seus amigos e por sua família. Tem a capacidade louvável de abrir mão de si pelo bem de outras pessoas.

Aos meus queridos avós, **Adão Severino Alves**, **Iolanda Martins Alves**, **Geraldo Gonsalves de Freitas** (*in memoriam*), **Abigail Cassemira de Freitas**, pois sem eles eu não estaria aqui.

Ao meu orientador e amigo **João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha**, grande exemplo de profissional e pessoa, em quem sempre me espelharei, por todos os ensinamentos transmitidos, pela paciência e dedicação, pelos conselhos e ajudas e, principalmente, por me orientar sempre com muita seriedade e confiança.

Aos membros da banca, professores **Cleyton**, **Alison** e **Carlos**, por aceitarem o convite, dedicarem o seu tempo e contribuírem para a melhoria deste trabalho.

Aos meus colegas de trabalho, eternos companheiros do LAMEC, **Rafael Marcão**, **Mariana**, **Guilherme**, **João Eduardo**, **Sérgio**, **Jorge**, **César**, **Rodrigo** (Pastor), **Artur** e **Olinto**, por toda amizade e ajuda, com os quais me diverti e aprendi muito. Em especial, ao **Rafael Marcão**, pelo companheirismo e amizade.

Ao **Robson Thiago**, pela ajuda ao ter concedido a realização deste trabalho na Usina Vale do Tijuco, Uberaba/MG, e pela amizade desde a época da graduação e, especialmente, na execução deste trabalho.

À professora **Denise Garcia de Santana** e ao **Vanderley José Pereira**, por contribuírem imensamente para a execução deste trabalho.

À empresa Companhia Mineira de Açúcar e Alcool (CMAA) – Usina Vale do Tijuco, por ter concedido a área e suporte técnico para realizar este trabalho. À empresa Produtiva Aeroagrícola, por ter fornecido a aeronave agrícola (Ipanema 202A) para a realização dos tratamentos fitossanitários na cultura. Aos pilotos **Rangel, Marinho e Jairo** e a toda a equipe da Produtiva Aeroagrícola, pela paciência, atenção e dedicação.

A todos os meus colegas de pós-graduação, que caminharam comigo durante esse período tão importante na minha vida, agregando aos meus conhecimentos e contribuindo para a minha formação profissional. Em especial, aos colegas **Ernane Lemes e Renata**, pela ajuda na realização em parte deste trabalho.

À **Universidade Federal de Uberlândia**, pela minha formação desde a graduação, e ao CNPq, por todo o apoio financeiro para a execução do mestrado.

Enfim, o meu muito obrigado a **todos**, inclusive àqueles que indiretamente contribuíram para a minha formação e para a execução deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
CAPÍTULO I.....	1
1 Introdução Geral	1
2 Objetivo Geral.....	5
2.1 Objetivos Específicos	5
Referências.....	6
CAPÍTULO II: Tecnologia de aplicação no controle da ferrugem alaranjada (Puccinia kuehnii (W. Krüger) E. J. Butler) da cana-de-açúcar	9
Resumo	10
Abstract.....	11
1 Introdução	12
2 Material e Métodos	14
2.1 Avaliação da tecnologia de aplicação.....	21
2.2 Avaliação do controle químico da ferrugem alaranjada.....	24
2.3 Biometria e produtividade da cana-de-açúcar.....	27
3 Resultados e Discussão	29
3.1 Avaliação da tecnologia de aplicação.....	29
3.2 Avaliação do controle químico da ferrugem alaranjada.....	38
3.3 Biometria e produtividade da cana-de-açúcar.....	44
4 Conclusões	47
Referências.....	48

CAPÍTULO III: Fisiologia da cana-de-açúcar em função da aplicação aérea e terrestre de fungicidas no controle da ferrugem alaranjada <i>Puccinia kuehnii</i> (W. Krüger) E. J. Butler	54
Resumo	55
Abstract	56
1 Introdução	57
2 Material e Métodos	59
2.1 Avaliação das trocas gasosas e quantificação de clorofilas <i>a</i> e <i>b</i> na cana-de-açúcar	59
3 Resultados e Discussão	61
3.1 Avaliação das trocas gasosas e quantificação de clorofilas <i>a</i> e <i>b</i> na cana-de-açúcar	61
4 Conclusões	72
Referências	73
CONSIDERAÇÕES FINAIS	77

RESUMO

ALVES, Thales Casseiro. **Tecnologia de aplicação aérea e terrestre no controle da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**. 2016. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.¹

A aplicação de produtos fitossanitários no setor sucroenergético, até recentemente, estava focada sobretudo no controle de plantas infestantes. Com o surgimento epidêmico da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, causada pelo fungo *Puccinia kuehnii*, as aplicações de fungicidas tornaram-se necessárias nas variedades suscetíveis. Porém, poucos estudos concernentes à tecnologia de aplicação são encontrados na literatura, especialmente em relação à aplicação aérea e aos efeitos promovidos na fisiologia das plantas. Este trabalho objetivou estudar as diferentes formas de aplicação de fungicidas na cana-de-açúcar, variedade SP81-3250, no que se refere a deposição de calda, controle da doença, produtividade e efeitos fisiológicos. Executaram-se duas aplicações de fungicidas dos grupos químicos Estrobilurinas e Triazóis nas unidades experimentais. Nas aplicações aéreas, utilizaram-se duas taxas de aplicação (30 e 40 L ha⁻¹) e três orientações dos bicos na barra de pulverização (135°, 0° e 90° em relação à linha de voo), sendo avaliado apenas na segunda aplicação o ângulo de 90°, considerado como padrão aéreo da Usina Vale do Tijuco. Já na aplicação terrestre, utilizaram-se taxa de aplicação de 200 L ha⁻¹ e pontas de pulverização de jato plano com indução de ar (AI11004-VS). Esse procedimento, considerado como padrão terrestre da referida Usina, foi avaliado apenas na primeira aplicação. Dividiu-se a pesquisa em duas partes. Na primeira, avaliaram-se as deposições da calda no dossel superior da cultura e as perdas para o solo, por meio da adição à calda do traçador Azul Brilhante para ser quantificado por absorvância em espectrofotometria. Além disso, conduziu-se um estudo do espectro de gotas por meio da avaliação dos impactos em papéis hidrossensíveis, quantificou-se a severidade da doença nas folhas a partir de um programa de análise de imagens digitalizadas e mensurou-se a biometria da cana-de-açúcar. Já na segunda parte da pesquisa, foram realizadas avaliações de trocas gasosas com analisador de gás IRGA e da quantidade de clorofilas *a* e *b* com um clorofilômetro. Os dados foram analisados usando o teste T de Student, para amostras independentes, a 0,05 de significância. A aplicação aérea com menor volume de calda (de 30 L ha⁻¹) proporcionou deposição de calda fungicida e produtividade maiores que as da aplicação com 40 L ha⁻¹. A angulação dos bicos de pulverização na barra da aeronave voltados para trás, de forma a produzir gotas maiores, não interferiu no resultado da aplicação, demonstrando ser uma alternativa viável para a redução de deriva. A aplicação aérea com gotas finas e médias proporcionou maior deposição de calda nas folhas de cana-de-açúcar e menor perda para o solo, em comparação com a aplicação terrestre com gotas extremamente grossas. A aplicação de fungicida gerou incrementos de produtividade superiores a 20 t ha⁻¹, independentemente da forma de aplicação, podendo alcançar 40 t ha⁻¹ com aplicações aéreas. A aplicação aérea proporcionou, em geral, melhores taxas fotossintéticas em relação à aplicação terrestre, com melhor desempenho da fotossíntese e maior concentração das clorofilas *a* e *b* no limbo foliar. Não foram detectadas diferenças nas trocas gasosas entre as aplicações aéreas nas distintas condições operacionais de taxa de aplicação e angulação do bico de pulverização na barra.

PALAVRAS-CHAVE: tecnologia de aplicação de agrotóxicos, analisador de trocas gasosas (IRGA), *Puccinia kuehnii*.

¹Orientador: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha – UFU.

ABSTRACT

ALVES, Thales Cassemiro. **Aerial and ground application of phytosanitary products to control orange rust in sugarcane.** 2016. 77 f. Dissertation (Master Program in Agronomy/Crop Science) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.²

The application of phytosanitary products in the sugar and ethanol industry has usually targeted pest control. With the epidemic rise in orange rust in sugarcane, caused by fungus *Puccinia kuehnii*, applications of fungicides are now necessary to protect susceptible varieties. However, few studies have focused on the impacts of the application technology, especially regarding the aerial application and its effects on the plant physiology. This study investigated the different forms of application of fungicides in sugarcane variety SP81-3250 and their association with spray deposition, disease control, productivity, and plant physiology. Experimental units received two different applications of fungicides of the chemical groups strobilurin and triazole. Aerial applications were performed using two different volume rates (30 and 40 L ha⁻¹) and spray bar nozzles in three different angles (135°, 0° and 90° to the flight line). The 90° angle, the aerial standard used at sugar factory Usina Vale do Tijuco, was assessed at the second application only. Ground applications were performed using rates of 200 L ha⁻¹ and flat fan spray nozzles with air induction (AI11004-VS). This procedure, used as the ground standard in the sugar factory, was measured in the first application only. The research was divided into two parts. In the first part, spray deposition in the upper canopy and losses to soil were assessed using tracer Brilliant Blue for absorbance spectrophotometry. In addition, sugarcane biometrics was measured, droplet spectrum was analyzed through the assessment of impacts on water sensitive paper, and disease severity on leaves was quantified using a digital image analysis software program. In the second part, gas exchange was assessed using gas analyzer IRGA, and the amount of chlorophyll a and b was measured using a chlorophyll meter. Data were analyzed using Student's t test for independent samples, with significance set at 0.05. Aerial application with lower volume rates (30 L ha⁻¹) provided greater deposition of fungicide and greater productivity than the application with 40 L ha⁻¹. The angle of the spray nozzles facing backwards in the plane bar, so as to produce larger droplets, did not influence the application result, and thus, proved to be a viable alternative to reduce drift. Aerial applications with fine and medium droplets provided higher spray deposition on sugarcane leaves and less loss to soil compared to ground applications with extremely coarse droplets. Fungicide application generated increases in productivity of over 20 t ha⁻¹, regardless of application form, reaching 40 t ha⁻¹ with aerial applications. Aerial application provided generally better photosynthetic rates compared to ground application, with better photosynthesis performance and higher concentration of chlorophyll a and b in the leaf blade compared to ground application. No differences were found in gas exchange across the air applications in different operating conditions for volume rates and angles of the spray bar nozzle.

KEYWORDS: agrochemical application technology, gas exchange analyzer (IRGA), *Puccinia kuehnii*.

² Supervisor: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha – UFU.

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO GERAL

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp), introduzida no período colonial, destaca-se como uma das principais culturas da economia agrícola brasileira, principalmente como fonte de biomassa energética. O gênero *Saccharum*, segundo Saciloto (2003) e Suguitani (2006), tem sua origem no Sudeste Asiático, na região centrada em Nova Guiné e Indonésia, sendo constituída por seis espécies. Entre tais espécies, *Saccharum officinarum* e *Saccharum spontaneum* são as principais utilizadas em programas de melhoramento genético, dando origem à maior parte das variedades de cana-de-açúcar cultivadas no mundo e no Brasil.

Atualmente, o Brasil é o maior produtor dessa matéria-prima, disponível o ano inteiro. Tal conquista deve-se aos avanços na bioengenharia e no setor sucroenergético, possibilitando a expansão da cultura nas principais regiões de produção, a saber: as regiões centro-sul e nordeste, com 89% e 11% da produção brasileira, respectivamente (UNICA, 2014). Na safra 2015/2016, estima-se que a área cultivada atinja 8,654 milhões de hectares e que sejam processadas 665,6 milhões de toneladas da matéria-prima (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2016). Esse aumento deve-se, principalmente, ao incremento do uso de energia renovável, “biocombustíveis”, à utilização dos subprodutos e resíduos industriais resultantes dos processos de fabricação do açúcar e álcool em lavouras, na produção de ração animal e na cogeração de energia elétrica (COLLICCHIO, 2008).

Devido à extensão do território brasileiro, a produtividade das variedades de cana-de-açúcar é fortemente influenciada por fatores abióticos, como clima, solo e nutrição, e por fatores bióticos, como doenças. Particularmente, as doenças podem limitar o desenvolvimento da cultura e provocar sérios prejuízos em condições favoráveis ao avanço do patógeno.

O primeiro relato no Brasil da ocorrência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar (*Puccinia kuehnii*) foi em Araraquara, no Estado de São Paulo, no dia 07 de dezembro de 2009. A doença foi detectada em uma área experimental constituída por diferentes cultivares de cana-de-açúcar (BARBASSO *et al.*, 2010).

Na atualidade, a doença mais preocupante ao setor sucroenergético é a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar (*Puccinia kuehnii* (W. Krüger) E. J. Butler) (CHAPOLA, 2013). Ela está disseminada por todo o Estado de São Paulo e presente nos Estados de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Espírito Santo, Paraná (CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA – CTC, 2011), Rio Grande do Norte e Alagoas (MONTEIRO *et al.*, 2012). Apesar de recente no Brasil, vem preocupando produtores e técnicos pelos danos que pode causar à cultura. De acordo com Araújo *et al.* (2011), em vários países, inclusive no Brasil, as perdas em variedades suscetíveis e intermediárias (*e.g.*, RB72454; SP89-1115; SP84-2025; SP81-3250; SP77-5181; CTC 9 e 15) mostraram-se superiores a 40%. Esse fato é preocupante, pois essas variedades representam grande parte da área de cultivo no Brasil.

As infecções por *Puccinia kuehnii* são favorecidas por temperaturas e umidades altas no verão e alternância de calor e frio no outono (MAGAREY, 2000). O conhecimento da epidemiologia da doença serve como base para aplicar os princípios do manejo integrado de pragas (MIP), pois esses princípios atuam diretamente no ciclo das relações patógeno-hospedeiro, impedindo ou retardando o desenvolvimento da doença (COSTA *et al.*, 2008).

Os sintomas iniciais da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar são pequenas manchas amarelas e alongadas, formando um halo verde-amarelado à medida que aumentam em tamanho. No momento em que as lesões crescem, tornam-se alaranjadas a laranja-acastanhadas, dependendo da variedade de cana-de-açúcar atacada. As lesões rapidamente progridem e rompem a epiderme das folhas, formando as pústulas curtas e ovais, de coloração laranja-claro, que são observadas, principalmente, na face inferior (abaxial) das folhas (GLYNN *et al.*, 2010). Em geral, as pústulas da ferrugem alaranjada tendem a ocorrer agrupadas e próximas ao ponto de inserção da folha ao colmo. Progressivamente, as pústulas se abrem, liberando os urediniósporos, que são unicelulares, ovóides a piriformes ou elipsoides, equinulados, de coloração amarela a castanho-claro, com até cinco poros equatoriais, espessura de parede de 1 a 2,3 µm e espessamento no ápice. Nas variedades altamente suscetíveis, as lesões nas folhas evoluem rapidamente e coalescem, levando à necrose (MAGAREY, 2000; VIRTUDAZO *et al.*, 2001; FERRARI *et al.*, 2010; MARTINS, 2010).

Nas regiões de ocorrência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, o controle da doença tem sido realizado por meio da substituição de variedades e do uso de fungicidas em aplicações preventivas nas variedades de cana-de-açúcar suscetíveis e

intermediárias. Nos períodos favoráveis ao desenvolvimento da doença, tem se mostrado bastante eficiente a aplicação de produtos fitossanitários, com a manutenção do potencial genético dos cultivares (MARGAREY, 2008).

Na literatura são encontrados poucos trabalhos que estudam a influência das características da aplicação, com relação tanto à eficiência quanto à eficácia. Determinar a qualidade das aplicações, ou seja, analisar a deposição, o comportamento da gota e as interações com a cultura são fundamentais na tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários.

Schneider (2011) estudou diferentes pontas de pulverização e taxas de aplicação em aplicações terrestres com pulverizador tratorizado em cana-de-açúcar, encontrando diferenças significativas entre as técnicas testadas, sem considerar, contudo, a eficácia do controle químico sobre a ferrugem alaranjada. Por essa razão, é grande a demanda por tecnologias de aplicação eficientes e de alta capacidade operacional, a exemplo da aplicação aérea (CAMARGO *et al.*, 2004; SOUZA *et al.*, 2011; BAUER; RAETANO, 2003).

As técnicas adequadas de aplicação de produtos fitossanitários, que favorecem o depósito do princípio ativo no alvo biológico, auxiliam a eficácia das aplicações, além de reduzirem perdas e riscos de contaminação ambiental (CUNHA, 2008; RODRIGUES *et al.*, 2010; VAN ZYL *et al.*, 2013). Por isso, é indispensável a atenção a fatores como pulverizador, espectro e densidade de gotas, perdas por deriva e taxa de aplicação (SOUZA *et al.*, 2011).

Nesse contexto, a aplicação de produtos fitossanitários visa ao manejo econômico, com distribuições corretas e uniformes das quantidades de produtos fitossanitários, para a contenção de insetos/pragas, doenças e plantas infestantes. Com isso, aumentam os ganhos de rentabilidade nas lavouras, além de se gerarem menores danos ao ambiente e à saúde humana (MINGUELA; CUNHA, 2010). No entanto, nos tratamentos fitossanitários, nota-se no campo que é dada muita atenção aos princípios ativos utilizados e suas características, mas a tecnologia empregada no momento da aplicação é ignorada em muitos casos (CUNHA, 2008).

Devido ao emprego inadequado das tecnologias de aplicação, sérios problemas de contaminação ambiental e humana podem ocorrer e prejudicar a economia e a eficiência do tratamento. Isso se dá principalmente através da deriva da calda de pulverização para outras áreas distantes dos alvos, além do escoamento superficial, da lixiviação, da contaminação dos cursos de água e lençol freático, bem como da

evaporação para o ambiente. Quanto a isso, fatores como as condições climáticas e os aspectos intrínsecos da tecnologia de aplicação são de extrema importância, especialmente no que se diz respeito à penetração da calda no dossel da cultura e à redução da deriva (MINGUELA; CUNHA, 2010; ANTUNIASSI; BOLLER, 2011).

Diante disso, faz-se necessário estudar métodos que otimizem a tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários na cultura da cana-de-açúcar, tendo em vista a correta deposição do princípio ativo no alvo biológico e objetivando o adequado controle da ferrugem alaranjada.

2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente trabalho foi estudar as tecnologias de aplicação aérea e terrestre de fungicidas no controle da ferrugem alaranjada da cultura da cana-de-açúcar.

2.1 Objetivos Específicos

Avaliar o espectro de gotas, a deposição de calda no dossel superior da planta e as perdas para o solo, com a utilização de diferentes taxas de aplicação e vias de aplicação aérea e terrestre.

Avaliar a efetividade das diferentes formas ou vias de pulverização no controle químico da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, causada por *Puccinia kuehnii* (W. Krüger) E. J. Butler, e determinar os ganhos de produtividade proporcionados por esse controle.

Analisar as respostas fotossintéticas da cana-de-açúcar promovidas por diferentes tecnologias de aplicação de fungicidas.

REFERÊNCIAS

- ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2011. 279p.
- ARAÚJO, K.L.; GILIO, T.A.S.; SANCHES, P.R.B.; NEUBAUER, R.A.; FAGUNDES, C.; BASSAN, B.E.; RODERO, D.P.; RODERO, D.C.P.; GIGLIOTI, E.A.; CANTERI, M.G. Monitoramento da favorabilidade genotípica para ocorrência da Ferrugem Alaranjada da cana-de-açúcar no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 36., 2011, Bento Gonçalves. **Resumos ...** Bento Gonçalves: Tropical Plant Pathology, 2011.p. 1091.
- BARBASSO, D.; JORDÃO, H.; MACCHERONI, W.; BOLDINI, J.; BRESSIANI, J.; SANGUINO, A. First report of *Puccinia kuehnii*, causal agent of orange rust of sugarcane, in Brazil. **Plant disease**, Saint Paul, v. 94, n. 9, p. 1170, 2010.
- BAUER, F.C.; RAETANO, C.G. Air-assisted boom sprayer in spray deposition on bean plants. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, n.2, p.211-215, 2003.
- CAMARGO, V.T.; BOMELLI, M.A.P.O.; ROMAGNOLE, E.W.C. Aplicações aéreas visando o controle da ferrugem da soja. In: III Sintag. Botucatu.SP, 2004. npag.
- CHAPOLA, R. G. **Reação de variedades de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehnii*)**. 2013. 77 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013. In: BARBASSO, D.; JORDÃO, H.; MACCHERONI, W.; BOLDINI, J.; BRESSIANI, J.; SANGUINO, A. First report of *Puccinia kuehnii*, causal agent of orange rust of sugarcane, in Brazil. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 94, n. 9, p. 1170, 2010.
- COLLICCHIO, E. **Zoneamento edafoclimático e ambiental para a cana-de-açúcar e as implicações das mudanças climáticas no estado do Tocantins**. 2008. 157 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- COSTA, F.M.; BARRETO, M.; KOSHIKUMO, E.S.M.; ALMEIDA, F.A. Progresso da ferrugem tropical do milho (*Zea mays* L), sob diferentes tratamentos fungicidas. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.34, n.3, p.248-252, 2008.
- CTC – Centro de Tecnologia Canavieira. **Mapa das ocorrências da ferrugem alaranjada** 2011. Disponível em:
<http://www.ctcanavieira.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=507:ferrugem-alaranjada-da-cana-de-acucar-mapa-deocorrencias&catid=3:destaque&Itemid=1460>. Acesso: 12 ago. 2014.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em:
<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_14_09_06_31_boletim_cana_portugues_-_4o_lev_-_15-16.pdf> . Acesso em 30 abr. 2016.

- CUNHA, J. P. A. R. Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes condições de pulverização. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1616-1621, 2008.
- FERRARI, J.T.; HARAKAVA, R.; DOMINGUES, R.J.; TERÇARIOL, I. M. L. **Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**. São Paulo: Instituto Biológico, 2010. 8p. (Documento Técnico, 5).
- GLYNN, N.C.; DIXON, L.J.; CASTLEBURY, L.A.; SZABO, L.J.; COMSTOCK, J.C. PCR assay for the sugarcane rust pathogens *Puccinia kuehnii* and *P.melanocephala* and detection of a SNP associated with geographical in *P.kuehnii*. **Plant Pathology**, Saint Paul, v.59, n.4, p.703-711, 2010.
- MAGAREY, R.C. Orange rust. In: ROTT, P.; BAILEY, R.A.; COMSTOCK, J.C.; CROFT, B.J.; GIRARD, J.C.; SAUMTALLY, A.S. **A guide to sugarcane diseases**. Montpellier: La Librairie du Cirad, 2000. p. 121-125.
- MARGAREY, R. C., BULL, J.I.; TOMASIN, W. A. Yield losses caused by leaf diseases: 1999 and 2003 selection trial analyses. **Proceedings of the Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technology**, Australian, p.303–321, 2008.
- MARTINS, T.D. Aspectos epidemiológicos da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. 2010. 67 f. Tese (Doutorando em Ciências. Área de concentração: Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- MINGUELA, V. J.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2010. 588p.
- MONTEIRO, J.H.A.; CRUZ, M. M.; BARBOSA, G.V.S. Primeiro relato da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar (*Puccinia kuehnii*) no nordeste do Brasil. In: XLV Congresso Brasileiro de Fitopatologia, Manaus, AM, 2012. **Tropical Plant Pathology**, Brasília: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, v.37 (suplemento), 2012.
- RODRIGUES, A. C. P.; FILHO, S. I. B. S.; MARTINS, D.; COSTA, N. V.; ROCHA, D. C.; SOUZA, G. S. F. Avaliação qualitativa e quantitativa na deposição de calda de pulverização em *Commelina benghalensis*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 421-428, 2010.
- SACIOTO, R. F. Z. **Inserção do gene PR5K em cana-de-açúcar visando induzir resistência ao fungo da ferrugem *Puccinia melanocephala***. 2003. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências, Fisiologia e Bioquímica de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba- SP.
- SOUZA, I.G. de.; OLIVEIRA, G.M.DE.; OLIVEIRA, V.A.B.DE.; IGARASHI,W.; BALAN,R.; ABI SAAB, O.J.G. **Comparação dos custos de aplicação de produtos fitossanitários por via aérea e terrestre com máquinas próprias e terceirizadas**. V Sinta, Cuiabá, MT, 2011. npag.

SOUZA, L. A.; CUNHA, J. P. A. R.; PAVANIM, L. A. Eficácia e perda do herbicida 2,4-D amina aplicado com diferentes volumes de calda e pontas de pulverização. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 1149-1156, 2011.

SUGUITANI, C. **Entendendo o crescimento e produção da cana de açúcar:** avaliação do modelo Mosicas. 2006. 60f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

SCHNEIDER, J.L. **Cobertura porcentual obtida pelo uso de diferentes pontas e taxas de aplicação, visando o controle da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar.** 2011. 77f. (Dissertação de Mestrado), Universidade Estadual de Londrina-UEL, Londrina-PR, 2011.

VAN ZYL, J. G. J.; FOURIEA, P. H.; SCHUTTEB, GERHARDUS, C. Spray deposition assessment and benchmarks for control of *Alternaria* brown spot on mandarin leaves with copper oxychloride. **Crop Protection.**, London, v. 46, n. 4. p. 80-87, 2013.

VIRTUDAZO, E.V.; NOJIMA, H.; KAKISHIMA, M. Taxonomy of *Puccinia* species causing rust diseases on sugarcane. **Mycoscience**, Tóquio, v. 42, p. 167-175, 2001.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCA. **UNICADATA: produção e acompanhamento de safra.** 2014. Disponível em: < <http://www.unicadata.com.br/>>. Acesso em: 02 out. 2014.

CAPÍTULO II

TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE FUNGICIDA NO CONTROLE DA FERRUGEM ALARANJADA (*Puccinia kuehnii* (W. Krüger) E. J. Butler) DA CANA-DE-AÇÚCAR

**TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE FUNGICIDA NO CONTROLE DA
FERRUGEM ALARANJADA (*Puccinia kuehnii* (W. Krüger) E. J. Butler)
DA CANA-DE-AÇÚCAR**

RESUMO

Com o aparecimento da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, as aplicações de fungicidas tornaram-se necessárias nas variedades suscetíveis. Porém, poucos estudos concernentes à tecnologia de aplicação são encontrados na literatura, especialmente em relação à aplicação aérea. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a deposição de calda no dossel da planta, as perdas para o solo, a efetividade do controle da ferrugem alaranjada e a produtividade proporcionada pela aplicação aérea e terrestre de fungicidas, em diferentes condições operacionais, na cultura da cana-de-açúcar. Executaram-se duas aplicações de fungicidas dos grupos químicos Estrobilurinas e Triazóis nas unidades experimentais. Nas aplicações aéreas, utilizaram-se duas taxas de aplicação (30 e 40 L ha⁻¹) e três orientações dos bicos na barra de pulverização (135°, 0° e 90° em relação à linha de voo). O ângulo de 90°, considerado como padrão aéreo da Usina Vale do Tijuco, foi avaliado apenas na segunda aplicação. Nas aplicações terrestres, utilizaram-se taxa de aplicação de 200 L ha⁻¹ e pontas de pulverização de jato plano com indução de ar (AI11004-VS). Esse procedimento, considerado como padrão terrestre da Usina Vale do Tijuco, foi avaliado apenas na primeira aplicação. Para a avaliação da deposição de calda nas plantas e das perdas para o solo, adicionou-se à calda o traçador Azul Brilhante para ser quantificado por absorvância em espectrofotometria. Conduziu-se um estudo do espectro de gotas por meio da avaliação dos impactos em papéis sensíveis à água. Quantificou-se a severidade da doença nas folhas a partir de um programa de análise de imagens digitalizadas. Mensurou-se também a biometria da cana-de-açúcar. Os dados foram analisados usando o teste T de Student, para amostras independentes, a 0,05 de significância. A aplicação aérea com menor volume de calda (de 30 L ha⁻¹) proporcionou deposição de calda fungicida e produtividade maiores que as encontradas para a aplicação de 40 L ha⁻¹. A angulação dos bicos de pulverização na barra da aeronave voltados para trás, de forma a produzir gotas maiores, não interferiu no resultado da aplicação, demonstrando ser uma alternativa viável para a redução de deriva. A aplicação aérea com gotas finas e médias proporcionou, em comparação com a aplicação terrestre com gotas extremamente grossas, maior deposição de calda nas folhas de cana-de-açúcar e menor perda para o solo. A aplicação de fungicida gerou incrementos de produtividade superiores a 20 t ha⁻¹, independentemente da forma de aplicação, podendo alcançar 40 t ha⁻¹ com aplicações aéreas.

PALAVRAS-CHAVE: pulverização aérea, ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, produtos fitossanitários.

FUNGICIDE APPLICATION TECHNOLOGY TO CONTROL ORANGE RUST (*Puccinia kuehnii* (W. Krüger) E. J. Butler) IN SUGARCANE

ABSTRACT

With the emergence of orange rust in sugarcane, applications of fungicides are now necessary to protect susceptible varieties. However, few studies have focused on the impacts of the application technology, especially those of the aerial applications. This study aimed to assess spray deposition on plant canopy, losses to soil, control effectiveness against orange rust and productivity provided by aerial and ground applications of fungicides to sugarcane crops in different operating conditions. Experimental units received two different applications of fungicides of the chemical groups strobilurin and triazole. Aerial applications were performed using two different volume rates (30 and 40 L ha⁻¹) and spray bar nozzles in three different angles (135°, 0° and 90 ° to the flight line). The 90° angle, the aerial standard used at sugar factory Usina Vale do Tijuco, was assessed at the second application only. Ground applications were performed using rates of 200 L ha⁻¹ and flat fan spray nozzles with air induction (AI11004-VS). This procedure, used as the ground standard in the sugar factory, was measured in the first application only. Spray deposition in the upper canopy and losses to soil were assessed using tracer Brilliant Blue for absorbance spectrophotometry. In addition, sugarcane biometrics was measured, droplet spectrum was analyzed through the assessment of impacts on water sensitive paper, and disease severity on leaves was quantified using a digital image analysis software program. Data were analyzed using Student's t test for independent samples, with significance set at 0.05. Aerial application with lower volume rates (30 L ha⁻¹) provided greater deposition of fungicide and greater productivity than the application with 40 L ha⁻¹. The angle of the spray nozzles facing backwards in the plane bar, so as to produce larger droplets, did not influence the application result, and thus, proved to be a viable alternative to reduce drift. Aerial applications with fine and medium droplets provided higher spray deposition on sugarcane leaves and less loss to soil compared to ground applications with extremely coarse droplets. Fungicide application generated increases in productivity of over 20 t ha⁻¹, regardless of application form, reaching 40 t ha⁻¹ with aerial applications.

KEYWORDS: aerial spraying, orange rust in sugarcane, plant protection products.

1 INTRODUÇÃO

A ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, causada pelo fungo *Puccinia kuehnii* (W. Krüger) E. J. Butler, pertencente à Divisão Basidiomycota, Classe Pucciniomycetes, Ordem Puccinales, Família Pucciniaceae (INDEX FUNGORUM, 2013), é atualmente uma das principais ameaças aos canaviais brasileiros. Em variedades suscetíveis, a aplicação de fungicidas para seu controle pode ser mensal, podendo ultrapassar a três aplicações antes da colheita. Isso acarreta a necessidade de estudar métodos mais eficazes de controle, com menor custo de produção e menores riscos ao ambiente. Para Chaim (2009), o objetivo primordial de uma aplicação de fitossanitário é a colocação da quantidade mínima do ingrediente ativo sobre o alvo para a obtenção da máxima eficiência, evitando a contaminação de áreas adjacentes.

Na aplicação de produtos fitossanitários nas lavouras, os equipamentos mais utilizados no Brasil são os pulverizadores terrestres de funcionamento hidráulico. No mercado existem vários pulverizadores, desde os mais simples quanto ao seu funcionamento, como os pulverizadores costais de acionamento manual, até os mais aprimorados, como os pulverizadores do tipo autopropelidos dotados de controladores eletrônicos (FERNANDES *et al.*, 2007). No entanto, a aplicação terrestre apresenta certas limitações, como as perdas por amassamento de plantas, a baixa capacidade operacional, a impossibilidade de entrada em culturas de maior porte e a compactação do solo devido à grande circulação de máquinas pesadas nas lavouras (JUSTINO *et al.*, 2006).

De acordo com Margarey (2008), têm se mostrado bastante eficazes as aplicações preventivas de fungicidas em variedades suscetíveis de cana-de-açúcar para o controle da ferrugem alaranjada. Contudo, conforme o desenvolvimento da cultura, a entrada de equipamentos de pulverização terrestre pode ser dificultada e/ou mesmo inviabilizada.

Por essas razões, o setor sucroalcooleiro demanda por sistemas de aplicações mais eficientes e de alto rendimento operacional quanto às pulverizações, a exemplo da aplicação aérea. Essa técnica viabiliza pulverizações de grandes áreas em um curto espaço de tempo, possibilitando a aplicação no momento mais propício para o controle e/ou quando não é permitida a entrada de pulverizadores tracionados ou autopropelidos, assim tornando-se uma ferramenta valiosa para a agricultura, quando realizada seguindo

critérios técnicos bem definidos (BAUER; RAETANO, 2003; CORRÊA *et al.*, 2004; CAMARGO *et al.*, 2004; CUNHA; CARVALHO, 2005; SOUZA *et al.*, 2011). Entretanto, o grande impedimento quanto ao uso desse método é a falta de informações quanto à sua maior ou menor eficiência em comparação com as aplicações terrestres.

O processo de deposição de calda de produtos fitossanitários de forma eficiente e segura nas aplicações hidráulicas só é possível quando se utilizam pontas ou atomizadores que promovam distribuição de calda homogênea e espectro de gotas adequado (NUYTTENS *et al.*, 2007; VIANA *et al.*, 2009; CUNHA; SILVA, 2010; BUENO, 2011). A combinação do tipo de ponta com a pressão de trabalho determina o tamanho de gotas aplicadas, que interfere na cobertura do dossel da planta e no potencial de deriva da gota. Esse princípio também se aplica às pulverizações aéreas, independentemente do sistema utilizado para quebrar a gota, ou seja, se a barra é dotada de atomizadores e/ou pontas hidráulicas.

A deriva de produtos fitossanitários continua sendo um dos maiores problemas da agricultura moderna (SUMNER; SUMNER, 1999; TSAI *et al.*, 2005). O desvio da trajetória, que impede que as gotas produzidas atinjam o alvo biológico, está relacionado, principalmente, ao tamanho de gotas e às condições ambientais (SILVA, 1999; CUNHA, 2008). De acordo com as condições locais de aplicação, é preciso conhecer o espectro das gotas pulverizadas, de forma a adequar o seu tamanho, garantindo, ao mesmo tempo, a eficácia biológica e a segurança ambiental (CUNHA, 2008).

Pesquisas relacionadas ao estudo do espectro de gotas geradas no momento das aplicações retratam que gotas menores que 100 μm são facilmente carregadas pelas correntes de ar (vento) e sofrem mais a ação dos fenômenos climáticos (SUMNER, 1997; MURPHY *et al.*, 2000; WOLF, 2000). De acordo com Zhu *et al.* (1994), gotas com diâmetro acima de 500 μm têm pouco problema de deriva e gotas abaixo de 50 μm , em geral, evaporam antes de atingir o solo.

Entre os métodos utilizados para avaliar a deposição de calda e as perdas por escorrimento e deriva durante as aplicações de fitossanitários, a adição de traçadores à calda de pulverização, para análise por espectrofotometria, tem sido amplamente utilizada em pesquisas científicas. O princípio desse método é baseado na quantificação da coloração dada por absorbância, na faixa de detecção do corante utilizado, com o uso do espectrofotômetro (PALLADINI *et al.*, 2005).

Diante disso, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a deposição de calda no dossel da planta, as perdas para o solo, a efetividade do controle da ferrugem alaranjada e a produtividade, proporcionada pela aplicação aérea e terrestre de fungicidas em diferentes condições operacionais, na cultura da cana-de-açúcar.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em área comercial de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), variedade SP81-3250, na fazenda Salto, localizada no Município de Uberaba/MG, fornecedora de cana-de-açúcar à Usina Vale do Tijuco, unidade vinculada ao Grupo Companhia Mineira de Açúcar e Álcool (CMAA). Foram selecionadas duas glebas com data de plantio em 30 de julho de 2011, espaçadas entre linhas de 1,5 m. As glebas estavam na quarta soca da cana-de-açúcar, e o sistema de cultivo era o predominante na região, ou seja, adaptado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, isto é, tropical quente úmido com inverno frio e seco. A altitude da área é de 803 m, com coordenadas geográficas 19°24'44,8"S e 48°9'45,6"O.

A variedade SP81-3250 é a segunda mais cultivada no centro-sul do Brasil e uma das principais plantadas na Usina Vale do Tijuco. As principais características agronômicas dessa variedade são: alta exigência de fertilidade do solo, maturação de ciclo médio, bom rendimento de transporte, boa resistência à colheita mecanizada, nenhuma restrição quanto à brotação de seca com palhada, excelente brotação, bom fechamento de entrelinhas, florescimento regular, resposta instável ao uso de maturadores, boa resistência à ferrugem marrom e suscetibilidade a nematoides e à ferrugem alaranjada.

Com o aparecimento da ferrugem alaranjada sobre a SP81-3250, muitas dúvidas sobre a viabilidade do seu cultivo surgiram. Em decorrência de sua boa produtividade e elevado teor de sacarose, alguns produtores estão preferindo manter essa variedade em cultivo e, quando ocorre a ferrugem, usam os fungicidas específicos, cujo controle tem apresentado bons resultados. Enquanto isso, as instituições de pesquisa estão buscando alternativas para substituir a SP81-3250 por outras mais resistentes à doença.

Foram avaliados no presente trabalho a deposição de calda no dossel superior da cultura, a perda de calda aplicada para o solo, o espectro de gotas gerado no momento

das pulverizações, o controle químico da ferrugem alaranjada e a produtividade da cana-de-açúcar após duas aplicações de fungicidas: no primeiro, com aplicações aéreas e uma terrestre; no segundo, apenas com aplicações aéreas. No momento da segunda aplicação, o porte da cana-de-açúcar não permitia mais a entrada do pulverizador terrestre; por isso, avaliaram-se somente aplicações aéreas.

Nas aplicações aéreas, utilizaram-se duas taxas de aplicação (30 e 40 L ha⁻¹) e três orientações dos bicos na barra de pulverização, na qual os ângulos dos bicos em relação à linha de voo foram: de 135° (voltados para frente), para os tratamentos considerados inicialmente como gotas finas; de 0° (voltados para trás), para os tratamentos considerados inicialmente como gotas grossas; e 90° (voltados para baixo), para os tratamentos considerados como gotas médias. Essa última condição é considerada o padrão da Usina Vale do Tijuco e foi avaliada apenas na segunda aplicação. Já na aplicação terrestre, utilizaram-se taxa de aplicação de 200 L ha⁻¹ e pontas de pulverização de jato plano com indução de ar, tratamento adotado como padrão terrestre da referida indústria e considerado como gota extremamente grossa. Esse tratamento foi avaliado apenas na primeira aplicação.

Os tratamentos avaliados nas duas aplicações estão detalhados nas Tabelas 1 e 2. O tratamento 5, considerado como o padrão da Usina, recebeu primeiramente a aplicação terrestre e, em seguida, uma aplicação aérea, em uma nova área experimental. O restante dos tratamentos foi semelhante nas duas aplicações.

TABELA 1. Descrição dos tratamentos empregados na primeira aplicação do fungicida na cana-de-açúcar.

Tratamento	Tecnologia de aplicação	Taxa de aplicação (L ha ⁻¹)	Velocidade de aplicação (km h ⁻¹)	Orientação dos bicos	Pressão de trabalho (kPa)
1	Aérea	30	168	135°	206,84
2	Aérea	30	168	0°	206,84
3	Aérea	40	168	0°	275,79
4	Aérea	40	168	135°	275,79
5	Terrestre (Padrão)	200	7	-	206,84
6	Testemunha	-	-	-	-

TABELA 2. Descrição dos tratamentos empregados na segunda aplicação do fungicida na cana-de-açúcar.

Tratamento	Tecnologia de aplicação	Taxa de aplicação (L ha ⁻¹)	Velocidade de aplicação (km h ⁻¹)	Orientação dos bicos	Pressão de trabalho (kPa)
1	Aérea	30	168	135°	206,84
2	Aérea	30	168	0°	206,84
3	Aérea	40	168	0°	275,79
4	Aérea	40	168	135°	275,79
5	Aéreo (Padrão)	30	168	90°	206,84
6	Testemunha	-	-	-	-

O momento das aplicações dos fungicidas foi definido por meio de inspeções na lavoura, principalmente quando as condições climáticas estavam favoráveis ao desenvolvimento da doença. A severidade foi estimada com auxílio da Escala Diagramática, proposta por Amorim *et al.* (1987), na folha +3 da cana-de-açúcar, com notas variando entre 3 e 4, justificando o controle da doença.

Para o manejo da ferrugem alaranjada, foram utilizados dois fungicidas sistêmicos dos grupos químicos Estrobilurinas e Triazois. Na primeira aplicação, foi utilizado o fungicida APROACH® PRIMA SC, com picoxystrobina (200 g L⁻¹ de i.a.) e ciproconazol (80 g L⁻¹ de i.a.), na formulação do tipo suspensão concentrada, na dose recomendada pelo fabricante de 0,4 L ha⁻¹, acrescida de 0,5 L ha⁻¹ de Nimbus, adjuvante do tipo óleo mineral na formulação do tipo concentrado emulsionável. Já na segunda aplicação, foi utilizado o fungicida Opera® SE, com piraclostrobina (133 g L⁻¹ de i.a.) e epoxiconazol (50 g L⁻¹ de i.a.), na formulação do tipo suspoemulsão (SE), na dose recomendada pelo fabricante de 1,0 L ha⁻¹, acrescida de 0,5 L ha⁻¹ de Assist, adjuvante do tipo óleo mineral na formulação do tipo concentrado emulsionável.

Conduziu-se a primeira aplicação de fungicida na safra 2015/2016, no mês de janeiro de 2015 (29/01/2015), época de alta infecção natural de ferrugem alaranjada na cultura da cana-de-açúcar. Realizou-se também a segunda aplicação no mês de março (23/03/2015), época de média pressão do inóculo do fungo; porém, as condições climáticas nesse mês favoreceram o desenvolvimento do fungo, sendo necessária a reaplicação para controlá-lo e para a cultura da cana-de-açúcar completar o ciclo antes

da colheita, ocorrida no mês de outubro de 2015 (12/10/2015). Essa segunda aplicação seguiu a mesma metodologia da primeira aplicação realizada no mês de janeiro.

Nas aplicações aéreas, utilizou-se uma aeronave agrícola EMBRAER EMB 202A, com capacidade total volumétrica de 950 L e motor Lycoming IO-540-K1J5, 320 HP (239 kW), 2.700 rpm, 6 cilindros (Motor a etanol). A aeronave apresentava as seguintes dimensões: comprimento total de 7,43 m, altura de 2,22 m e envergadura de 11,07 m. A barra de pulverização era constituída de 43 pontas de pulverização de jato cônico vazio tipo ponta e difusor (Disco-8 e Difusor-DC 45). A altura de voo foi de 3 m em relação à cultura, e a velocidade de aplicação foi de 105 milhas h⁻¹ (168 km h⁻¹). Nos tratamentos aéreos, para cada parcela, o avião realizou três passadas para garantir a sobreposição adequada, com direção do vento lateral ao sentido de deslocamento (vento de través). As pressões durante as aplicações foram constantes para os tratamentos aéreos de 30 L ha⁻¹ (206,84 kPa) e 40 L ha⁻¹ (275,79 kPa). A Figura 1 mostra a aplicação aérea no experimento.



FIGURA 1. a) Aeronave agrícola EMB 202-A utilizada nas aplicações aéreas. b) Ponta jato cônico vazio tipo ponta e difusor (Disco-8 e Difusor-DC 45).

Na aplicação terrestre, utilizou-se um trator Valtra modelo BH180 4 x 2 TDA, com motor AGCO POWER 620DS, 189 CV (139 kW), 2300 rpm, 6 cilindros (motor a diesel). Acoplado ao sistema hidráulico estava um pulverizador hidráulico montado da marca Jacto, modelo Falcon, com capacidade total volumétrica de 800 L e dotado de uma barra de 14 m de comprimento, com 28 pontas (AI 11004-VS), espaçadas 0,5 m entre si e a 0,4 m em relação à cultura. A velocidade de aplicação foi de 7 km h⁻¹, e a pressão de trabalho foi de 206,84 kPa. A Figura 2 exibe a aplicação terrestre no experimento.



FIGURA 2. a) Pulverizador modelo Falcon utilizado na aplicação terrestre. b) Ponta jato plano (AI11004-VS).

Uma gleba de 48,26 ha foi destinada às aplicações aéreas. Nela, cada unidade experimental foi constituída de 4.800 m², o correspondente a 100 m de comprimento e 48 m de largura, o equivalente a três passadas de 16 m do avião. Após a aplicação, foram realizadas as coletas das amostras na faixa central. A área útil correspondeu a 1.440 m², da qual se descartaram 10 m de cabeceira da faixa central de aplicação da aeronave, considerando-se as outras faixas de aplicação como bordadura. Para a aplicação terrestre, a área da parcela foi constituída de 700 m², o correspondente a 100 m de comprimento e 7 m de largura. Após a aplicação, procedeu-se às coletas das amostras na região central da passada da barra. A área útil foi correspondente a 450 m²,

dos quais se destacaram 5 m das cabeceiras e 1 m de cada lado da parcela experimental. Já para a planta testemunha, a área da parcela experimental foi de 900 m², o correspondente a 100 m de comprimento e 9 m de largura. A área útil foi correspondente a 630 m², dos quais se descartaram 5 m das cabeceiras e 1 m de cada lado da parcela. A Figura 3 mostra a área experimental.

As condições ambientais foram monitoradas durante a realização dos ensaios por meio de um termo-higro-anemômetro digital da marca Kestrel®, modelo 4000. Na primeira aplicação, as condições climáticas foram: temperaturas mínima de 28,4°C e máxima de 31,5°C, umidade relativa do ar entre 50,4% e 57,3%, e ventos com velocidades entre 1,5 e 4,2 km h⁻¹. Na segunda aplicação, as condições climáticas foram: temperaturas mínima de 23,7°C e máxima de 28,2°C, umidade relativa do ar entre 65,2% e 83,4%, e ventos (sudestes) com velocidades entre 0,8 e 5,2 km h⁻¹.

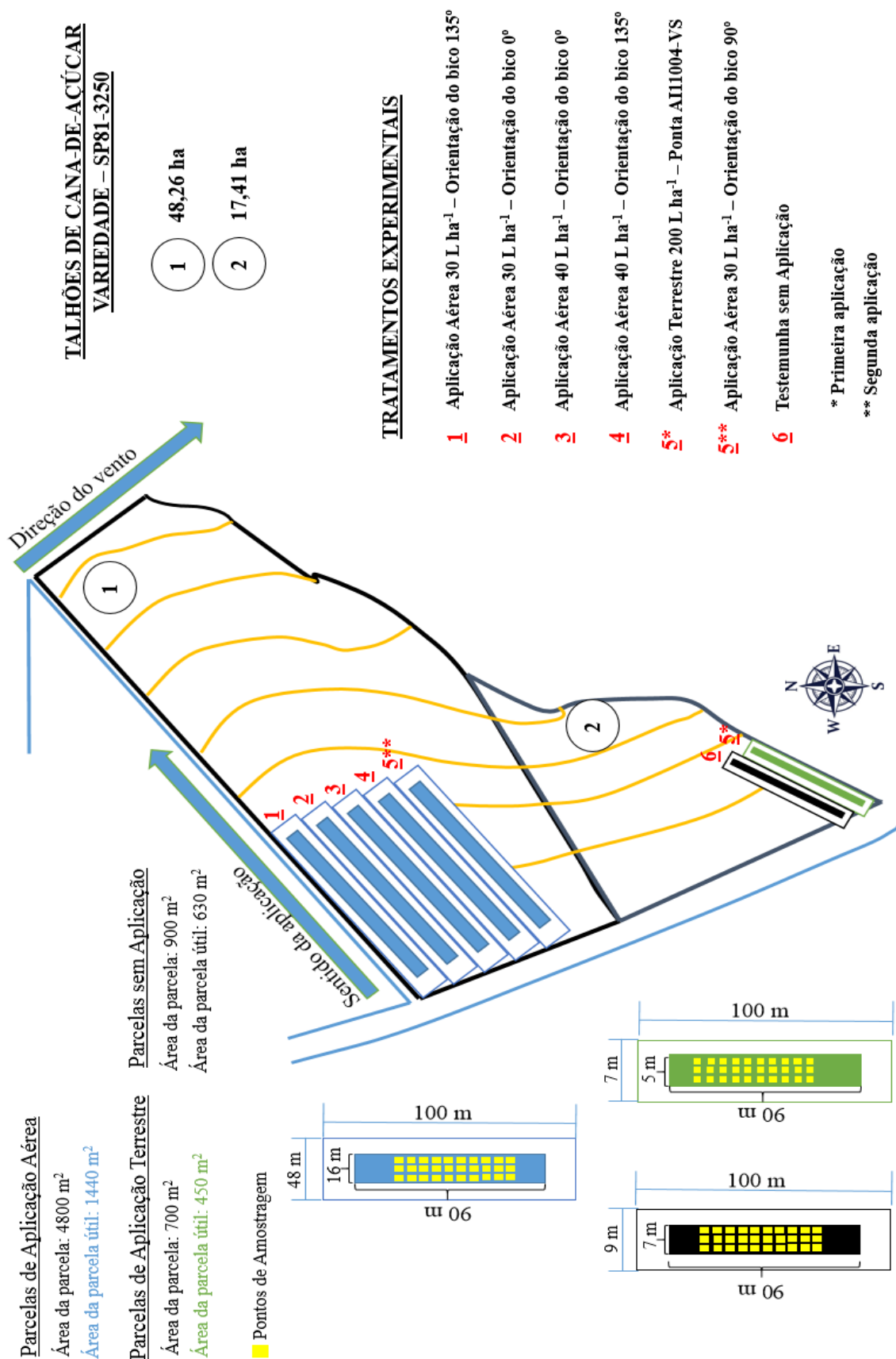


FIGURA 3. Croqui da área experimental. Uberaba/MG, Usina Vale do Tijuco, 2015.

2.1 Avaliação da tecnologia de aplicação

Para a avaliação da deposição e das perdas para o solo, adicionou-se à calda de aplicação um traçador composto do corante alimentício Azul Brilhante, catalogado internacionalmente pela “Food, Drug & Cosmetic” como FD&C Blue n. 1, na concentração fixa de 2 e 4 g de corante por litro de calda (2000 e 4000 ppm), para as aplicações aéreas e para a aplicação terrestre, respectivamente, para ser detectado por absorvância em espectrometria. Devido a essa concentração fixa do traçador na calda para todos os tratamentos, calculou-se um fator de correção, baseado na maior taxa de aplicação, a fim de ajustar a comparação das médias na análise estatística para todas as outras taxas. Assim, os dados da deposição e das perdas para o solo foram multiplicados por um fator de correção, obtido pela seguinte equação:

$$FC = Mv / mv$$

em que:

FC: fator de correção;

Mv: valor da maior taxa de aplicação; e

mv: valor da taxa de aplicação do respectivo tratamento.

Foi utilizado um espectrofotômetro (fotômetro fotoelétrico de filtro), da marca Biospectro® e modelo SP-22, como mostrado pela Figura 4a, com cubetas de vidro de 3,5 mL, caminho óptico de 10 mm e lâmpada de tungstênio-halogênio, para realizar as leituras. A quantificação da coloração foi feita por absorvância em 630 nm, faixa de detecção do corante azul utilizado, conforme metodologia apresentada por Palladini *et al.* (2005).

Para a análise do depósito do traçador no dossel do canavial, foram amostradas 30 plantas ao acaso em cada unidade experimental. Em cada planta, foram selecionadas três folhas na parte superior: folhas +2, +3 e +4, com inserção da lígula. Após a coleta na área útil, as folhas foram acondicionadas em sacos plásticos individualmente e armazenadas em caixa de isopor no campo, para depois serem analisadas em laboratório quanto à deposição de calda, como mostrado pela Figura 4b.

A fim de verificar as perdas de calda para o solo na área útil da unidade experimental, colocaram-se de forma aleatória no chão, sob as linhas e entre as linhas da cultura da cana-de-açúcar, 15 conjuntos de placas de Petri compostos por capa e fundo, como exibido na Figura 4c. Os fundos dos conjuntos, com 149,57 cm², e as capas, com 169,72 cm², foram dispostos de forma aleatória na área útil das parcelas. Após as pulverizações, as placas foram recolhidas e acondicionadas em caixa térmica para posterior quantificação do traçador.



FIGURA 04. a) Espectrofotômetro SP-22, Bioespectro. b) Amostras de folhas de cana-de-açúcar. c) Placas de Petri junto ao solo.

Em laboratório, adicionaram-se 50 mL de água destilada a cada saco plástico com as folhas +2, +3 e +4, com inserção da lígula, para as aplicações aéreas e para a aplicação terrestre. Nas placas de Petri, adicionaram-se 10 mL de água destilada. Os sacos e as placas foram fechados e agitados por 30 segundos para a homogeneização do traçador presente nas amostras. Em seguida, o líquido foi retirado e transferido para copos plásticos, os quais foram acondicionados em local refrigerado e providos de isolamento luminoso por 24 horas, para a decantação de materiais sólidos (*e.g.*, folhas e partículas de solo) e a posterior leitura de absorbância no espectrofotômetro.

Através de curva de calibração, originada por meio de soluções-padrão do traçador, dos lotes do corante, obtiveram-se duas equações para os tratamentos aéreos e para o tratamento terrestre. A equação para as aplicações aéreas foi $y = 0,0216x - 0,0016$, ($R^2 = 99,5\%$), ao passo que a equação para a aplicação terrestre foi $y = 0,0208x - 0,0025$, ($R^2 = 99,1\%$), em que y = absorbância e x = concentração. Com isso, os dados de absorbância, obtidos em espectrofotometria, foram transformados em concentração (mg L⁻¹). De posse da concentração inicial da calda e do volume de diluição das amostras, determinou-se a massa de corante retida nas folhas +2, +3 e +4 coletadas nas parcelas. O depósito total foi dividido pela massa seca de cada

amostra para obter a quantidade em μg de traçador por g de massa seca. No que tange às perdas para o solo, o depósito total foi dividido pela área total de cada conjunto (capa e fundo) em cm^2 , visando obter a quantidade em μg de traçador por cm^2 de área do conjunto total. A massa das folhas foi obtida em estufa de secagem com circulação de ar (LUCADEMA), modelo LUCA-82/480, a 65°C por três dias, como disposto na Figura 5a,b,c, e pesada em balança de precisão (ACCILAB[®] Sartorius Group, modelo-ALC-210.4), conforme exibido na Figura 5d.



FIGURA 5. a) Estufa de secagem com circulação de ar. b) Temperatura mantida a 65°C . c) Acomodação e distribuição das folhas de cana-de-açúcar dentro da estufa. d) Balança de precisão.

Conduziu-se também um estudo do espectro de gotas pulverizadas, a fim de caracterizar melhor os tratamentos efetivamente realizados a campo, por meio da avaliação das gotas depositadas em papéis hidrossensíveis (76 x 26 mm), desenvolvidos pela Syngenta Crop Protection. Para tal, antes da pulverização, cinco papéis hidrossensíveis foram afixados às hastes nas parcelas úteis a uma altura de 1,00 e 2,50 m (portanto, acima da cultura da cana-de-açúcar, para não sofrerem interferência) nas pulverizações terrestre e aéreas, respectivamente (cf. Figura 6a e b).



FIGURA 6. a) Papéis hidrossensíveis afixados às hastes nas parcelas úteis a uma altura de 1,00 m na aplicação terrestre. b) Papéis hidrossensíveis afixados às hastes nas parcelas úteis a uma altura de 2,50 m nas aplicações aéreas.

Após a aplicação, os papéis foram recolhidos e armazenados em envelopes, livres de umidade. Posteriormente, foram digitalizados com resolução espacial de 600 dpi não interpolados, com cores em 24 *bits*, em *scanner* da marca Hp®, modelo Hp Scanjet 2400. A análise foi feita com o programa computacional “CIR” (*Conteo y Tipificación de Impactos de Pulverización*), versão 1.5/2002. Determinaram-se o diâmetro da mediana volumétrica (DMV), a amplitude relativa (AR) e a percentagem do volume de gotas com diâmetro inferior a 100 µm ($D_v < 100 \mu\text{m}$). A amplitude relativa foi determinada com a seguinte equação:

$$AR = \frac{D_{v0,9} - D_{v0,1}}{D_{v0,5}}$$

em que:

AR: amplitude relativa;

$D_{v0,1}$: diâmetro de gota tal que 10% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor;

$D_{v0,5}$: diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor; e

$D_{v0,9}$: diâmetro de gota tal que 90% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor.

Os dados referentes à tecnologia de aplicação na cultura da cana-de-açúcar foram primeiramente submetidos aos testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e de homogeneidade das variâncias de Levene, a 0,01 de significância, com o auxílio do programa SPSS 20.0 (SPSS, 2011). Em seguida, os valores de depósito de calda no dossel superior e das perdas para o ambiente (solo), o diâmetro da mediana volumétrica (DMV), a percentagem do volume de gotas com diâmetro inferior a 100 µm ($D_v < 100 \mu\text{m}$) e a amplitude relativa (AR) foram analisados usando o teste T de Student, para amostras independentes, a 0,05 de significância.

2.2 Avaliação do controle químico da ferrugem alaranjada

As análises laboratoriais foram feitas no Laboratório de Mecanização Agrícola (LAMEC) da UFU. A severidade da ferrugem alaranjada foi estimada nas folhas +2, +3

e +4 de 30 plantas com o auxílio do programa computacional QUANT (Image Processing Software), versão 1.0.2. Foi realizada uma avaliação prévia antes de cada aplicação. A primeira aplicação foi realizada no dia 29 de janeiro de 2015, a segunda, no dia 23 de março de 2015. As avaliações foram realizadas durante aproximadamente um mês, período esse compreendido como o residual do produto de acordo com os fabricantes. As avaliações de severidade ocorreram: após a primeira aplicação do fungicida, nos dias 3, 13 e 23 de fevereiro e 5 de março de 2015; após a segunda aplicação, nos dias 31 de março e 07, 18 e 28 de abril de 2015. Com os valores da severidade de cada folha avaliada, foi calculada a severidade média por tratamento.

Foram coletadas em cada unidade experimental, especificamente nas áreas úteis de cada tratamento, 30 folhas do dossel superior, correspondendo às folhas +2, +3 e +4 de cana-de-açúcar, com inserção de lígula. Após a coleta, essas folhas foram armazenadas em saco plástico e acondicionadas em caixa de isopor, para posterior digitalização. Para determinação da severidade, um segmento de 25 cm das folhas +2, +3 e +4 de cana-de-açúcar foi digitalizado, com resolução espacial de 300 dpi não interpolados, com cores em 24 *bits*, em *scanner* da marca Hp®, modelo Hp Scanjet 2400 (cf. Figura 7).

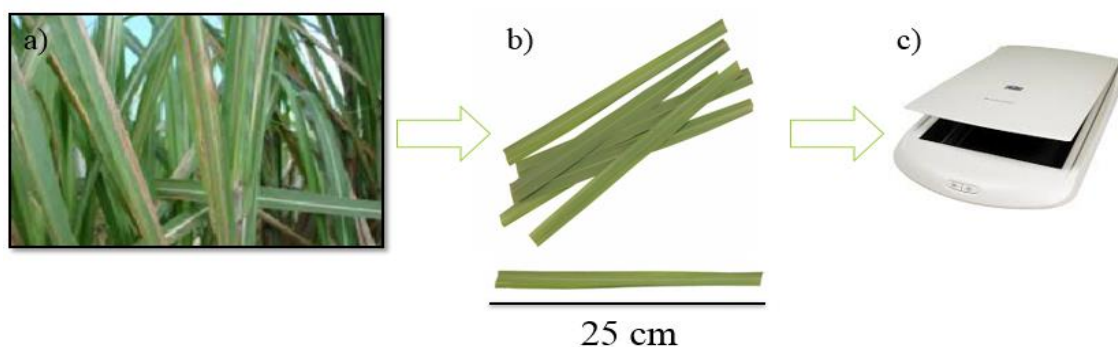


FIGURA 7. a) Folhas de cana-de-açúcar amostradas nas parcelas úteis, correspondentes a cada tratamento no campo. b) Segmento de 25 cm das folhas (+2, +3 e +4) de cana-de-açúcar, com inserção de lígula, amostradas no campo. c) *Scanner* da marca Hp®, modelo Hp Scanjet 2400.

A análise de severidade foi feita com auxílio do programa computacional QUANT. Quantificou-se a severidade da doença nas folhas de cana-de-açúcar a partir de imagens digitalizadas (cf. Figura 8).

A principal característica do QUANT é segmentar objetos em imagens digitais obtidas via *scanner* ou câmeras digitais, para quantificar dimensões. No caso da avaliação de severidade de doenças em folhas, foram segmentados o fundo da imagem (a área da imagem não ocupada pela folha) e os tecidos: sadio, clorótico e necrótico. O programa fornece medidas de área foliar sadia e doente e de severidade, bem como o número e o tamanho de lesões na folha.

A quantificação de imagens digitais é uma contagem no número de *pixels* com cada cor e sua conversão em área. As dezenas ou centenas de milhares de cores da imagem digital original são reduzidas a três ou quatro cores apenas. Para tal fim, o QUANT utiliza cinco procedimentos de processamento de imagens: limiar preto e branco, seleção de cores por *pallet*, seleção de cores por intervalo de coordenadas de cores, seleção de cores por amostragem e seleção de cores por meio de funções discriminantes (VALE *et al*, 2004; LIBERATO, 2003).

No presente estudo, as imagens digitalizadas das folhas de cana-de-açúcar foram processadas e analisadas pelo QUANT utilizando-se o procedimento de seleção de cores por amostragem. As cores da imagem original foram reduzidas a somente quatro: verde (área foliar sadia), azul (área foliar clorótica), vermelha (área foliar necrótica) e branca (fundo da imagem), conforme mostrado na Figura 8.

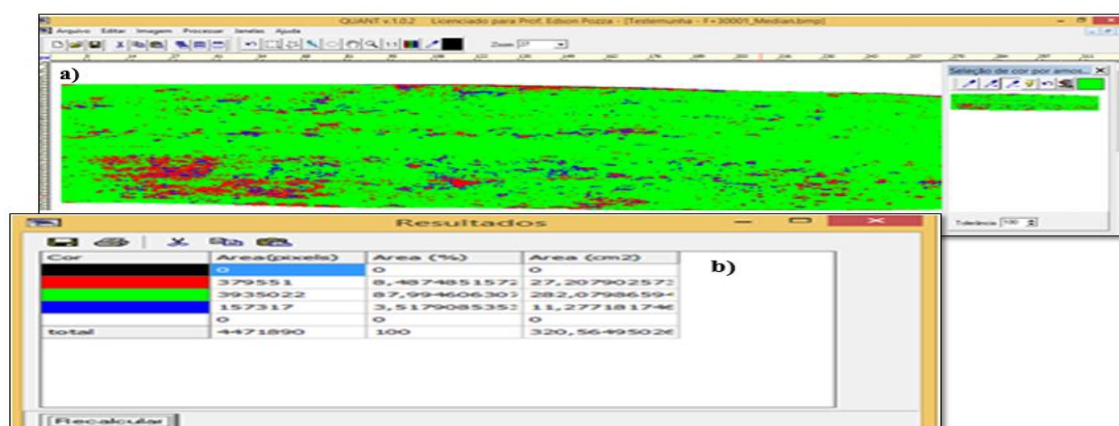


FIGURA 8. Software para quantificação de doenças de plantas – QUANT v. 1.0.2. a) Análise da imagem utilizando o procedimento de seleção de cores por amostragem. b) Resultado do processo: área (*pixels*); área (%) e área (cm²).

Como foram efetuadas duas aplicações para o controle da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, avaliou-se cada uma separadamente. A partir das notas de severidade da doença obtidas nas diferentes avaliações, calculou-se a Área Abaixo da Curva de

Progresso da Doença (AACPD) para cada tratamento. Esse dado permitiu uma avaliação mais estável da doença, sendo menos afetado pelo tempo de análise e pelas variações ambientais. A AACPD pode ser usada como descritor de uma epidemia, já que o objetivo foi resumir uma curva de progresso de doença em dados para serem analisados e comparados, conforme equação de Campbell e Madden (1990), apresentada a seguir:

$$AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) \times (t_{i+1} - t_i)$$

em que:

AACPD = área abaixo da curva de progresso da doença;

y_i = proporção da doença na i -ésima observação;

t_i = tempo na i -ésima observação (em dias); e

n = número total de observações.

Os dados de (AACPD) e a severidade real das folhas +2, +3 e +4 de cana-de-açúcar foram primeiramente submetidos ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e ao teste de homogeneidade das variâncias de Levene, ambos a 0,01 de significância, com o auxílio do programa SPSS 20.0 (SPSS, 2011). Em seguida, os dados foram analisados usando o teste T de Student, para amostras independentes, a 0,05 de significância.

2.3 Biometria e produtividade da cana-de-açúcar

Os dados da biometria da cana-de-açúcar foram tomados no dia 12 de outubro de 2015, três dias antes de iniciar a colheita da cana-de-açúcar nas glebas. A produtividade, expressa em toneladas de colmo por hectare, foi estimada através da biometria da cana-de-açúcar. Para isso, realizou-se a amostragem de 30 pontos na área útil a fim de determinar o estande. Posteriormente, procedeu-se à contagem do número de colmos por metro linear, com auxílio de uma trena. Foram amostrados 30 colmos em sequência, para a obtenção da massa (g) de cada colmo, “biomassa”, com auxílio de uma balança

digital portátil de mão, com capacidade de pesagem entre 0,010 a 50 kg, como disponibilizado nas Figuras 9a,b e 10a,b,c.



FIGURA 9. a) Anotação do número de colmos por metro linear nas parcelas úteis em cada tratamento para determinação do estande. b) Trena utilizada para proceder à contagem dos colmos na linha de plantio.

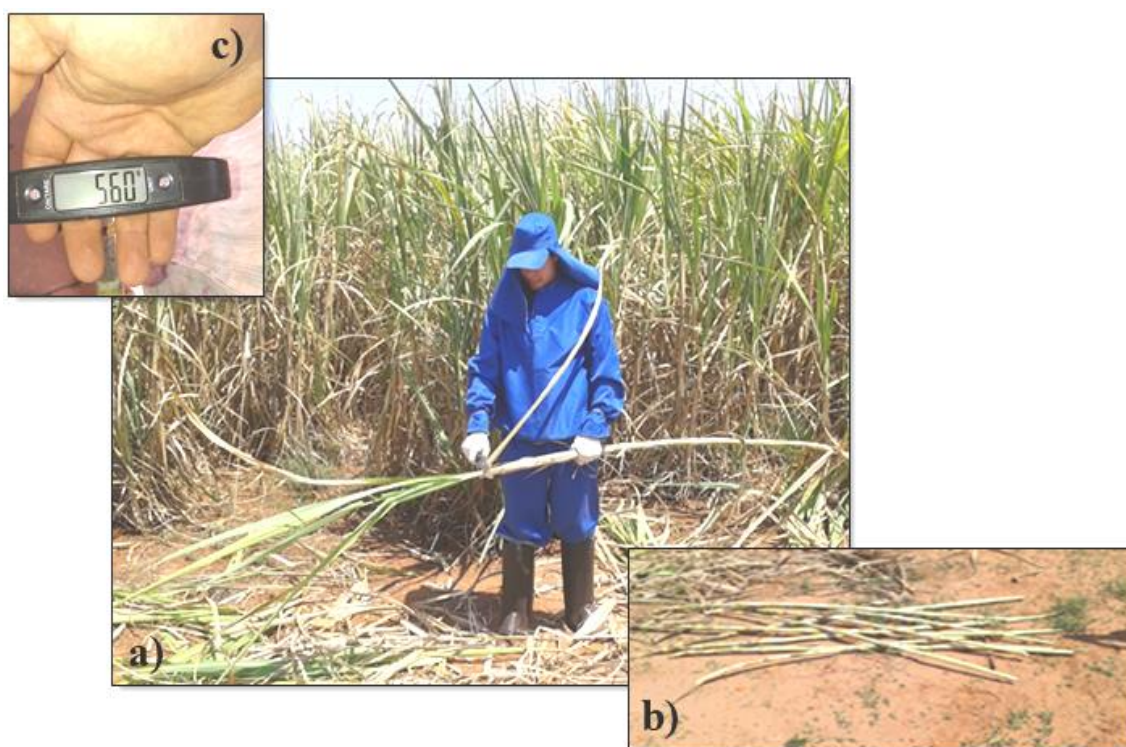


FIGURA 10. a) Preparo dos colmos para pesagem. b) Feixe de colmos limpos para pesagem. c) Pesagem dos colmos com auxílio de uma balança digital portátil de mão.

Os resultados de estande, biomassa e produtividade da cana-de-açúcar foram primeiramente submetidos ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e ao teste de homogeneidade das variâncias de Levene, ambos a 0,01 de significância, com o auxílio do programa SPSS 20.0 (SPSS, 2011). Em seguida, esses resultados foram analisados usando o teste T de Student, para amostras independentes, a 0,05 de significância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação da tecnologia de aplicação

Em relação às tecnologias empregadas no controle da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar (*Puccinia kuehnii*), a deposição de calda aplicada nas folhas +2, +3 e +4 e as perdas de caldas para o solo apresentaram diferenças entre si em todas as aplicações, conforme disponível nas Tabelas 3, 4 e 5. A deposição nas folhas avaliadas foi significativamente menor quando se adotou o sistema convencional de aplicação terrestre padrão da Usina, à taxa de aplicação de 200 L ha⁻¹ (AI11004-VS), ou seja, mesmo com taxas de aplicação menores, a pulverização aérea promoveu maior deposição de calda no dossel superior da cultura em estudo. Os maiores depósitos (em µg g⁻¹) se deram na aplicação aérea com taxa de aplicação de 30 L ha⁻¹, independentemente da orientação dos ângulos dos bicos, para as folhas +2, +3 e +4 (Tabela 3).

Tabela 3. Deposição, em µg g⁻¹, do traçador Azul Brilhante na primeira aplicação de fungicida realizada no dia 29 de janeiro de 2015 nas folhas +2, +3 e +4 de cana-de-açúcar nas pulverizações aéreas e na pulverização terrestre para o controle da ferrugem alaranjada.

Taxa de ¹ aplicação	Orientação dos bicos e pontas	Depósito (µg g ⁻¹)		
		Folha +2	Folha +3	Folha +4
30 L ha ⁻¹	135°	0,0436 a	0,0514 a	0,0626 a
30 L ha ⁻¹	0°	0,0351 a	0,0433 a	0,0528 a
40 L ha ⁻¹	0°	0,0225 b	0,0277 b	0,0343 b
40 L ha ⁻¹	135°	0,0250 b	0,0254 b	0,0358 b
200 L ha ⁻¹	AI11004-VS	0,0128 c	0,0130 c	0,0139 c

¹Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste T de Student, a 0,05 de significância.

A taxa de aplicação de 30 L ha⁻¹ promoveu deposição nas folhas +2, +3 e +4 respectivamente na ordem de 3,4; 3,9 e 4,5 vezes superior em relação à pulverização terrestre. Uma justificativa para essa maior deposição é que, em pulverizações com taxas excessivas de aplicação, pode ocorrer maior escorrimento das gotas, prejudicando a deposição nas folhas.

A taxa de aplicação de 30 L ha⁻¹ na posição de 0° (com os bicos voltados para trás) apresentou bons resultados de deposição de calda, o que favorece o uso dessa tecnologia de aplicação. Isso aumenta o rendimento operacional e reduz os riscos de deriva, pois essa orientação do ângulo dos bicos pode gerar gotas maiores, dependendo das condições de aplicação.

Já para a segunda aplicação (Tabela 4), a deposição de calda nas folhas de cana-de-açúcar foi significativamente maior quando se adotou o sistema de aplicação aéreo padrão da Usina, com taxa de aplicação de 30 L ha⁻¹ e orientação do ângulo dos bicos de 90°. Os maiores depósitos sempre se deram utilizando taxa de aplicação de 30 L ha⁻¹, independentemente da orientação dos ângulos dos bicos, para as folhas +2, +3 e +4, respectivamente. Resultados semelhantes foram observados na primeira aplicação, na qual o tratamento de 30 L ha⁻¹ apresentou os melhores desempenhos.

Tabela 4. Deposição, em µg g⁻¹, do traçador Azul Brilhante na segunda aplicação de fungicida realizada no dia 23 de março 2015 nas folhas +2, +3 e +4 de cana-de-açúcar nas pulverizações aéreas para o controle da ferrugem alaranjada.

Taxa de ¹ aplicação	Orientação dos bicos	Depósito (µg g ⁻¹)		
		Folha +2	Folha +3	Folha +4
30 L ha ⁻¹	135°	0,0135 b	0,0146 b	0,0201 b
30 L ha ⁻¹	0°	0,0149 b	0,0156 b	0,0188 b
40 L ha ⁻¹	0°	0,0108 c	0,0124 c	0,0143 c
40 L ha ⁻¹	135°	0,0084 d	0,0098 c	0,0117 c
30 L ha ⁻¹	90°	0,0247 a	0,0281 a	0,0284 a

¹Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste T de Student, a 0,05 de significância.

A pulverização padrão da Usina, com taxa de aplicação de 30 L ha⁻¹ e orientação do ângulo dos bicos em 90° (voltados para baixo), proporcionou deposições nas folhas até 2,9; 2,8 e 2,4 vezes superiores àquelas observadas com a taxa de aplicação de 40 L ha⁻¹ e orientação do ângulo dos bicos em 135° (voltados para frente) para as folhas +2; +3 e +4, respectivamente, mesmo a taxas de aplicação maiores.

Os resultados permitem inferir que menores taxas de aplicação proporcionam maior capacidade operacional do equipamento de pulverização aérea, o que tende a reduzir os custos e aumentar o aproveitamento de boas condições climáticas. Em virtude da falta de pesquisa envolvendo tecnologia de aplicação na cultura da cana-de-açúcar, principalmente voltada à pulverização aérea, para explicar os resultados encontrados neste trabalho, foi necessária a utilização de trabalhos com outras culturas que se assemelham à arquitetura da cana-de-açúcar, como milho, sorgo, cevada e trigo.

Avaliando a cobertura em milho e sorgo por meio da aplicação aérea e outras formas de aplicação de produtos fitossanitários, como a quimigação e um sistema experimental multifuncional de irrigação e aplicação de produtos fitossanitários, Bynum *et al.* (1991) verificaram que a aplicação aérea foi a que proporcionou a melhor cobertura do dossel de ambas as culturas. No presente trabalho, o sistema de aplicação aéreo com a menor taxa de aplicação também permitiu a maior fixação de calda na cultura em estudo.

Akkerhuis *et al.* (1998), analisando a relação entre a arquitetura da planta de cevada e a interceptação da calda de pulverização, verificaram que a concentração da calda intensifica da folha-bandeira para as folhas mais velhas. Os autores concluíram que a folha-bandeira possui maior angulação e que tal ângulo tende a se aproximar da horizontal à medida que a folha envelhece, o que favorece a deposição de gotas. Esse fato também foi observado nas duas aplicações de calda fúngica deste trabalho, em que o depósito se intensificou da folha +2 para a +4, independentemente da tecnologia empregada na pulverização.

Bayer *et al.* (2011), estudando diferentes taxas de aplicação aérea e equipamentos na cultura do arroz, encontraram diferenças quanto à deposição nos terços médio e inferior das plantas, com maior retenção de líquido para as menores taxas de aplicação. Esses resultados corroboram os resultados obtidos na primeira e na segunda aplicação do presente trabalho, possivelmente devido à arquitetura das duas culturas.

Cunha *et al.* (2010), analisando a cobertura de gotas nos diferentes terços do milho, cultura com arquitetura similar à da cana-de-açúcar, afirmaram que, no dossel superior da cultura do milho, ocorreu maior porcentagem de cobertura e, no terço inferior, menor cobertura de gotas, o que já era esperado, uma vez que o terço superior se encontra mais próximo ao ponto de lançamento da gota. No entanto, as deposições de calda nas folhas de cana-de-açúcar apresentaram um comportamento diferente do esperado, isto é, as folhas mais velhas apresentaram as maiores retenções de líquido

pulverizado. Possivelmente isso tenha ocorrido em função da disposição mais horizontal dessas folhas.

Cunha *et al.* (2011), avaliando a deposição de calda sobre a cultura da soja a partir de diferentes tecnologias, demonstraram que a aplicação aérea é viável tecnicamente nesse aspecto em comparação com os tratamentos terrestres realizados, em virtude de promover a penetração da calda no dossel da soja, embora seus espectros de gotas sejam mais suscetíveis à deriva. No entanto, é preciso procurar por estratégias que propiciem a deposição, principalmente no dossel inferior da cultura. Os dados analisados referentes à deposição de calda nas folhas de cana-de-açúcar apresentam uma conformidade com os resultados obtidos por Cunha *et al.* (2011), segundo os quais a aplicação aérea foi superior no depósito no dossel da cultura em estudo.

De forma geral, um fato interessante observado foi que a deposição nas folhas inferiores da cultura da cana-de-açúcar foi maior que nas folhas superiores, principalmente quando da aplicação aérea em comparação com a aplicação terrestre. No momento da aplicação, as plantas de cana-de-açúcar não se encontravam no máximo desenvolvimento vegetativo. Plantas bem desenvolvidas possuem maior área foliar a ser protegida e, conseqüentemente, impõem maior dificuldade à deposição das gotas na pulverização (BOLLER; FORCELINI; HOFFMANN, 2007), principalmente na parte inferior delas.

Segundo Madalosso *et al.* (2010), pode haver dificuldade de proteção química em todo o dossel da planta, principalmente dos terços médio e inferior pelas condições que o adensamento de plantas propicia. Com a penetração e cobertura de gotas prejudicadas, o ingrediente ativo não consegue atingir o alvo em quantidade e qualidade adequadas, reduzindo o residual de controle. Contudo, para culturas em que o dossel é mais aberto, como as gramíneas em geral, o uso de espectro de gotas maiores pode ser vantajoso, proporcionando aplicações mais eficientes e promovendo uma boa penetração e cobertura de gotas.

Os resultados de deposição de calda para o solo, em relação às tecnologias de aplicação adotadas, estão apresentados na Tabela 5. Os resultados correspondem à primeira e à segunda aplicação de calda na cultura.

Tabela 5. Perdas do traçador para o solo nas pulverizações aéreas e na pulverização terrestre da cana-de-açúcar para o controle da ferrugem alaranjada.

Taxa de ¹ aplicação	Orientação dos bicos e pontas	1ª Aplicação 29/01/2015	2ª Aplicação 23/03/2015
		Perdas para o solo ($\mu\text{g cm}^{-2}$)	Perdas para o solo ($\mu\text{g cm}^{-2}$)
30 L ha ⁻¹	135°	0,032 a	0,0291 a
30 L ha ⁻¹	0°	0,038 a	0,0304 a
40 L ha ⁻¹	0°	0,181 c	0,0546 b
40 L ha ⁻¹	135°	0,094 b	0,0507 b
200 L ha ⁻¹	AI11004-VS	0,290 d	---
30 L ha ⁻¹	90°	---	0,0209 a

¹Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste T de Student, a 0,05 de significância.

Os resultados de perdas de calda para o solo são complementares aos da deposição de calda no dossel da cultura (Tabela 3), uma vez que o volume que apresentou a maior deposição (30 L ha⁻¹) foi o mesmo com menor perda de calda para o solo (Tabela 5), ou seja, as perdas para o solo foram pequenas, pois a maior parte do traçador aplicado ficou retida na cultura. Observa-se que a deposição nas placas de Petri foi menor quando se adotou o sistema de aplicação aéreo do que quando houve a aplicação terrestre padrão da Usina, com taxa de aplicação de 200 L ha⁻¹ e pontas de indução de ar (AI11004-VS). O maior tamanho de gota produzido por esse modelo de ponta provavelmente favoreceu o escorrimento. Na primeira aplicação, as menores perdas para o solo sempre se deram quando se utilizou taxa de aplicação aérea de 30 L ha⁻¹, independentemente da orientação dos ângulos dos bicos.

Já para a segunda aplicação, o tratamento padrão da Usina, com taxa de aplicação de 30 L ha⁻¹ e com orientação dos bicos em 90° voltados para baixo, foi o que apresentou a maior deposição de calda na cultura (Tabela 4) e a menor perda para o solo (Tabela 5). Observa-se que a deposição de calda no solo foi maior quando se adotou o sistema de aplicação aérea com taxa de aplicação de 40 L ha⁻¹, independentemente da orientação dos ângulos dos bicos.

Os mesmos resultados foram observados na primeira e na segunda aplicação, nas quais as taxas de aplicação de 30 L ha⁻¹, nas orientações dos ângulos dos bicos em 135° (voltados para frente) e 0° (voltados para trás), apresentaram as menores perdas para o solo. No entanto, na segunda aplicação, as perdas não diferiram daquelas do padrão da Usina, com taxa de aplicação de 30 L ha⁻¹ (90°, com bicos voltados para baixo). Ressalta-se que, em comparação com a aplicação terrestre, as perdas para o solo no

presente trabalho foram até 9,06 vezes menores com a pulverização aérea, à taxa de aplicação de 30 L ha⁻¹ com a orientação do ângulo dos bicos em 135° (voltados para frente). O esperado é que a perda em alto volume seja maior quando comparada a baixo volume, conforme afirmam Salyani & Cromwell (1993).

Por conseguinte, é possível inferir que o uso da menor taxa de aplicação aumenta a autonomia e a capacidade operacional dos pulverizadores, o que tende a reduzir os custos e aumentar o aproveitamento de boas condições climáticas, além de diminuir o risco de perdas por escoamento. Essa diminuição de perdas por escoamento significaria, certamente, menor contaminação de águas superficiais (RODRIGUES *et al.*, 2011; SOUZA *et al.*, 2012).

Wenneker & Zande (2008) afirmam que as gotas com indução de ar, devido ao seu tamanho, apresentam um caimento vertical mais rápido, tendendo a se acumularem no solo próximo ao local de aplicação. Czaczyk *et al.* (2012) afirmam que gotas grandes podem ressaltar, quebrar e escorregar das folhas ou outros alvos.

Bueno *et al.* (2013), estudando diferentes taxas de aplicação aérea e terrestre na cultura da batata, encontraram diferenças quanto a perdas de calda para o solo, com maiores retenções de líquido nas lâminas no solo para as maiores taxas de aplicação, sem o uso do adjuvante. Essas taxas, contudo, foram reduzidas quando se adicionou adjuvante à calda. Em conformidade com os resultados obtidos na primeira e na segunda aplicação na cultura da cana-de-açúcar, na qual as maiores taxas de aplicação proporcionaram os maiores valores de retenção de líquido nas placas de Petri, isso se deve a perda de calda por escoamento nas folhas.

Souza *et al.* (2012), investigando a deposição do herbicida 2,4-D Amina, em diferentes condições operacionais, em plantas infestantes, encontraram diferenças quanto às perdas de calda para o solo, com maiores retenções de líquido nas placas para a taxa de aplicação de 130 L ha⁻¹ em todas as pontas testadas, em comparação com a taxa de aplicação de 80 L ha⁻¹, principalmente quando se utilizaram pontas com indução de ar. As gotas muito grossas têm maior peso e, por isso, maior dificuldade de retenção na folhagem, tendo como destino final, muitas vezes, o solo. Nos últimos anos, o uso de pontas com indução de ar tem crescido muito pelo potencial de redução de deriva (ZHU *et al.*, 2004). Essa informação está em conformidade com os resultados obtidos neste trabalho, pois as perdas na primeira aplicação com o tratamento terrestre padrão foi nove vezes maior.

Em relação aos espectros de gotas pulverizadas na cultura da cana-de-açúcar, referentes à primeira e à segunda aplicação (Tabelas 6 e 7), os tratamentos influenciaram nas características em estudo. Todavia, por meio de comparação média a média de amostras independentes, pelo teste T de Student, observou-se que não houve efeito significativo para a característica amplitude relativa (AR), nas duas aplicações.

Tabela 6. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV, μm), porcentagem do volume de gotas com diâmetro inferior a 100 μm ($D_v < 100 \mu\text{m}$, %) e amplitude relativa (AR), nas pulverizações terrestre e aérea no controle da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar em função da taxa de aplicação e da posição do bico em relação ao deslocamento, na primeira aplicação.

Taxa de ¹ aplicação	Orientação dos bicos e ponta	DMV (μm)	$D_v < 100 (\mu\text{m})$	AR
30 L ha ⁻¹	135°	145,59 c - gotas finas**	15,95 c	0,93 a
30 L ha ⁻¹	0°	177,05 b - gotas médias**	9,69 b	1,06 a
40 L ha ⁻¹	0°	180,08 b - gotas médias**	7,12 b	1,00 a
40 L ha ⁻¹	135°	144,65 c - gotas finas**	15,68 c	0,83 a
200 L ha ⁻¹	AI11004-VS	684,80 a - gotas extremamente grossas**	1,400 a	0,80 a

¹Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste T de Student a 0,05 de significância.

** Classe de gotas fornecida pelo programa computacional.

Na primeira aplicação, as taxas de aplicação de 30 e 40 L ha⁻¹, na orientação do ângulo dos bicos em 135° (voltados para frente), produziram significativamente os menores tamanhos de gotas, enquanto o maior valor foi produzido pelo tratamento terrestre padrão da Usina à taxa de 200 L ha⁻¹, empregando ponta de jato plano com indução de ar AI11004-VS. O tratamento terrestre padrão da Usina proporcionou a menor porcentagem de gotas pulverizadas inferiores a 100 μm ; e os tratamentos aéreos, os maiores valores. Assim, aplicações aéreas com o espectro de gotas encontrado (145 a 180 μm) devem ser realizadas em condições ambientais favoráveis à aplicação de produtos fitossanitários, a fim de reduzir ao máximo as perdas por deriva.

A partir dos dados da Tabela 6, é possível caracterizar o espectro de gotas gerado pela aeronave e pelo pulverizador. Na aplicação aérea, foram produzidas gotas com DMV de 144,65 a 145,59 μm , isto é, gotas finas, e de 177,05 a 180,08 μm , gotas médias. Com o pulverizador, foram produzidas gotas com 684,80 μm , gotas extremamente grossas, de acordo com a norma ASAE S-572. As variações nas tecnologias de aplicação e nas orientações dos ângulos dos bicos para gerar as gotas de

pulverização foram diferentes entre os tratamentos; por isso, houve distinções entre os parâmetros analisados.

A amplitude relativa (AR) não foi influenciada pelos tratamentos. Mewes *et al.* (2013) afirmaram que a amplitude relativa é uma referência ao estudo da variação dos diâmetros das gotas pulverizadas. Por isso, Viana *et al.* (2010), ao avaliarem a distribuição volumétrica e o espectro de gotas das pontas de pulverização de baixa deriva (TTI110015, AI110015 e AVI11001) sob diferentes condições operacionais, afirmaram que, quanto maior o valor da AR, maior é a faixa de tamanho das gotas pulverizadas, isto é, o espectro de gotas é menos homogêneo. Ainda de acordo com os referidos autores, um espectro de gotas mais homogêneo tem valor de AR tendendo a zero.

Na segunda aplicação (Tabela 7), as taxas de 30 e 40 L ha⁻¹, na orientação do ângulo dos bicos em 135° (voltados para frente), produziram novamente os menores tamanhos de gotas, enquanto os maiores valores foram produzidos na orientação do ângulo dos bicos em 0° (voltados para trás). Nessa situação, ocorreram as maiores porcentagens de gotas pulverizadas inferiores a 100 µm.

Tabela 7. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV, µm), porcentagem do volume de gotas com diâmetro inferior a 100 µm (Dv < 100 µm, %) e amplitude relativa (AR), na pulverização aérea, no controle da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar em função da taxa de aplicação e da posição do bico em relação ao deslocamento, na segunda aplicação.

Taxa de ¹ aplicação	Orientação dos bicos	DMV (µm)	Dv < 100 (µm)	AR
30 L ha ⁻¹	135°	154,25 c - gotas finas**	15,04 c	1,11 a
30 L ha ⁻¹	0°	250,34 a - gotas grossas**	6,43 a	1,44 a
40 L ha ⁻¹	0°	251,35 a - gotas grossas**	6,55 a	1,51 a
40 L ha ⁻¹	135°	152,95 c - gotas finas**	18,77 c	1,23 a
30 L ha ⁻¹	90°	175,06 b - gotas médias**	9,67 b	1,32 a

¹Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste T de Student, a 0,05 de significância.

** Classe de gotas fornecida pelo programa computacional.

Com espectro de gotas finas, existe risco elevado de deriva. Vale ressaltar que, de acordo com a necessidade, pode-se aumentar o tamanho das gotas geradas pelos bicos hidráulicos simplesmente alterando a angulação dos bicos na barra de

pulverização. Existem, no mercado, atomizadores rotativos e bicos hidráulicos com dispositivos específicos para aumento de tamanho de gota.

A partir da Tabela 7, é possível caracterizar o espectro de gotas gerado pela aeronave, a qual originou gotas com DMV de 152,95 a 154,25 μm , isto é, gotas finas, de 250,34 a 251,35 μm , gotas grossas, e de 175,06 μm , gotas médias, de acordo com a norma ASAE S-572. A respeito dos diâmetros das gotas, cabe ressaltar que o emprego de gotas com tamanhos reduzidos, em se tratando da pulverização aérea, na maioria das vezes favorece boa cobertura superficial e uniformidade de distribuição da calda (TEIXEIRA 1997). Porém, de acordo com Villalba e Hetz (2010), gotas de tamanho reduzido, em condições de baixa umidade relativa e altas temperaturas, têm maior tendência a sofrer evaporação. Além disso, segundo Kirk (2007), gotas com diâmetros reduzidos apresentam elevado risco de deriva, pois são mais propensas a se afastarem do alvo pela força do vento.

Consoante Womac (1999), dentre os fatores que influenciam o espectro de gotas produzido nas pulverizações, destaca-se a pressão do líquido. Contudo, no presente trabalho verifica-se que a variação da angulação do bico teve maior efeito do que a alteração da pressão. Quando se elevou a pressão, mantendo-se a posição dos bicos, não houve alteração da classe de gotas. A influência da pressão é pronunciada na aplicação terrestre, mas de menor efeito na aplicação aérea.

A respeito da $D_v < 100 \mu\text{m}$, Bueno *et al.* (2011) afirmam que, quanto menor a porcentagem de gotas sujeitas à deriva, apesar de não haver um valor determinado, menores são os riscos de perdas de gotas. Em contrapartida, Cunha *et al.* (2003) afirmam que valores abaixo de 15% de volume de gotas com diâmetro inferior a 100 μm podem implicar pulverizações mais seguras. Trata-se de um fato preocupante, pois, no presente estudo, observou-se que os tratamentos com taxa de aplicação de 30 e 40 L ha^{-1} , na orientação dos ângulos dos bicos em 135°, tanto na primeira como na segunda aplicação, apresentaram valores superiores a 15% de volume de gotas com diâmetro inferior a 100 μm . Já Oliveira *et al.* (2011), ao estudarem os espectros de gotas gerados na pulverização aérea, também na cultura da cana-de-açúcar, não evidenciaram diferenças significativas para o diâmetro mediano volumétrico (DMV) entre as taxas de aplicação quando se utilizou o equipamento de pulverização do tipo rotativo Micronair. Esse resultado é convergente com o do presente trabalho.

O uso de papéis hidrossensíveis foi um método prático para analisar a qualidade das aplicações no campo. Entretanto, para avaliações quantitativas da aplicação, esse

método pode sofrer algumas distorções, principalmente em situações em que as gotas são pequenas, como é o caso de aplicações aéreas (ANTUNIASSI, 2009).

O uso de diferentes técnicas relativas à tecnologia de aplicação não repercute necessariamente em melhoria na eficácia de controle, conforme verificado por Bonini & Bacardin (2002) em um trabalho com pontas de pulverização em aplicações de fungicidas para o controle de doenças foliares da soja. Porém, os aspectos relacionados à eficiência da aplicação, em especial ao depósito das gotas pulverizadas sobre o alvo, podem variar dependendo da técnica empregada. Esse fato é balizado, principalmente, a partir da variável acerca do número de gotas por cm^2 , observado por Balan *et al.* (2005) e Cunha *et al.* (2004). Porém, neste trabalho não foi analisado o número de gotas por cm^2 no papel hidrossensível, pois a variação da taxa de aplicação influenciaria diretamente nos resultados, já que taxas maiores de água proporcionam maior número de gotas por cm^2 , o que pode não refletir a deposição do ingrediente ativo.

Aspectos relacionados ao controle de um patógeno dependem ainda de fatores além da tecnologia de aplicação, como o momento de controle, que está interligado com o clima (STAIER *et al.*, 2004) e a eficácia do fungicida utilizado sobre o agente causal (MARGAREY *et al.*, 2002).

3.2 Avaliação de controle da ferrugem alaranjada

Analizando-se os resultados da severidade e do efeito acumulativo das avaliações do desenvolvimento da doença (Tabelas 8 e 9), observou-se que a severidade foi sempre maior nas folhas +4, tanto nas plantas sem controle quanto nas plantas que receberam as duas aplicações dos fungicidas. A primeira e a segunda aplicações ocorreram, respectivamente, nos dias 29 de janeiro e 23 de março de 2015. A severidade média foi registrada, respectivamente, em 1,76%, 2,82% e 3,92% nas folhas +2, +3 e +4, para a primeira aplicação, e em 2,50%, 3,05%, e 3,99% nas folhas +2, +3 e +4, para a segunda aplicação.

De forma geral, constatou-se que houve diminuição na severidade da doença nas folhas +2, +3 e +4 das plantas que receberam as pulverizações sob diferentes formas de tecnologia de aplicação de calda e que, nas plantas testemunhas, não houve essa diminuição. Esse fato ocorreu porque as condições climáticas durante esses meses foram muito favoráveis ao desenvolvimento da ferrugem alaranjada, com alta umidade relativa do ar e temperaturas na faixa ideal de desenvolvimento, entre 17° a 27°C. O

clima contribuiu para o surgimento de lesões da doença, o que resultou no aumento da área foliar com sintomas da doença, tanto nas plantas testemunhas quanto nas plantas que receberam as pulverizações das diferentes formas de tecnologia de aplicação, mas em menor intensidade.

A partir das notas de severidade, calculou-se a Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD). Esse dado permitiu uma avaliação mais estável da doença, sendo menos afetado pelo tempo de análise e pelas variações ambientais. O comportamento da doença foi semelhante nas três folhas analisadas, sendo que a AACPD foi sempre superior na planta testemunha quando comparada às parcelas que receberam o fungicida, que não se diferenciaram entre si. Embora tenham ocorrido pequenas diferenças entre as aplicações nas avaliações de severidade, elas não foram suficientes para impactar a AACPD.

Os menores valores, após a primeira aplicação, para a AACPD (Tabela 8), nas folhas +2, +3 e +4, foram obtidos quando se utilizaram as diferentes formas de tecnologia de aplicação no controle da ferrugem alaranjada. As diferenças não foram significativas em comparação com as demais formas de tecnologia de aplicação.

Tabela 8. Efeito das diferentes formas de tecnologia de aplicação aérea e terrestre, após a primeira aplicação de fungicida, na severidade e na Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, variedade SP81-3250, nas folhas +2, +3 e +4, na safra 2015/16, Uberaba/MG.

FOLHA +2										
Taxa de aplicação ¹	Orientação dos bicos e ponta	03/fev/15		13/fev/15		23/fev/15		05/mar/15		AACPD
		Sev. %	Ct ² %	Sev. %	Ct ² %	Sev. %	Ct ² %	Sev. %	Ct ² %	
30 L ha ⁻¹	135°	1,29 b	39,44	1,47 b	37,18	1,57 a	50,16	2,00 a	49,62	55,55 a
30 L ha ⁻¹	0°	0,95 ab	55,39	1,02 a	56,41	1,44 a	54,29	1,90 a	52,14	48,27 a
40 L ha ⁻¹	0°	0,94 ab	55,87	1,00 a	57,26	1,28 a	59,37	2,30 a	42,07	48,60 a
40 L ha ⁻¹	135°	0,80 a	62,44	1,01 a	56,84	1,14 a	63,,81	2,37 a	40,31	50,94 a
200 L ha ⁻¹	AI11004-VS	1,11 ab	47,89	1,23 ab	47,44	1,52 a	51,77	2,23 a	43,83	53,48 a
Testemunha	---	2,13 c	---	2,34 c	---	3,15 b	---	3,97 b	---	108,88 b
FOLHA +3										
Taxa de aplicação ¹	Orientação dos bicos e ponta	03/fev/15		13/fev/15		23/fev/15		05/mar/15		AACPD
		Sev. %	Ct ² %	Sev. %	Ct ² %	Sev. %	Ct ² %	Sev. %	Ct ² %	
30 L ha ⁻¹	135°	1,32 a	56,86	1,48 a	54,32	1,96 a	56,83	2,39 a	53,77	56,17 a
30 L ha ⁻¹	0°	1,05 a	65,69	1,34 a	58,64	1,89 a	58,37	2,45 a	52,61	52,33 a
40 L ha ⁻¹	0°	1,34 a	56,21	1,38 a	57,41	1,92 a	57,71	2,27 a	56,09	54,36 a
40 L ha ⁻¹	135°	1,47 a	51,96	1,52 a	56,09	1,91 a	57,93	2,68 a	48,16	58,67 a
200 L ha ⁻¹	AI11004-VS	1,36 a	55,55	1,77 a	45,37	2,09 a	53,97	2,51 a	51,45	61,35 a
Testemunha	---	3,06 b	---	3,24 b	---	4,54 b	---	5,17 b	---	126,54 b
FOLHA +4										
Taxa de aplicação ¹	Orientação dos bicos e ponta	03/fev/15		13/fev/15		23/fev/15		05/mar/15		AACPD
		Sev. %	Ct ² %	Sev. %	Ct ² %	Sev. %	Ct ² %	Sev. %	Ct ² %	
30 L ha ⁻¹	135°	1,89 a	58,46	1,95 a	58,59	2,54 a	58,89	3,28 a	52,94	75,43 a
30 L ha ⁻¹	0°	1,91 a	58,02	1,99 a	57,75	2,34 a	62,14	3,36 a	51,79	74,41 a
40 L ha ⁻¹	0°	2,01 a	55,83	2,09 a	55,63	2,36 a	61,81	3,22 a	53,81	75,63 a
40 L ha ⁻¹	135°	1,97 a	56,71	2,04 a	56,69	2,7 a	56,31	3,52 a	49,49	79,78 a
200 L ha ⁻¹	AI11004-VS	2,34 a	48,57	2,39 a	49,27	2,71 a	56,15	3,44 a	50,64	85,76 a
Testemunha	---	4,55 b	---	4,71 b	---	6,18 b	---	6,97 b	---	177,72 b

¹Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste T de Student, a 0,05 de significância.

²Ct = Porcentagem de controle em relação à planta testemunha.

Os menores valores, após a segunda aplicação, para a AACPD (Tabela 9), na folha +2, foram obtidos quando se utilizaram a menor taxa de aplicação de 30 L ha⁻¹ e as orientações dos ângulos dos bicos em 135° (voltados para frente) e 0° (voltados para trás). Na folha +3 e +4, o menor valor para a AACPD foi obtido quando se utilizaram a taxa de aplicação de 30 L ha⁻¹ e a orientação do ângulo dos bicos em 135° (voltados para frente). As diferenças foram significativas em comparação com as demais formas de tecnologia de aplicação. Por sua vez, os maiores depósitos de calda na segunda aplicação ocorreram quando se utilizou taxa de aplicação de 30 L ha⁻¹, o que deve ter contribuído para o resultado encontrado, visto que maior deposição pode proporcionar maior controle da doença.

Fungicidas sistêmicos, em geral, são eficazes em condições de menor cobertura em comparação com os de ação de contato. Contudo, deve-se levar em conta que, mesmo denominados sistêmicos, costumam apresentar apenas movimento translaminar em várias culturas, reforçando a importância da tecnologia de aplicação (BOLLER *et al.*, 2007).

Com relação à orientação do ângulo dos bicos na aeronave, o uso de gotas maiores também resultou em bom controle, mostrando que seu emprego pode ser feito em situações climáticas mais adversas ou em casos em que se deseje minimizar ao máximo o risco de deriva.

Tabela 9. Efeito das diferentes formas de tecnologia de aplicação aérea, após a segunda aplicação de fungicida, na severidade e na Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, variedade SP81-3250, nas folhas +2, +3 e +4, na safra 2015/16, Uberaba/MG.

FOLHA +2										
Taxa de aplicação ¹	Orientação dos bicos	31/março/15		07/abril/15		18/abril/15		28/abril/15		AACPD
		Sev. %	Ct ² %	Sev. %	Ct ² %	Sev. %	Ct ² %	Sev. %	Ct ² %	
30 L ha ⁻¹	135°	2,05 a	51,53	2,81 a	44,69	3,63 a	48,43	4,89 a	45,30	61,58 a
30 L ha ⁻¹	0°	2,07 a	51,06	2,84 ab	44,09	3,81 a	45,88	4,95 a	44,63	62,99 a
40 L ha ⁻¹	0°	2,21 a	47,76	3,34 b	34,25	4,12 a	41,48	4,99 a	44,18	70,58 b
40 L ha ⁻¹	135°	2,23 a	47,28	3,35 b	34,05	4,82 b	31,53	5,02 a	43,85	74,36 b
30 L ha ⁻¹	90°	2,19 a	48,23	3,28 b	35,43	4,25 a	39,63	5,05 a	43,51	70,50 b
Testemunha	---	4,23 b	---	5,08 c	---	7,04 c	---	8,94 b	---	117,60 c
FOLHA +3										
Taxa de aplicação ¹	Orientação dos bicos	31/março/15		07/abril/15		18/abril/15		28/abril/15		AACPD
		Sev. %	Ct ² %	Sev. %	Ct ² %	Sev. %	Ct ² %	Sev. %	Ct ² %	
30 L ha ⁻¹	135°	2,25 a	63,41	4,06 a	44,00	5,67 a	38,64	7,57 a	26,08	85,84 a
30 L ha ⁻¹	0°	2,62 a	57,40	4,25 ab	41,38	5,88 ab	36,36	7,95 a	22,36	91,60 b
40 L ha ⁻¹	0°	2,37 a	61,46	4,82 b	33,52	6,41 ab	30,62	8,41 a	17,87	98,01 b
40 L ha ⁻¹	135°	2,39 a	61,14	4,89 b	32,55	6,79 c	26,51	8,66 a	15,43	100,82 b
30 L ha ⁻¹	90°	2,49 a	59,51	4,98 b	31,31	6,98 d	24,46	8,97 a	12,40	103,34 b
Testemunha	---	6,15 b	---	7,25 c	---	9,24 e	---	10,24 b	---	164,76 c
FOLHA +4										
Taxa de aplicação ¹	Orientação dos bicos	31/março/15		07/abril/15		18/abril/15		28/abril/15		AACPD
		Sev. %	Ct ² %	Sev. %	Ct ² %	Sev. %	Ct ² %	Sev. %	Ct ² %	
30 L ha ⁻¹	135°	3,15 a	57,49	5,77 a	33,22	7,01 a	31,14	9,17 a	24,27	116,34 a
30 L ha ⁻¹	0°	3,28 a	55,74	5,95 ab	31,14	7,47 a	26,62	9,14 a	24,53	121,43 b
40 L ha ⁻¹	0°	3,29 a	55,60	6,15 ab	28,82	8,73 b	14,24	9,06 a	25,19	129,75 b
40 L ha ⁻¹	135°	3,37 a	54,52	6,56 ab	24,07	8,88 b	12,77	9,51 a	21,47	135,27 b
30 L ha ⁻¹	90°	3,46 a	53,31	6,74 c	21,99	8,94 c	12,18	9,80 a	19,08	137,95 b
Testemunha	---	7,41 b	---	8,64 d	---	10,18 d	---	12,11 b	---	192,78 c

¹Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste T de Student, a 0,05 de significância.

²Ct = Porcentagem de controle em relação à planta testemunha.

As curvas de progresso da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar nas folhas +2, +3 e +4, durante o período de proteção das duas aplicações, encontram-se representadas nas Figuras 11, 12 e 13, respectivamente. A severidade foi sempre menor nas plantas que receberam as diferentes formas de tecnologia de aplicação do fungicida em relação às plantas testemunhas. Nota-se que os fungicidas, independentemente da forma de aplicação, promoveram controle da doença.

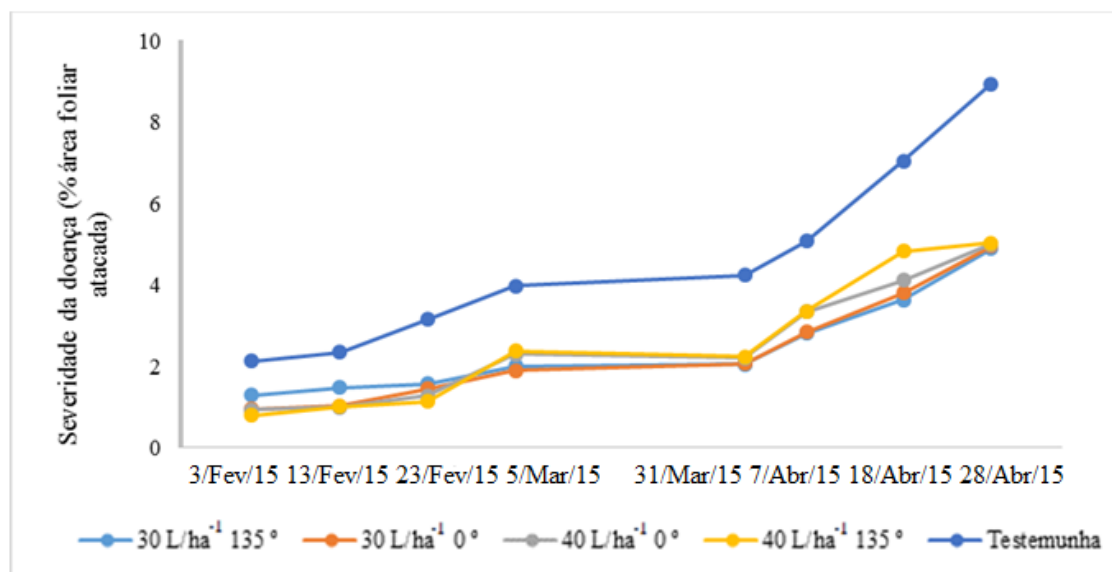


Figura 11. Curvas de progresso da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar para as diferentes formas de aplicação aérea de calda fúngica na folha +2.

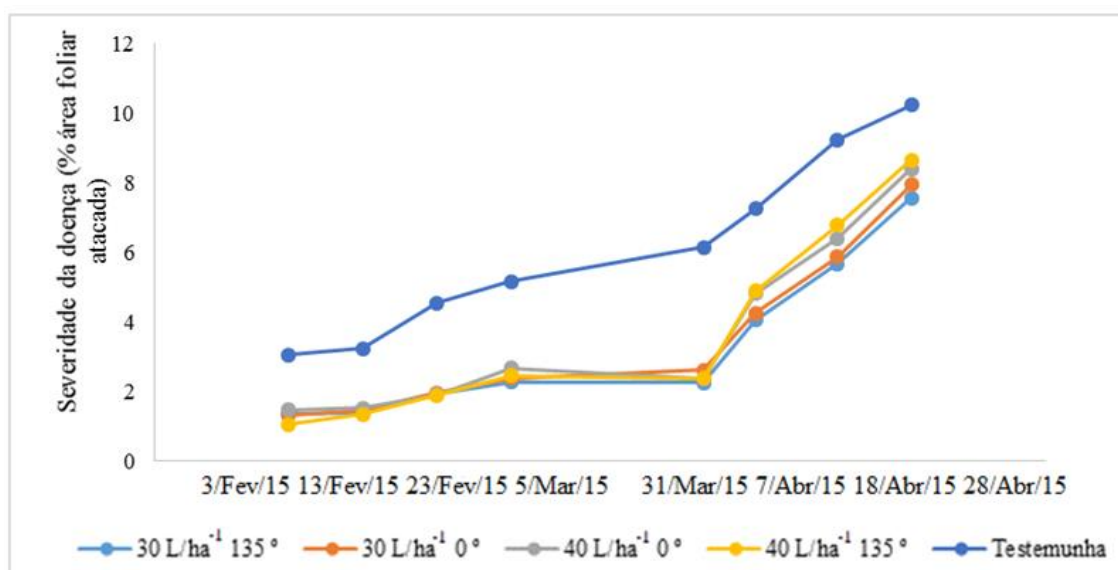


Figura 12. Curvas de progresso da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar para as diferentes formas de aplicação aérea de calda fúngica na folha +3.

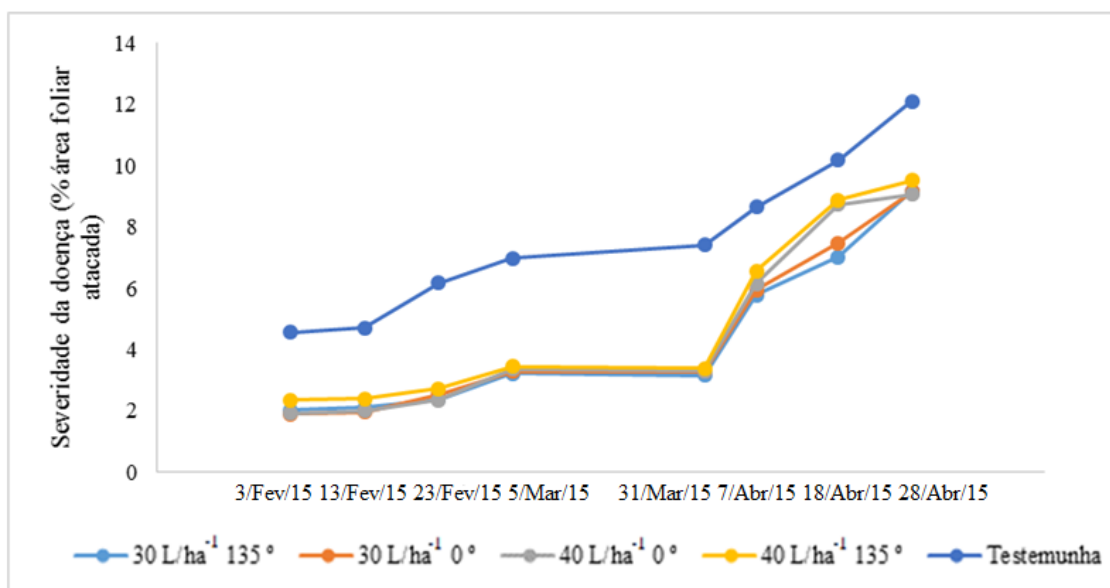


Figura 13. Curvas de progresso da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar para as diferentes formas de aplicação aérea de calda fúngica na folha +4.

3.3 Avaliação de produtividade

Na análise da biometria (Tabela 10), verifica-se que a taxa de aplicação de 30 L ha⁻¹ com orientações dos bicos em 135° (voltados para frente) e 0° (voltados para trás) foi a que proporcionou os melhores resultados para número de colmos por metro linear e toneladas por hectare. Apenas para massa de colmos não houve diferença entre as parcelas tratadas com fungicida. Provavelmente, o fato de a taxa de aplicação de 30 L ha⁻¹ ter proporcionado melhor deposição de calda na cultura e de ter havido controle satisfatório da ferrugem alaranjada resultou em diferença nas variáveis analisadas. Destaca-se também que a severidade da doença não foi muito elevada na área, corroborando os resultados encontrados.

Dessa forma, a aplicação aérea com taxa de aplicação de 30 L ha⁻¹ mostrou-se eficiente em comparação com a aplicação com taxa de 40 L ha⁻¹. É possível inferir que o uso da menor taxa de aplicação aumenta a autonomia e a capacidade operacional das aeronaves, o que tende a reduzir os custos e aumentar o aproveitamento de boas condições climáticas. A aplicação aérea constitui-se como uma importante ferramenta que o produtor pode utilizar quando necessário. Estudos de custo, urgência de aplicação e disponibilidade de aeronaves, juntamente com os de mão de obra, deverão contribuir para a tomada de decisão final.

Os ganhos comparativos no estande (número de colmos por metro linear) com as aplicações aéreas à taxa de 30 L ha⁻¹, na orientação dos ângulos dos bicos em 135° e 0°, foram de 2,53 e 2,50 colmos por metro linear, proporcionando os melhores resultados de colmos por metro linear: 11,10 e 11,07, respectivamente. Para a biomassa, as plantas que receberam a aplicação aérea à taxa de 30 L ha⁻¹ com a orientação do ângulo dos bicos em 135° apresentaram o incremento de 425,9 g por colmo em relação às plantas testemunhas; porém, não houve diferença significativa entre as taxas de aplicação e os ângulos dos bicos.

Em relação à produtividade, todos os tratamentos tiveram resultados que diferiram daqueles da planta testemunha. Os incrementos na produtividade da cana-de-açúcar com as aplicações de fungicidas em condições distintas de pulverização foram significativos, com ganhos de 39,59 e 33,10 t ha⁻¹, quando se utilizou taxa de aplicação de 30 L ha⁻¹ com orientações dos ângulos dos bicos em 135° e 0°, respectivamente.

Tabela 10. Valores biométricos de número de colmos por metro (estande), biomassa (peso dos colmos) e produtividade (tonelada de colmos por hectare) após as diferentes formas de aplicação do fungicida visando ao controle da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar na variedade SP81-3250. Uberaba/MG. Safra 2015/2016.

Taxa de ¹ aplicação	Orientação dos bicos	Estande		Biomassa		Produtividade	
		Nº de colmos m ⁻¹	Inc ² colmo m ⁻¹	massa colmo ⁻¹ (g)	Inc ² g colmo ⁻¹	t ha ⁻¹	Inc ² t ha ⁻¹
30 L ha ⁻¹	135°	11,10 a	2,53	1007,67 a	425,90	73,19 a	39,59
30 L ha ⁻¹	0°	11,07 a	2,50	910,00 a	328,23	66,70 a	33,10
40 L ha ⁻¹	0°	9,07 b	0,50	906,33 a	324,56	54,07 b	20,47
40 L ha ⁻¹	135°	9,87 b	1,30	834,67 a	252,90	55,40 b	21,80
30 L ha ⁻¹	90°	9,63 b	1,06	849,00 a	267,23	54,76 b	21,16
Testemunha	---	8,57 b	---	581,77 b	---	33,60 c	---

¹Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste T de Student, a 0,05 de significância.

²Inc = Incremento em relação à planta testemunha.

A ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar pode ser controlada se o correto fungicida for selecionado, quando a aplicação ocorrer no início do ciclo de infecção e com uma boa cobertura das folhas afetadas (OLIVEIRA *et al.*, 2011). Todos esses aspectos devem ser observados em relação aos valores da cana-de-açúcar, do açúcar ou do álcool.

Em consonância com Giglioti *et al.* (1999), mesmo variedades moderadamente resistentes, em condições de plantio com torta de filtro, adubação orgânica, fertirrigação com vinhaça e clima favorável, podem apresentar altos níveis de severidade, sendo economicamente viável o uso de fungicidas para o controle das ferrugens que atacam a cana-de-açúcar. Portanto, fungicidas à base de misturas de Estrobilurinas e Triazóis se constituem em excelentes ferramentas para o controle da ferrugem alaranjada, enquanto não justificar a substituição de variedades suscetíveis por resistentes.

Na atualidade, sabe-se que pesquisas com fungicidas à base de misturas dos grupos químicos Estrobilurinas e Triazóis em cana-de-açúcar demonstram boa eficácia no controle da ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehnii*), aumentando a produtividade da cultura (SCOLARET, 2015). Também é sabido que a variedade SP81-3250 empregada no experimento é suscetível a esse fungo (SYNGENTA, 2010).

Consoante Rodrigues (2012), o uso de fungicidas dos grupos Azoxistrobina + Ciproconazol impediu a proliferação do fungo da ferrugem alaranjada, fazendo com que a produtividade da cultura da cana-de-açúcar fosse maior, corroborando os resultados encontrados neste trabalho. Essa maior produtividade deve-se à sanidade foliar e pela menor senescência foliar proporcionada pelos fungicidas utilizados, contribuindo para maiores taxas fotossintéticas, maior aproveitamento de energia pela planta e, conseqüentemente, maior acúmulo de sacarose.

Em cana-de-açúcar, o recente aparecimento da ferrugem alaranjada fez produtores e pesquisadores avaliarem fungicidas como uma alternativa de controle emergencial, enquanto possíveis variedades suscetíveis não forem substituídas por outras com características agronômicas desejadas. Nesse sentido, fungicidas do grupo químico dos Triazóis e das Estrobilurinas estão entre os utilizados em outros países (SCORALERT, 2015).

A aplicação de fungicidas à base de misturas de Estrobilurinas e Triazóis pode propiciar à planta de cana-de-açúcar maiores produtividades de massa. Isso provavelmente ocorre segundo dados relatados em outras culturas (GROSSMANN; RETZLAFF, 1997; GROSSMANN *et al.*, 1999; OERKE, 2001; VENANCIO *et al.*, 2004; FAGAN, 2007; KOZLOWSKIA *et al.*, 2009; RODRIGUES *et al.*, 2009; FAGAN *et al.*, 2010; LENZ *et al.*, 2011; DEMANT; MARINGONI, 2012) e observados na cana-de-açúcar (FERNÁNDES *et al.*, 2103). Nesse sentido, mesmo tratamentos com a mesma severidade da doença podem proporcionar diferentes produtividades, demonstrando as vantagens da aplicação correta do fungicida.

4 CONCLUSÕES

A aplicação aérea à taxa de aplicação de 30 L ha⁻¹, em comparação com a de 40 L ha⁻¹, proporcionou maior deposição de calda fungicida e maior produtividade da cana-de-açúcar. O ângulo dos bicos de pulverização na barra da aeronave, voltados para trás, de forma a produzir gotas maiores, não interferiu nos resultados da aplicação, demonstrando ser uma alternativa viável para a redução de deriva. A aplicação aérea com gotas finas e médias proporcionou maior deposição de calda nas folhas de cana-de-açúcar e menor perda para o solo, em comparação com a aplicação terrestre com gotas extremamente grossas. A aplicação de fungicidas gerou incrementos de produtividade superiores a 20 t ha⁻¹, independentemente da forma de aplicação, podendo alcançar 40 t ha⁻¹ com aplicações aéreas.

REFERÊNCIAS

- AKKERHUIS, G.A.J.M.; AXELSEN, J.A.; KJAER, C. Towards predicting pesticide deposition from plant phenology; a study in spring barley. **Pesticide Science**, London v.53, n.3, p.252-262, 1998.
- AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; SANGUINO, A.; CARDOSO, C.O.N.; MORAES, V.A.; FERNANDES, C.R. Metodologia de avaliação de ferrugem da cana-de-açúcar (*Puccinia melanocaphala*). **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, v.39, p. 13-16, 1987.
- ANTUNIASSI, U. R. Conceitos básicos da tecnologia de aplicação de defensivos na cultura da soja. **Boletim de pesquisa da soja**, Rondonópolis, v. 13, p. 299-316, 2009.
- ASAE - American Society of Agricultural Engineering. **Spray nozzle classification by droplet spectra**. St. Joseph: ASAE, 2000. p.389-391. (ASAE Standard S572 AUG99).
- BALAN, M.G.; ABI SAAB, O.J.G.; FONSECA, I.C.DE B.; SILVA, SASAKI, C.G.DA., HYROYUKI. Pulverização em alvos artificiais: avaliação com o uso do software conta-gotas. **Ciência Rural**, Londrina, v.34, n.4, p. 916-919, 2005.
- BAUER, F.C.; RAETANO, C.G. Air-assisted boom sprayer and spray deposition on bean plants. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, n.2, p. 211-215, 2003.
- BAYER, T.; COSTA, I. F. D; LENZ, G.; ZEMOLIN, C., MARQUES, L.M.; STEFANELO, M. Equipamentos de pulverização aérea e taxas de aplicação de fungicida na cultura do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.2, p.192-198, 2011.
- BOLLER, W.; FORCELINI, L. A.; HOFFMANN, L. L. Tecnologia de aplicação de fungicidas Parte I. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v. 15, p. 243-276, 2007.
- BUENO, M. R.; CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Estudo do espectro de gotas produzidas nas pulverizações aérea e terrestre na cultura da batata. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 54, n. 3, p. 225-234, 2011.
- BUENO, M.R.; CUNHA, J.P.A.R.; ALVES, G.S. Deposição de calda na aplicação aérea e terrestre de fitossanitário na cultura da batata. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 6, p. 1210-1222, 2013.
- BUENO, M. R. **Tecnologia de aplicação aérea e terrestre na cultura da batata**. 2011. 72f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.
- BYNUM, E.D, ARCHER JR., T. L., LYLE, W. M., BORDOVSKY, J.P., ONKEN, A.B. Chemical coverage on corn and sorghum plants sprayed with lithium sulfate using an airplane, chemigation, or a multifunction irrigation-pesticide application system. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 84, n. 6, p. 1869 -1878, dez., 1991.

CAMARGO, V.T.; BOMELLI, M.A.P.O.; ROMAGNOLE, E.W.C. Aplicações aéreas visando o controle da ferrugem da soja. III Sintag. Botucatu.SP, 2004.

CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L.V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: Wiley-Interscience, 1990. 532p.

CHAIM, A. Manual de tecnologia de aplicação de agrotóxicos. Embrapa, Brasília, D.F: Embrapa Informação Tecnológica, p.15-37, 2009.

CORRÊA, H. G.; BENEZ, S. H.; BERTON, R. S.; SÁES, L. A. Depósitos de calda obtidos com a aplicação aérea de defensivos na cultura da banana. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 1, p. 121-128, 2004.

CUNHA, J. P. A. R. da.; FARNESE, A. C.; OLIVET, J. J.; VILLALBA, J. Deposição de calda pulverizada na cultura da soja promovida pela aplicação aérea e terrestre. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 343-351, 2011.

CUNHA, J.P.A.R. da.; SILVA, L. L. da; BOLLER, W.; RODRIGUES, J. F. Aplicação aérea e terrestre de fungicida para o controle de doenças do milho. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.41, n.3, p.366-372, 2010.

CUNHA, J. P. A. R da.; SILVA, R. A. M. Uniformidade de distribuição volumétrica de pontas de pulverização em função da pressão de trabalho e altura da barra. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 1, p. 52-58, 2010.

CUNHA, J. P. A. R. da. Simulação de deriva de Agrotóxicos em diferentes condições de pulverização. **Ciências e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1616-1621, 2008.

CUNHA, J. P. A. R. da.; CARVALHO, W. P. A. Distribuição volumétrica de aplicações aéreas de agrotóxicos utilizando adjuvantes. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.13, n. 2, p. 130-135, 2005.

CUNHA, J.P.A.R. da.; TEIXEIRA, M.M.; VIEIRA, R.F.; FERNANDES, H.C.; COURY, J.R. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.10, p.977-985, 2004.

CUNHA, J. P. A. R. da; TEIXEIRA, M. M.; COURY, J. R.; FERREIRA, L. R. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p.325-332, 2003.

CZACZYK, Z.; KRUGER, G.; HEWITT, A. Droplet size classification of air induction flat fan nozzles. **Journal of Plant Protection Research**, Poland, v.52, p.415-420, 2012.

DEMANT, L.A.R; MARINGONI, A.C. Controle da mancha angular do feijoeiro com uso de fungicidas e seu efeito na produção das plantas. **Idesia**, Chile, v.30, n.2, p.93-100, 2012.

FAGAN, E.B. **A cultura da soja: Modelo de crescimento e aplicação da estrobirulina piraclostrobina**. 2007, 84 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba. 2007.

FAGAN, E.B.; DOURADO NETO, D.; VIVIAN, R.; FRANCO, R.B.; YEDA, M.P.; MASSIGNAM, L.F. Efeito da aplicação de piraclostrobina na taxa fotossintética, respiração, atividade da enzima nitrato redutase e produtividade de grãos de soja. **Bragantia**, Campinas, v.69, n. 4, p.771-777, 2010.

FERNANDES, A. P.; PARREIRA, R. S.; FERREIRA, M. C.; ROMANI, G. N. Caracterização do perfil de deposição e do diâmetro de gotas e otimização do espaçamento entre bicos na barra de pulverização. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 728-733, 2007.

FERNÁNDES, M. da silva; SEGATO, S.V.; ROCHA, D. R. Produtividade, açúcar e brotação de cana-de-açúcar submetida a fungicidas e maturadores. **Nucleus**, Ituverava, v.10, n.2, p. 323-338, 2013.

GIGLIOTI, É.A.; ZAVAGLIA, L.P.; MENESES, L.L. ; MOURA, G.L.; MATSUOKA, S. **Resistência e tolerância à ferrugem da cana-de-açúcar: o caso da RB835486**. Araras: CCA/UFSCar, 1999 (Boletim).

GROSSMAN, K.; RETZLAFF, G. Bioregulatory effects of the fungicidal strobilurin Kresoxim methyl in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Pesticide Science**, Oxford v.50, n.1, p.11-20, 1997.

GROSSMANN, K.; KWIATKOWSKI, J.; CASPAR, G. Regulation of phytohormone levels leaf senescence and transpiration by the strobilurin kresoxim methyl in wheat (*Triticum aestivum*). **Journal of Plant Physiology**, v.154, n.5-6, p.805-808, 1999.

INDEX FUNGORUM. *Puccinia kuehnii*. 2013. Disponível em: <<http://www.indexfungorum.org/names/NamesRecord.asp?RecordID=243512>>. Acesso em: 12 jan. 2016.

INTA. **T&C CIR**: conteo y tipificación de impactos de pulverización. Versión 1.5. Buenos Aires: INTA, 2002.

JÚNIOR, A. de SÁ. **Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais**. 2009. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

JUSTINO, A.; MENON, L.; BORA, L.; GARCIA, L. C.; RAETANO, C. G. Sentido de pulverização em culturas de soja e feijão com pulverizador de barras. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 755-758, 2006.

KIRK, I.W. Measurement and prediction of atomization parameters from fixed-wing aircraft spray nozzles. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v.50, n. 3, p.693-703, 2007.

KOZLOWSKIA, L.A.; SIMÕES, D.; SOUZA, C.D.; TENTRO, M. Efeito fisiológico de estrobilurina F 500® no crescimento e rendimento do feijoeiro. **Revista Acadêmica: Ciência Agrária e Ambiental**, Curitiba, v.7, n.1, p.41-54, 2009.

LENZ, G.; COSTA, I.F.D.; ARRUE, A.; CORADINI, C.; DRESSLER, V.L.; MELLO, P.A. Severidade de doenças e manutenção da área foliar verde em função da aplicação de micronutrientes e fungicidas em trigo. **Summa phytopathol.** Botucatu, v.37, n.2, p. 119-124. 2011.

LIBERATO, J. R. **Desenvolvimento e avaliação do Programa QUANT para a quantificação de doenças de plantas por análise de imagens digitais**. 2003. 112f. Dissertação (Doutorado em Fitopatologia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MADALOSSO, M.G. **Efeito varietal e do espaçamento entrelinhas no patossistema soja - Phakopsora pachyrhizi Sidow**. 2010. 111f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

MARGAREY, R.C.; STAIER, T.; WILLCOX, T.G. Fungicides for control of orange rust in the 2001 Queensland crop. **Proceedings of the Conference of the Australian Society of Sugar C. Technologists**, Australian, v.24, p. 269-274, 2002.

MAGAREY, R. C., BULL, J.I.; TOMASIN, W. A. **Yield losses caused by leaf diseases: 1999 and 2003 selection trial analyses**. In: Bruce, R. C. ed. *Proceedings Anais... of the 2008 Conference of the Australian Society of Sugar C Technologists*. v. 30, p. 309-321, 2008.

MEWES, W. L. C.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; ZANUNCIO, J. C.; ALVARENGA, C. B. Aplicação de agrotóxicos em eucalipto utilizando pulverizador pneumático. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 2, p. 347-353, 2013.

MURPHY, S. D.; MILLER, P. C. H.; PARKIN, C. S. The effect of boom section and nozzle configuration on the risk of spray drift. **Journal of Agricultural Engineering Resource**, London, v. 75, n. 2, p. 127-137, 2000.

NUYTTENS, D.; BAETENS, K.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; SONCK, B. Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. **Biosystems Engineering**, Silsoe, v. 97, n. 3, p. 333-345, 2007.

OERKE, M.A.; BECK, C.; DEHNE, H.W. Physiologic effects of strobirulins on wheat yield. **Phytopathology**, St. Paul, v.91 (supl. 6), p. 67, 2001.

OLIVEIRA, V. A. B. de; OLIVEIRA, G. M. de; GIGLIOTI, E. Â.; IGARASHI, W. T.; ABI SAAB, O. J. G. Desempenho de bicos rotativos e hidráulicos na aplicação aérea de fungicidas em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 4, n.3, p.111-122, 2011.

PALLADINI, L. A.; RAETANO, C. G.; VELINI, E. D. Choice of tracers for the evaluation of spray deposits. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 5, p. 440-445, 2005.

RODRIGUES, M.A.T.; BEGLIOMINI, E.; DOURADO-NETO, D. Efeito fisiológico da piraclostrobina em plantas de feijão. **Tropical Plant Pathology**. v.34 (supl.), p. 394, 2009.

RODRIGUES, F.E. **Eficácia de Azoxistrobina + Ciproconazol no controle de ferrugem alaranjada em cana-de-açúcar**. 2012. 29f. Trabalho (graduação) Tecnologia em Biocombustíveis, Fatec: Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, Jaboticabal, 2012.

RODRIGUES, E. B. *et al.* Cana-de-açúcar: avaliação da taxa de aplicação e deposição do herbicida glyphosate. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 1, p. 90-95, 2011.

SALYANI, M.; CROMWELL, R.P. Spray drift from ground and aerial applications. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.35, n.4, p.1113-220, 1993.

SCORALERT. SUGARCANE ORANGE RUST ALERT SYSTEM. **Medidas de controle da ferrugem alaranjada**. Disponível em:<<http://www.scoralert.com.br/Medidas.aspx>> Acesso em: 25 mar. 2015.

SILVA, O. C. Tecnologia de aplicação de fungicidas. In: CANTERI, M. G.; PRIA, M. D.; SILVA, O. C. (Eds.). **Principais doenças fúngicas do feijoeiro**. Ponta Grossa: UEPG, 1999. p. 127-137.

SOUZA, I. G. de.; OLIVEIRA, G.M. de.; OLIVEIRA, V.A.B. de.; IGARASHI, W.; BALAN, R.; ABI SAAB, O.J.G. **Comparação dos custos de aplicação de produtos fitossanitários por via aérea e terrestre com máquinas próprias e terceirizadas**. V Sintag. Cuiabá, MT, 2011.

SOUZA, L. A. de.; CUNHA, J. P. A. R. da.; PAVANIN, L. A. Deposição do herbicida 2,4-D Amina com diferentes volumes e pontas de pulverização em plantas infestantes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 78-85, 2012.

SUMNER, P. E. **Reducing spray drift**. Georgia: University of Georgia, 1997. 11 p. (ENG97-005).

SUMNER, P. E.; SUMNER, S. A. **Comparison of new drift reduction nozzles**. St. Joseph: ASAE, 1999. 17 p. (ASAE Paper, n. 99-1156).

STAIER, T.N., MARGAREY, R.C. AND FINLAYSON, W.A. Meteorological data collection, analysis and sugarcane disease forecasting for orange rust. **Proceedings of the Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technology**, Australian, v.26, 2004. npag.

SYNGENTA. **Guia de Identificação de Doenças da Cana-De-Açúcar**. São Paulo: 2010. p. 4-27.

SPSS Inc. **SPSS statistics for Windows, version 20.0**. Chicago: SPSS Inc., 2011.

- TEIXEIRA, M.M. **Influencia del volumen de caldo y de la uniformidad de distribución transversal sobre la eficiencia de la pulverización hidráulica**. 1997. 310f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- TSAI, M. Y.; ELGETHUN, K.; RAMAPRASAD, J.; YOST, M. G.; FELSOT, A. S.; HEBERT, V. R.; FENSKE, R. A. The Washington aerial spray drift study: modeling pesticide spray drift deposition from an aerial application. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 39, n. 33, p. 6194-6203, 2005.
- VALE, F.X.R.; FERNANDES FILHO, E.I.; LIBERATO, J.R. **QUANT: image processing software**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2002. Versão 1.0.2.
- VENANCIO, W.S.*et al.* Physiological effects of strobilurin fungicides on plants. **Publicatio UEPG**. Ponta Grossa, v.9, n.3, p.59-68, 2004.
- VIANA, R. G.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, M. C.; TEIXEIRA, M. M.; ROSELL, J. R.; TUFFI SANTOS, L. D.; MACHADO, A. F. L. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de baixa deriva. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 439-446, 2010.
- VIANA, R. G.; FERREIRA, L. R.; ROSELL, J. R.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; MACHADO, M. S.; MACHADO, A. F. L. Deposición transversal de líquido de las boquillas de doble abanico TTJ60-11004 y TTJ60-11002 en distintas condiciones operacionales. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 397-403, 2009.
- VILLALBA, J.; HETZ, E. Deriva de productos agroquímicos - Efecto de las condiciones ambientales. In: _____. **Tecnología de aplicación de agroquímicos**. Argentina: Área de comunicaciones del INTA Alto Valle, 2010. Cap.3, p.45-54.
- WENNEKER, M.; ZANDE, J. C. van de. Drift reduction in orchard spraying using a cross flow sprayer equipped with reflection shields (Wanner) and air injection nozzles. **CIGR e Journal**, China, v.10, p.1-10, 2008.
- WOLF, R. E. **Strategies to reduce spray drift**. Kansas: Kansas State University, 2000. 4 p. (Application Technology Series).
- WOMAC, A.R.; MAYNARD, R.A.; KIRK, I.W. Measurement variations in reference sprays for nozzle classification. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.42, n. 3, p.609-616, 1999.
- ZHU, H.; DORNER, J. W.; ROWLAND, D. L.; DERKSEN, R. C.; OZKAN, H. E. Spray penetration into peanut canopies with hydraulic nozzle tips. **Biosystems Engineering**, Silsoe, v. 87, n. 3, p. 275–283, jan. 2004.

CAPÍTULO III

**FISIOLOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO AÉREA
E TERRESTRE DE FUNGICIDAS NO CONTROLE DA FERRUGEM
ALARANJADA *Puccinia kuehnii* (W. Krüger) E. J. .Butler**

FISIOLOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO AÉREA E TERRESTRE DE FUNGICIDAS NO CONTROLE DA FERRUGEM

ALARANJADA *Puccinia kuehnii* (W. Krüger) E. J. Butler

RESUMO

A aplicação de fungicidas empregando diferentes tecnologias é uma prática usual para a obtenção do máximo potencial produtivo nas variedades de cana-de-açúcar consideradas suscetíveis. No entanto, pouco se conhece sobre sua influência na fisiologia da planta. Estimativas de trocas gasosas (CO_2 e H_2O) foliares, combinadas com medições da quantidade de clorofilas *a* e *b*, são importantes indicadores fisiológicos para a avaliação do desempenho fotossintético das plantas. O presente estudo teve como objetivo estudar as respostas fotossintéticas, as trocas gasosas e os teores de clorofila das plantas de cana-de-açúcar, variedade SP81-3250, em função das tecnologias de aplicação aérea e terrestre de fungicidas para o controle da ferrugem alaranjada. Executaram-se duas aplicações de fungicidas dos grupos químicos Estrobilurinas e Triazois nas unidades experimentais. Nas aplicações aéreas, utilizaram-se duas taxas de aplicação (30 e 40 L ha^{-1}) e três orientações dos bicos na barra de pulverização (135° , 0° e 90° em relação à linha de voo). O ângulo de 90° , considerado como padrão aéreo da Usina Vale do Tijuco, foi avaliado apenas na segunda aplicação. Nas aplicações terrestres, utilizaram-se taxa de aplicação de 200 L ha^{-1} e pontas de pulverização de jato plano com indução de ar (AI11004-VS). Esse procedimento, considerado como padrão terrestre da referida usina, foi avaliado apenas na primeira aplicação. Foram realizadas avaliações de trocas gasosas com analisador de gás IRGA e de quantidade de clorofilas *a* e *b* com um clorofilômetro. Os dados foram analisados usando o teste T de Student, para amostras independentes, a 0,05 de significância. A aplicação aérea, dentre as diferenças fisiológicas observadas nas avaliações de trocas gasosas e clorofila, proporcionou, em geral, melhores taxas fotossintéticas em comparação com a aplicação terrestre, com melhor desempenho da fotossíntese e maior concentração das clorofilas *a* e *b* no limbo foliar. Não foram detectadas claras diferenças entre as aplicações aéreas nas distintas condições operacionais de taxa de aplicação e angulação do bico de pulverização na barra.

PALAVRAS-CHAVE: tecnologia de aplicação, analisador de trocas gasosas - IRGA, clorofilômetro, pulverização.

PHYSIOLOGY OF SUGAR CANE IN FUNCTION OF AERIAL AND GROUND APPLICATION OF FUNGICIDES TO CONTROL ORANGE RUST

Puccinia kuehnii (W. Krüger) E. J. Butler

ABSTRACT

The application of fungicides using different technologies is a regular practice aimed at assuring maximum productivity in pest-susceptible sugarcane varieties. However, little is known about the influence of application technology on plant physiology. Estimates of leaf gas exchange (CO_2 and H_2O) combined with concentration measurements of chlorophyll a and b are important physiological indicators to evaluate the photosynthetic performance of plants. This study taps into the photosynthetic responses, gas exchange and chlorophyll content of sugarcane plants (variety SP81-3250) as a function of aerial and ground application of fungicides to control orange rust. Experimental units received two different applications of fungicides of the chemical groups strobilurin and triazole. Aerial applications were performed using two different volume rates (30 and 40 L ha^{-1}) and spray bar nozzles in three different angles (135° , 0° and 90° to the flight line). The 90° angle, the aerial standard used at sugar factory Usina Vale do Tijuco, was assessed at the second application only. Ground applications were performed using rates of 200 L ha^{-1} and flat fan spray nozzles with air induction (AI11004-VS). This procedure, used as the ground standard in the sugar factory, was measured in the first application only. Gas exchange was assessed using gas analyzer IRGA, and the amount of chlorophyll a and b was measured using a chlorophyll meter. Data were analyzed using Student's t test for independent samples, with significance set at 0.05. Aerial application provided generally better photosynthetic rates compared to ground application, with better photosynthesis performance and higher concentration of chlorophyll a and b in the leaf blade than found for ground application. No differences were found in gas exchange across the air applications in different operating conditions for volume rates and angles of the spray bar nozzle.

KEYWORDS: application technology, gas exchange analyzer - IRGA, chlorophyll, spraying.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é atacada por duas espécies de *Puccinia*, a ferrugem alaranjada, cujo agente causal é o fungo *Puccinia kuehnii* (W. Krüger) E. J. Butler, e a ferrugem marrom, cujo agente causal é o fungo *Puccinia melanocephala* H. Sydow ou P. Sydow. Essa última foi detectada no final de 1986, provocando poucos danos, haja vista a resistência ao fungo nos estágios fenológicos mais avançados das principais variedades cultivadas pela COPERSUCAR naquela época (COPERSUCAR, 1986). A primeira, apesar de recente no Brasil, vem preocupando produtores e técnicos ligados ao setor sucroalcooleiro em razão dos danos que pode causar às culturas.

A ferrugem alaranjada foi diagnosticada pela primeira vez no Brasil em 2009 na região de Araraquara/SP, afetando clones da CanaVialis 14. Posteriormente, veio a afetar outras variedades (*e.g.*, RB72-454, RB 85-5156, SP84-2025, SP81-3250, SP89-1115 e CTC 9), que na época representavam menos de 10% da área cultivada no País, e causou perdas significativas em produtividade (BARBASSO *et al.*, 2010). Atualmente, a doença já se encontra disseminada nos Estados de São Paulo, Espírito Santo, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Alagoas (GIGLIOTI *et al.*, 2010). De acordo com Araújo *et al.* (2011), em vários países e inclusive no Brasil, as perdas em variedades suscetíveis e intermediárias mostram-se superiores a 40%.

A ferrugem alaranjada é causada por um fungo biotrófico, que apresenta uma baixa gama de hospedeiros, atacando principalmente plantas do gênero *Saccharum* (VIRTUDAZO *et al.*, 2001). Essa doença se caracteriza por lesões foliares que, quando atingem a maturidade, levam à ruptura da epiderme da folha, conferindo à superfície foliar uma aparência áspera (MAGAREY, 2000). Esse tipo de sintoma típico de ferrugem facilita a sua identificação no campo, pois apresenta pústulas de coloração laranja-claro, ovais e curtas, ocasionando manchas cloróticas em folhas jovens, principalmente na face abaxial das folhas (GLYNN *et al.*, 2010). Essas lesões evoluem rapidamente e coalescem em variedades altamente suscetíveis, o que causa a necrose das folhas (FERRARI *et al.*, 2010).

Nas regiões de ocorrência da ferrugem alaranjada, a prática recomendada para o controle da doença tem sido a substituição de variedades e o uso de fungicidas em aplicações preventivas nas variedades de cana-de-açúcar suscetíveis e intermediárias.

Nos períodos favoráveis ao desenvolvimento da doença, tem se mostrado bastante eficiente a aplicação desses produtos fitossanitários, com bons ganhos de produtividade (GODOY; CANTERI, 2004; MARGAREY, 2008).

O uso de produtos fitossanitários, em especial fungicidas, é muito incipiente para o manejo de doenças em cana-de-açúcar. Não existe tradição de seu uso, em comparação com as demais grandes culturas. Atualmente, existem cinco fungicidas comerciais registrados para o controle da ferrugem alaranjada, todos tendo como princípio ativo a mistura de Estrobilurina e Triazol. Novos compostos estão sendo avaliados, envolvendo outros grupos químicos, como as Carboxamidas (AGROLINK, 2015).

As Estrobilurinas atuam através da inibição da respiração mitocondrial, bloqueando a transferência de elétrons entre o citocromo b e o citocromo c1 (complexo III), interferindo na formação de ATP (BALDWIN *et al.*, 1996). Elas favorecem no caráter “*stay green*” (efeito verde), responsável pela permanência da estrutura verde da planta por um período mais prolongado de tempo. Além de possibilitar maior fotossíntese, pode auxiliar a planta de forma direta no desenvolvimento de maior tolerância à presença de moléstias, principalmente necrotróficas (SILVA, 1999).

Os fungicidas do grupo dos Triazóis são de ação sistêmica, inibidores da biossíntese de lipídios (do tipo ergosterol) que compõem a membrana celular. Podem agir contra a germinação de esporos, a formação do tubo germinativo e o apressório, mesmo que haja a penetração do patógeno nos tecidos tratados. O produto atua inibindo o haustório e/ou crescimento micelial no interior dos tecidos (JULIATTI, 2005).

Nesse contexto, verifica-se que a aplicação de fungicidas pode influenciar na fisiologia das plantas de cana-de-açúcar; porém, poucas informações existem a respeito. Diversas medidas experimentais estão disponíveis para o estudo do comportamento do sistema fotossintético de uma planta e de suas alterações com a aplicação de agrotóxicos. As avaliações dos teores de clorofilas *a* e *b*, da fluorescência da clorofila *a* e dos mecanismos de trocas gasosas foliares (CO₂ e H₂O) podem ser utilizadas como parâmetros para a compreensão do desempenho fotossintético de uma planta (NELSON; COX, 2005; BAKER, 2008).

Consoante Loreto e Bongi (1989), os fatores que influenciam a fotossíntese em plantas de cana-de-açúcar direta ou indiretamente são: deficiência hídrica, estresse térmico e herbicidas utilizados para controle de plantas daninhas. Além desses fatores, a concentração interna e externa de gases (KIRSCHBAUM; PEARCEY, 1988) e a

composição e intensidade da luz (SHARKEY; RASCHKE, 1981) podem estar associadas a danos causados por herbicidas (FERREIRA *et al.*, 2005). A taxa fotossintética está diretamente relacionada à radiação fotossinteticamente ativa (composição da luz), aos fatores de disponibilidade hídrica e às trocas gasosas (NAVES-BARBIERO *et al.*, 2000).

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo estudar as respostas fotossintéticas, as trocas gasosas e os teores de clorofila das plantas de cana-de-açúcar em função das tecnologias de aplicação aérea e terrestre de fungicidas no controle da ferrugem alaranjada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em área comercial de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), variedade SP81-3250, na fazenda Salto, localizada no Município de Uberaba/MG, fornecedora de cana-de-açúcar à Usina Vale do Tijuco, unidade vinculada ao Grupo Companhia Mineira de Açúcar e Álcool (CMAA). Conduziu-se uma primeira aplicação de fungicida na safra 2015/2016, em 29 de janeiro de 2015, em época de alta infecção natural de ferrugem alaranjada na cultura da cana-de-açúcar. Realizou-se também uma segunda aplicação em 23 de março do mesmo ano, em época de média pressão do inóculo. Porém, as condições climáticas nesse mês favoreceram o desenvolvimento do fungo, sendo necessária a reaplicação. Essa segunda aplicação seguiu a mesma metodologia do mês de janeiro.

Nesse experimento, as condições foram semelhantes às realizadas no Capítulo II, referentes aos tratamentos e equipamentos utilizados no controle da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar (*Puccinia kuehnii*). Avaliaram-se as trocas gasosas em decorrência do tratamento fitossanitário e também a quantidade de clorofilas *a* e *b* em decorrência da tecnologia de aplicação utilizada, conforme mostrado na Figura 3.

2.1 Avaliação das trocas gasosas e quantificação de clorofilas *a* e *b* na cana-de-açúcar

As avaliações das trocas gasosas e a quantificação de clorofilas *a* e *b* na cultura da cana-de-açúcar foram realizadas, respectivamente, com um medidor de trocas

gasosas IRGA – Infrared Gas Analyser (modelo LCpro-SD, da ADC BioScientific Ltda.) e um clorofilômetro (ClorofiLOG CFL-1030, da Falker Automação Agrícola) cedido pelo Instituto de ciências Biologia, da Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais. Antes de cada aplicação de calda fúngica, mistura de Estrobilurinas + Triazóis, foram avaliadas as trocas gasosas e as quantidades de clorofilas *a* e *b*, nos dias 28 de janeiro e 22 de março, correspondendo à primeira e à segunda aplicação, respectivamente. As avaliações de trocas gasosas e a quantificação de clorofilas *a* e *b* na cana-de-açúcar ocorreram: após a primeira aplicação do fungicida, nos dias 03, 10 e 23 de fevereiro de 2015; após a segunda aplicação, nos dias 31 de março e 07 e 18 de abril de 2015.

Para as avaliações de trocas gasosas e a quantificação das clorofilas *a* e *b*, foram amostradas sete plantas ao acaso por parcela. Em cada planta, no dossel superior foi amostrada a folha do ponteiro, no terço médio da primeira folha totalmente expandida e com a lígula aparente (folha +1) (ARANTES *et al.*, 2013; SALES *et al.*, 2012), como mostrado na Figura 14a,b.



FIGURA 14. a) Leitura na folha +1 com o medidor de trocas gasosas (IRGA – Infrared Gas Analyser, modelo LCpro-SD, da ADC BioScientific Ltda.). b) Leitura na folha +1 com um clorofilômetro (ClorofiLOG CFL-1030, da Falker Automação Agrícola).

Quanto às trocas gasosas, a assimilação de carbono (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{CO}_2$), a transpiração foliar (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{H}_2\text{O}$), a condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{H}_2\text{O}$) e o carbono intercelular (ci , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{CO}_2$) foram avaliados com o medidor IRGA. Utilizou-se sobre a câmara um canhão de luz artificial de forma que, durante as medidas, todas as folhas recebessem $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de densidade de fluxo de fótons. A cada folha analisada, aguardava-se a estabilização do equipamento e,

após cerca de um minuto, coletavam-se três leituras consecutivas no terço médio do limbo foliar de folhas completamente desenvolvidas (folha +1) em sete plantas por tratamento, totalizando 21 amostragens. Foi utilizado o mesmo avaliador para diminuir o erro amostral na tomada das leituras. As avaliações foram conduzidas com céu sem nebulosidade, entre as 8h e as 10h da manhã, para que não houvesse variações extremas de temperatura.

As relações de eficiência instantânea do uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) e eficiência em carboxilação (A/C_i) foram calculadas a partir dos dados obtidos pelo IRGA. Esses dados demonstram o desempenho fotossintético de uma planta, permitindo avaliar melhor as trocas gasosas e a fisiologia dessa planta.

Já a concentração de clorofilas a e b , representada pelo ICF (Índice de Clorofila Falker), foi avaliada com o clorofilômetro. As leituras foram feitas no terço médio do limbo foliar de folhas completamente desenvolvidas (folhas +1) em sete plantas ao acaso em cada tratamento. Para a avaliação de clorofilas, o ClorofiLOG utiliza dois emissores em comprimentos de onda próximos aos picos de cada tipo de clorofila ($\lambda = 635$ e 660 nm) e um emissor nos comprimentos de onda do infravermelho próximo ($\lambda = 880$ nm).

Os resultados de taxa de assimilação (A), taxa de transpiração (E), eficiência instantânea do uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s), eficiência em carboxilação (A/C_i) e ICF (Índice de Clorofila Falker) das clorofilas a e b foram primeiramente submetidos ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e ao teste de homogeneidade das variâncias de Levene, ambos a 0,01 de significância, com o auxílio do programa SPSS 20.0 (SPSS, 2011). Em seguida, esses resultados foram analisados usando o teste T de Student, para amostras independentes, a 0,05 de significância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação das trocas gasosas e quantificação de clorofilas a e b na cana-de-açúcar

Como foram efetuadas duas aplicações para o controle da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, cada uma foi avaliada separadamente. Dentre as variáveis avaliadas

pelo IRGA, a taxa de transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{H}_2\text{O}$) e a taxa de assimilação de carbono (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{CO}_2$) pelas folhas da variedade SP81-3250 foram as mais expressivas em termos de avaliação de eficiência fotossintética momentânea.

As trocas gasosas e a quantidade de clorofilas a e b , mensuradas um dia antes da primeira aplicação, apresentaram as seguintes médias: taxa de assimilação de $11,33 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{CO}_2$; taxa de transpiração de $1,82 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{H}_2\text{O}$; eficiência instantânea do uso da água de $3,47$ ($0,001 \text{mmol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})$); eficiência intrínseca do uso da água de $139,19$ ($0,001 \text{mmol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})$); eficiência instantânea em carboxilação de $0,21 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$; clorofila a de $22,40$ e clorofila b de $4,55$.

Previamente à segunda aplicação, as médias das trocas gasosas e a quantidade de clorofilas a e b apresentaram os seguintes valores: taxa de assimilação de $13,26 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{CO}_2$; taxa de transpiração de $1,18 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{H}_2\text{O}$; eficiência instantânea do uso da água de $10,05$ ($0,001 \text{mmol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})$); eficiência intrínseca do uso da água de $105,54$ ($0,001 \text{mmol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})$); eficiência instantânea em carboxilação de $0,08 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$; clorofila a de $21,41$ e clorofila b de $5,25$.

Os resultados de trocas gasosas foliares e clorofilas a e b , após a primeira aplicação, encontram-se na Tabela 11.

Tabela 11. Avaliações de trocas gasosas foliares e clorofilas *a* e *b*, na folha +1 de cana-de-açúcar, após a primeira aplicação de calda fúngica na variedade SP81-3250, para o controle da ferrugem alaranjada.

Avaliações Fisiológicas da Cana-de-Açúcar – 03/fevereiro/2015								
Taxa de ¹ aplicação	Orientação dos bicos e pontas	<i>A</i> ^a	<i>E</i> ^b	<i>A/E</i> ^c	<i>A/gs</i> ^d	<i>A/ci</i> ^e	Clorof. <i>a</i> ^f	Clorof. <i>b</i> ^f
30 L ha ⁻¹	135°	17,19 a	2,33 a	7,37 a	177,17 a	0,44 a	29,97 a	8,48 a
30 L ha ⁻¹	0°	16,21 a	2,19 a	7,40 a	170,43 a	0,43 a	29,80 a	7,74 a
40 L ha ⁻¹	0°	16,09 a	2,21 a	7,26 a	170,28 a	0,30 a	27,64 a	7,27 a
40 L ha ⁻¹	135°	21,23 a	2,54 a	8,35 a	168,72 a	0,41 a	28,99 a	7,47 a
200 L ha ⁻¹	AI11004-VS	12,78 b	1,99 b	6,39 b	153,24 b	0,19 b	24,75 b	6,32 b
Testemunha	---	12,08 c	1,98 b	6,10 c	143,32 c	0,18 b	21,64 c	5,32 b
Avaliações Fisiológicas da Cana-de-Açúcar – 13/fevereiro/2015								
Taxa de ¹ aplicação	Orientação dos bicos e pontas	<i>A</i> ^a	<i>E</i> ^b	<i>A/E</i> ^c	<i>A/gs</i> ^d	<i>A/ci</i> ^e	Clorof. <i>a</i> ^f	Clorof. <i>b</i> ^f
30 L ha ⁻¹	135°	17,43 b	1,79 b	9,73 a	169,84 b	0,46 a	27,50 a	6,28 a
30 L ha ⁻¹	0°	16,10 b	1,75 b	9,19 a	171,82 a	0,34 a	27,94 a	6,90 a
40 L ha ⁻¹	0°	15,65 b	1,77 b	8,84 a	181,29 a	0,35 a	26,61 a	6,98 a
40 L ha ⁻¹	135°	20,76 a	2,51 a	8,27 a	159,23 c	0,45 a	27,81 a	6,60 a
200 L ha ⁻¹	AI11004-VS	15,58 c	1,91 b	7,89 b	160,23 c	0,19 b	24,75 b	6,28 a
Testemunha	---	12,97 d	1,67 c	7,18 c	159,65 c	0,21 b	22,31 b	5,61 a
Avaliações Fisiológicas da Cana-de-Açúcar – 23/fevereiro/2015								
Taxa de ¹ aplicação	Orientação dos bicos e pontas	<i>A</i> ^a	<i>E</i> ^b	<i>A/E</i> ^c	<i>A/gs</i> ^d	<i>A/ci</i> ^e	Clorof. <i>a</i> ^f	Clorof. <i>b</i> ^f
30 L ha ⁻¹	135°	16,32 a	2,40 a	6,80 a	155,16 a	0,63 a	12,66 a	5,88 a
30 L ha ⁻¹	0°	15,22 a	2,35 a	6,47 a	148,58 a	0,43 a	12,84 a	7,14 a
40 L ha ⁻¹	0°	15,52 a	2,39 a	6,49 a	158,57 a	0,30 a	13,27 a	6,60 a
40 L ha ⁻¹	135°	16,61 a	2,41 a	6,89 a	145,08 a	0,49 a	11,01 a	8,35 a
200 L ha ⁻¹	AI11004-VS	13,91 a	2,31 a	6,02 b	151,38 a	0,02 a	12,71 a	4,85 a
Testemunha	---	12,23 b	2,16 b	5,66 c	149,47 a	0,02 a	13,22 a	6,48 a

¹Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste T de Student, a 0,05 de significância.

a: taxa de assimilação de carbono (*A*, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{CO}_2$); **b:** taxa de transpiração (*E*, $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{H}_2\text{O}$); **c:** eficiência instantânea do uso da água (*A/E*, 0,001 mmol CO_2 ($\text{mmol H}_2\text{O}$))); **d:** eficiência intrínseca do uso da água (*A/gs*, 0,001 mmol CO_2 ($\text{mmol H}_2\text{O}$))); **e:** eficiência de carboxilação da rubisco (*A/ci*, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$); **f:** Índice de Clorofila Falker.

As médias obtidas para taxa de transpiração (*b*) mostraram-se, em geral, superiores quando se utilizou a aplicação aérea nas diferentes formas de pulverização, principalmente na primeira avaliação. Esse comportamento pode ser um reflexo da diferença da deposição de calda fúngica aplicada à cultura, já que a aplicação terrestre apresentou menor deposição de calda no dossel e maiores perdas para o solo.

Na segunda avaliação, quinze dias após a aplicação, a maior taxa de transpiração foi observada quando se utilizou a aplicação aérea à taxa de 40 L ha⁻¹ com orientação do ângulo dos bicos em 135° (voltados para frente). Nesse caso, os resultados diferiram daqueles das demais formas de tecnologia de aplicação e da planta testemunha.

Alterações nos sistemas de trocas gasosas das plantas após a aplicação de fungicidas são efeitos já reportados na literatura (VENANCIO *et al.*, 2004; FAGAN, 2007). Além do efeito térmico que as soluções de fungicidas podem induzir sobre as folhas tratadas, Biggs (1990) já havia apontado que a aplicação de fungicidas Triazóis poderia induzir alterações na transpiração foliar e que esses efeitos persistiriam por vários dias após a aplicação. Essas alterações observadas na taxa de transpiração foliar em tratamentos fungicidas com Triazóis foram justificadas por alterações na concentração de potássio (K⁺) nas células-guarda dos estômatos, o que as torna túrgidas, possibilitando a abertura dos estômatos.

A variável taxa de assimilação de carbono (*A*) ou taxa de fotossíntese, quando se utilizou a aplicação aérea nas diferentes formas de pulverização, mostrou-se superior à aplicação terrestre, diferindo-se principalmente na primeira avaliação. Novamente, as diferenças encontradas para essa variável, em geral, não foram significativas entre os tratamentos aéreos, sendo que os resultados da aplicação terrestre apresentaram diferenças significativas em comparação com os resultados da planta testemunha. Na segunda avaliação, as plantas que receberam a pulverização aérea com taxa de aplicação de 40 L ha⁻¹ e orientação do ângulo dos bicos em 135° apresentaram os maiores valores de taxa de assimilação de carbono, diferindo-se das demais plantas que receberam as outras formas de tecnologia de aplicação e da planta testemunha.

A taxa de assimilação de carbono (*A*), ou taxa de fotossíntese, também foi superior para os tratamentos contendo Triazóis (tebuconazol) e Estrobilurina (piraclostrobina) em soja tratada com fungicidas em estágio reprodutivo, como observado por Fagan *et al* (2007), com resultados persistindo até o 17° dia após a aplicação dos fungicidas. Segundo Martins (2011), as misturas de Estrobilurina + Triazol (piraclostrobina + apoxiconazol) foram mais impactantes sobre o aumento da

taxa de transpiração da soja que o fungicida Triazol puro. Na cana-de-açúcar, esse resultado foi consistente até a segunda avaliação, 15 dias após a aplicação, fato esse compreensivo em decorrência da maior deposição das aplicações aéreas. Na terceira avaliação, não houve diferença significativa nas diferentes formas de tecnologia de aplicação, havendo diferença de resultados apenas em comparação com a planta testemunha.

A piraclostrobina também tem apresentado efeito fisiológico em plantas de soja. Além do controle de doenças, principalmente da ferrugem asiática, causa nas plantas de soja alterações que levam a um aumento na produtividade devido à maior taxa de fotossíntese líquida (DEMANT; MARINGONI, 2012), à maior massa seca total, à maior área foliar, ao maior teor de clorofila e à maior atividade da enzima nitrato redutase, que tanto favorece a redução da respiração e da síntese de etileno quanto minimiza as perdas por déficit hídrico (FAGAN, 2007; RODRIGUES *et al.*, 2009; FAGAN *et al.*, 2010).

As respostas de assimilação de carbono foram equivalentes às da taxa de transpiração, isto é, onde ocorreu maior transpiração ocorreu também maior assimilação de carbono, pois ambas as variáveis são diretamente dependentes da abertura estomática. Em outras palavras, se há elevada transpiração é porque os estômatos estão mais abertos e naturalmente maiores quantidades de CO₂ podem entrar na folha e serem convertidas em carbono assimilado, o que terminará por aumentar a produção final de biomassa.

Além das variáveis observadas isoladamente, existem outros índices de estimativa de eficiência fotossintética, como a eficiência instantânea do uso da água (A/E , $\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$), a eficiência intrínseca do uso da água ($\mu\text{mol CO}_2 (\text{mol H}_2\text{O})^{-1}$) e a eficiência instantânea de carboxilação ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$). Com relação à eficiência instantânea do uso da água (A/E), quando se utilizou a aplicação aérea nas diferentes taxas de aplicação e com as diferentes orientações dos ângulos dos bicos, as médias mostraram-se superiores às da aplicação terrestre nas três avaliações, diferindo-se tanto da aplicação terrestre quanto da planta testemunha. Esse comportamento também pode ser um reflexo da diferença da deposição de calda fúngica aplicada à cultura.

A eficiência instantânea do uso da água é caracterizada como a quantidade de água transpirada por uma cultura para a produção de certa quantidade de matéria seca

(SILVA; SILVA, 2007). Assim, culturas mais eficientes no uso da água podem produzir quantidade maior de matéria seca por grama de água transpirada. O uso mais eficiente da água está diretamente relacionado com o tempo de abertura estomática, pois, enquanto a planta absorve CO₂ para a fotossíntese, a água é perdida por transpiração, com intensidade variável, dependendo do gradiente de potencial entre a superfície foliar e a atmosfera, seguindo uma corrente de potenciais hídricos (CONCENÇO *et al.*, 2007). A eficiência instantânea do uso da água (A/E) é, portanto, uma razão entre a taxa de fotossíntese líquida e a taxa de transpiração foliar no momento da avaliação, e qualquer manejo ou estresse que reduza a assimilação de carbono, ou taxa fotossintética, e/ou aumente a taxa de transpiração afetará negativamente a eficiência instantânea de uso da água.

Outra medida da eficiência fotossintética das plantas de cana-de-açúcar é a razão A/g_s , ou eficiência intrínseca do uso da água, que expressa a quantidade de carbono que é assimilado via fotossíntese por unidade de água evaporada via estômato. Com relação a essa medida, quando se utilizou a aplicação aérea nas diferentes formas de pulverização, as médias mostraram-se superiores em relação às da aplicação terrestre, principalmente na primeira avaliação. Contudo, as diferenças não foram significativas entre as taxas de aplicação e a orientação dos ângulos dos bicos.

Já na segunda avaliação da eficiência fotossintética, as taxas de aplicação aérea de 30 e 40 L ha⁻¹ na orientação do ângulo em 0° (voltados para trás) apresentaram os maiores valores; porém, as diferenças não foram significativas entre eles. A aplicação aérea, mesmo com volume de calda maior na orientação do ângulo dos bicos em 135° (voltados para frente), não diferiu da aplicação terrestre nem da planta testemunha. Por fim, na terceira avaliação, não houve diferença entre os resultados das formas de tecnologia de aplicação e os da planta testemunha.

Dentre outros fatores, a aplicação de fungicidas do grupo das Estrobirulinas pode alterar outros processos fisiológicos, como o equilíbrio de compensação de CO₂, a senescência foliar, os teores de clorofila (*stay green*), a taxa de fotossíntese, a condutância estomática e a presença de enzimas antioxidantes e hormônios vegetais. (FAGAN, 2007). Os fungicidas do grupo das Estrobirulina atuam na respiração dos fungos, inibindo a transferência eletrônica entre citocromos. Segundo Köhler *et al.* (2002), nas plantas os efeitos fisiológicos das Estrobirulinas estão relacionados com sua ação fungitóxica, que de alguma forma interfere parcialmente na respiração da célula vegetal, consequentemente afetando a fotossíntese líquida da planta, inclusive

potencializando a assimilação de carbono e nitrogênio, bem como incrementando consideravelmente a atividade de proteínas nitrato *redutase*, como foi posteriormente observado por Rodrigues (2009).

Como as trocas gasosas da planta com a atmosfera são reguladas pelos estômatos, a absorção de CO₂ promove também a perda de H₂O. A diminuição dessa perda consequentemente restringe a entrada de CO₂ (SHIMAZAKI *et al.*, 2007). Portanto, para que as plantas tenham maior eficiência de uso da água, é necessário que absorvam o máximo de CO₂ com o mínimo possível de perda de H₂O (TAIZ; ZEIGER, 2010).

No entanto, como apresentado por Blum (2005), as diferenças genotípicas na eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) são expressas quando ocorrem variações no uso da água pela planta, ou na condutância estomática (g_s). Como a assimilação de carbono (A) possui direta correlação com a condutância estomática, é comum o aumento de A/g_s acarretar produções de biomassa inferiores e reduzidas produtividades.

No que tange à eficiência instantânea de carboxilação (A/c_i), as médias mostraram-se superiores utilizando-se a tecnologia aérea nas diferentes taxas de aplicação e orientação dos ângulos dos bicos, não se diferenciando entre si na primeira e segunda avaliações. Em ambas as avaliações, o resultado do tratamento da Usina não diferiu daquele da planta testemunha. Esse comportamento pode ser também um reflexo da diferença da deposição de calda fúngica aplicada à cultura. Por fim, para a mesma variável, na terceira avaliação após a primeira aplicação, não houve diferença significativa entre os resultados das formas de tecnologia de aplicação e os da planta testemunha.

Os resultados obtidos pelo IRGA, após a primeira aplicação de calda fúngica, foram o reflexo de uma condição momentânea sobre a fisiologia da variedade SP81-3250 utilizada na Usina Vale do Tijuco em Uberaba/MG. Apesar de a aplicação de fungicida em variedades de cana-de-açúcar suscetíveis à ferrugem alaranjada ser rotineiramente efetuada na condução da sanidade da cultura, seus efeitos nem sempre se prolongam até o final do ciclo para se traduzirem em produções maiores.

De acordo com Rambo *et al.* (2004), o teor de clorofila é um parâmetro muito importante para a avaliação do desenvolvimento da planta, sendo utilizado para diferenciar as plantas com deficiência de N das que apresentam níveis adequados desse elemento. O uso do clorofilômetro para essa avaliação é adequado, pois é um método de

baixo custo, fornece resultados mais rapidamente que os testes laboratoriais e não implica destruição das folhas (ARGENTA *et al.*, 2004).

Com relação aos teores de clorofilas *a* e *b*, os melhores valores se deram quando se utilizou a aplicação aérea. No entanto, não houve diferença para clorofila *b* na segunda avaliação e para ambas as clorofilas na terceira avaliação.

Pela literatura, há relatos do efeito fisiológico de fungicidas para várias culturas, mas não para cana-de-açúcar, visto que a aplicação dessa classe de produtos é recente e faltam dados. Esse efeito foi pronunciado até a segunda avaliação, não ficando evidente na terceira.

A segunda aplicação de calda fúngica foi composta apenas por aplicação aérea (Tabela 12).

Tabela 12. Avaliações de trocas gasosas foliares e clorofilas *a* e *b*, na folha +1 de cana-de-açúcar, após a segunda aplicação de calda fúngica na variedade SP81-3250, para o controle da ferrugem alaranjada.

Avaliações Fisiológicas da Cana-de-Açúcar – Prévia – 22 de março								
Taxa de ¹ aplicação	Orientação dos bicos	<i>A</i> ^a	<i>E</i> ^b	<i>A/E</i> ^c	<i>A/gs</i> ^d	<i>A/ci</i> ^e	Clorof. <i>a</i> ^f	Clorof. <i>b</i> ^f
30 L ha ⁻¹	135°	15,43 a	1,87 a	8,25 b	134,83 b	0,161 b	23,16 a	6,28 a
30 L ha ⁻¹	0°	15,31 a	1,59 b	9,62 a	154,17 a	0,143 b	24,47 a	6,90 a
40 L ha ⁻¹	0°	15,33 a	1,83 a	8,37 b	165,66 a	0,255 a	24,60 a	6,98 a
40 L ha ⁻¹	135°	14,72 a	1,99 a	7,40 c	157,15 a	0,192 a	23,81 a	6,60 a
30 L ha ⁻¹	90°	17,43 a	1,91 a	9,12 a	161,92 a	0,255 a	25,01 a	6,28 a
Testemunha	---	14,14 b	1,74 b	7,37 c	134,10 b	0,169 b	22,86 a	5,61 a
Avaliações Fisiológicas da Cana-de-Açúcar – 07/abril/2015								
Taxa de ¹ aplicação	Orientação dos bicos	<i>A</i> ^a	<i>E</i> ^b	<i>A/E</i> ^c	<i>A/gs</i> ^d	<i>A/ci</i> ^e	Clorof. <i>a</i> ^f	Clorof. <i>b</i> ^f
30 L ha ⁻¹	135°	18,74 a	2,59 b	7,23 a	151,62 a	0,253 a	24,00 a	5,47 a
30 L ha ⁻¹	0°	18,14 a	2,52 b	7,22 a	152,95 a	0,290 a	24,77 a	6,45 a
40 L ha ⁻¹	0°	19,20 a	2,92 a	6,57 b	140,41 b	0,255 a	22,93 a	5,40 a
40 L ha ⁻¹	135°	18,85 a	2,96 a	6,37 b	139,87 b	0,243 a	22,51 a	4,93 a
30 L ha ⁻¹	90°	20,31 a	3,14 a	6,46 b	134,87 b	0,244 a	23,31 a	5,37 a
Testemunha	---	19,81 a	3,28 a	6,06 c	135,02 b	0,262 a	24,28 a	6,12 a
Avaliações Fisiológicas da Cana-de-Açúcar – 18/abril/2015								
Taxa de ¹ aplicação	Orientação dos bicos	<i>A</i> ^a	<i>E</i> ^b	<i>A/E</i> ^c	<i>A/gs</i> ^d	<i>A/ci</i> ^e	Clorof. <i>a</i> ^f	Clorof. <i>b</i> ^f
30 L ha ⁻¹	135°	16,18 a	1,73 b	9,35 a	155,16 a	0,12 a	22,41 b	5,61 b
30 L ha ⁻¹	0°	15,66 b	1,65 b	9,39 a	148,58 a	0,12 a	24,97 a	7,10 a
40 L ha ⁻¹	0°	15,19 b	1,76 b	8,63 b	136,38 b	0,11 b	23,99 b	6,14 a
40 L ha ⁻¹	135°	16,08 a	1,81 a	8,88 b	130,08 b	0,11 b	23,77 b	5,39 b
30 L ha ⁻¹	90°	16,25 a	1,80 a	9,02 a	158,57 a	0,22 a	23,79 b	6,60 b
Testemunha	---	14,27 b	1,60 b	8,91 b	111,47 c	0,09 c	24,27 b	5,74 b

¹Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste T de Student, a 0,05 de significância.

a: taxa de assimilação de carbono (*A*, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{CO}_2$); **b:** taxa de transpiração (*E*, $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{H}_2\text{O}$); **c:** eficiência instantânea do uso da água (*A/E*, 0,001 mmol CO_2 ($\text{mmol H}_2\text{O}$))); **d:** eficiência intrínseca do uso da água (*A/gs*, 0,001 mmol CO_2 ($\text{mmol H}_2\text{O}$))); **e:** eficiência de carboxilação da rubisco (*A/ci*, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$); **f:** Índice de Clorofila Falker.

No que concerne à variável taxa de assimilação (A), não foram observadas diferenças na primeira avaliação quando se utilizou a aplicação aérea nas diferentes formas de pulverização. Na segunda avaliação, não houve diferença significativa entre os resultados das formas de tecnologia de aplicação aérea e os da planta testemunha. Na terceira, o tratamento aéreo com orientações dos ângulos dos bicos em 90° e 135° proporcionou o maior valor, o que possivelmente está ligado à deposição de calda.

Quanto à taxa de transpiração (E), apenas os resultados da taxa de aplicação de 30 L ha^{-1} na orientação do ângulo dos bicos em 0° (voltada para trás) não apresentaram diferença em relação aos resultados da planta testemunha na primeira avaliação. Na segunda avaliação, os resultados da taxa de aplicação de 30 L ha^{-1} e orientações dos ângulos dos bicos em 135° e 0° não mostraram diferença entre si, mas foram inferiores aos dos demais tratamentos. Na terceira avaliação, o tratamento aéreo padrão e a taxa de aplicação de 40 L ha^{-1} na orientação do ângulo dos bicos em 135° apresentaram os maiores valores. Novamente as respostas de assimilação de carbono foram, de modo geral, equivalentes às da taxa de transpiração.

Com relação à eficiência instantânea do uso da água (A/E), quando se utilizou a aplicação aérea à taxa de 30 L ha^{-1} com orientações dos ângulos dos bicos em 0° e 90° , os resultados foram superiores em relação aos dos demais tratamentos. Na segunda avaliação, as taxas de aplicação de 30 L ha^{-1} com orientações dos ângulos em 135° e 0° apresentaram os maiores valores de eficiência. Na terceira avaliação, os tratamentos com taxa de aplicação de 30 L ha^{-1} , independentemente da orientação dos ângulos, mostraram-se superiores aos demais tratamentos.

No que tange à avaliação da A/g_s , quando se utilizou a aplicação aérea à taxa de 30 L ha^{-1} com orientação do ângulo dos bicos em 135° , os resultados foram inferiores em relação aos dos demais tratamentos aéreos. Na segunda avaliação, quando se utilizou a taxa de 30 L ha^{-1} com orientações dos ângulos dos bicos em 0° e 135° foi obtida a maior eficiência. Na terceira, os tratamentos com taxa de aplicação de 30 L ha^{-1} , independentemente da orientação dos ângulos, mostraram-se superiores aos dos demais tratamentos.

No que diz respeito à eficiência instantânea de carboxilação (A/c_i), na primeira avaliação os maiores valores foram obtidos quando se utilizaram o tratamento padrão e a maior taxa de aplicação, independentemente da orientação dos ângulos. Na segunda avaliação, não foram observadas diferenças significativas. Na terceira, os tratamentos

com taxa de aplicação de 30 L ha^{-1} , independentemente da orientação dos ângulos, mostraram-se superiores aos demais tratamentos.

Em se tratando dos teores de clorofilas *a* e *b*, não foram observadas diferenças significativas na primeira e na segunda avaliação para as diferentes formas de aplicação da calda fúngica e para a planta testemunha. Na terceira avaliação, a taxa de aplicação de 30 L ha^{-1} com orientação do ângulo dos bicos em 0° apresentou o maior valor de clorofila *a*, diferindo-se das demais formas de tecnologia e da planta testemunha.

De forma geral, não foi possível perceber uma clara tendência de resultados. Embora tenha ocorrido maior deposição de fungicidas nas aplicações aéreas com 30 L ha^{-1} , esse efeito nem sempre foi notado nas trocas gasosas e na clorofila. Muitos outros fatores podem influenciar nesses parâmetros, contribuindo para os resultados encontrados.

4 CONCLUSÕES

A aplicação aérea, dentre as diferenças fisiológicas observadas nas avaliações de trocas gasosas e de teor de clorofila, proporcionou, em geral, melhores taxas fotossintéticas em comparação com a aplicação terrestre, com melhor desempenho da fotossíntese na variedade de cana-de-açúcar SP81-3250 e maior concentração das clorofilas *a* e *b* no limbo foliar. Todavia, não foram detectadas diferenças significativas nas trocas gasosas e no teor de clorofila promovidas pelas aplicações aéreas nas distintas condições operacionais de taxa de aplicação e angulação dos bicos de pulverização na barra.

REFERÊNCIAS

- AGROLINK. Cana-de-açúcar: Apenas 5 fungicidas combatem ferrugem alaranjada. Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/artigo/cana-de-acucar--apenas-5-fungicidas-combatem-ferrugem-alaranjada_221889.html>. 2015. Acesso em: 17 dez. 2015.
- ARANTES, M.T.; RHEIN, A.F.L.; PINCELLI, R.P.; SILVA, M.A. Respostas fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar a herbicidas seletivos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1206-1214, 2013.
- ARAÚJO, K.L.; GILIO, T.A.S.; SANCHES, P.R.B.; NEUBAUER, R.A.; FAGUNDES, C.; BASSAN, B.E.; RODERO, D.P.; RODERO, D.C.P.; GIGLIOTI, E.A.; CANTERI, M.G. Monitoramento da favorabilidade genotípica para ocorrência da Ferrugem Alaranjada da cana de açúcar no Brasil. XLIV CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 36., 2011, Bento Gonçalves. **Resumos ...** Bento Gonçalves: Tropical Plant Pathology, 2011.p. 1091.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; SANGOI, L. Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter to predict nitrogen fertilization in maize. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n. 5, p.1379-1387, 2004.
- BALDWIN, B.C.; CLOUGH, J.M.; GODOFREY, C.R.A.; GODWIN, J.R.; WIGGINS, T.E. THE DISCOVERY AND MODE OF ACTION OF ICIA 5504. IN: LYR, H.; RUSSEL, P.E & SISTER, H.D. (ED.). **MODERN FUNGICIDES AND ANTIFUNGAL COMPOUNDS**. Intercert: ANDROVER, f.69-77, 1996.
- BAKER, N.R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual Review of Plant Biology**, Bethesda, v. 59, p. 89-113. 2008.
- BARBASSO, D.; JORDÃO, H.; MACCHERONI, W.; BOLDINI, J.; SANGUINO, A. First report of *Puccinia kuehnii*, causal agent of orange rust of sugarcane, in Brazil. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 94, n.9, p.1170-1170, 2010.
- BIGGS, A.R. Reduction in transpiration and return bloom in apples by two sterol inhibiting fungicides. **HortScience**, Alexandria, v. 25, n. 11, p. 1403-1405, 1990.
- BLUM, A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential – are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? **Crop and Pasture Science**, Australian, v. 56, n. 11, p. 1159-1168, 2005.
- CONCENÇO, G.; FERREIRA, E.E.; SILVA, A.A.; FERREIRA, F.A.; VIANA, R.G.; D'ANTONIO, L.; FIALHO, C.M.T. Uso da água em biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*) em condição de competição. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 449-455, 2007.
- COPERSUCAR. **Ferrugem da cana de açúcar e sua constatação no município de Capivari**. Boletim Técnico Coopersucar, São Paulo. 8 p. (edição especial). 1986.

DEMANT, L.A.R.; MARINGONI, A.C. Controle da mancha angular do feijoeiro com uso de fungicidas e seu efeito na produção das plantas. **Idesia**, Arica, v.30, n.2, p.93-100, 2012.

FAGAN, E.B.; DOURADO NETO, D.; VIVIAN, R.; FRANCO, R.B.; YEDA, M.P.; MASSIGNAM, L.F.; OLIVEIRA, R.F.; MARTINS, K.V. Efeito da aplicação de piraclostrobina na taxa fotossintética, respiração, atividade da enzima nitrato redutase e produtividade de grãos de soja. **Bragantia**, Campinas, v.69, n. 4, p.771-777, 2010.

FAGAN, E.B. **A cultura de soja: modelo de crescimento e aplicação da estrobilurina piraclostrobina**. 2007. 83f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-10032008-155007/>>. Acesso em: 19 dez. 2015.

FERRARI, J.T.; HARAKAVA, R.; DOMINGUES, R.J.; TERÇARIOL, I.M.L. **Ferrugem alaranjada da cana de açúcar**. Campinas: Instituto Biológico: 2010. 8 p. (Instituto Biológico. Documento Técnico, 005).

FERREIRA, E.A.; SANTOS, J.B.; SILVA, A.A.; VENTRELLA, M.C.; BARBOSA, M.H.P.; PROCÓPIO, S.O.; REBELLO, V.P.A. Sensibilidade de cultivares de cana-de-açúcar à mistura trifloxysulfuron-sodium + ametryn. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 93-99, 2005.

GLASZIOU, K.T.; BULL, T.A. The relation between total invertase activity and internode expansion in sugar-cane stalks. **International Society Sugarcane Technologists**, Amsterdam, v. 12, n. 2, p. 575-681, 1965.

GIGLIOTI, E.A.; ARAÚJO, K.L.; CANTERI, M.G.; CARDIM, M.; CARDIM, D.; PINTO, R.G.; FAGUNDES, C.; RODERO, D.P.; BASSAN, B.E.; GOMES, E.; NEUBAUER, R.A.; RODERO, D.C.P. Warning systems for integrated management of sugarcane diseases: The example of the orange rust in Americas. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v.35, p.60-62, 2010.

GODOY, A.P. **Modelagem de processos de acumulação de biomassa e de açúcar da cana-de-açúcar via sistemas nebulosos**. 2007. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

GODOY, C.V.; CANTERI, M.G. Efeitos protetor, curativo e erradicante de fungicidas no controle da ferrugem da soja causada por *Phakopsora pachyrhi*, em casa de vegetação. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 1, p.97-101, 2004.

GLYNN, N.C.; DIXON, L.J.; CASTLEBURY, L.A.; SZABO, L.J.; COMSTOCK, J.C. PCR assay for the sugarcane rust pathogens *Puccinia kuehnii* and *P.melanocephala* and detection of a SNP associated with geographical in *P.kuehnii*. **Plant Pathology**, Saint Paul, v.59, n. 4, p.703-711, 2010.

JULIATTI, F. C. Modo de ação dos fungicidas sobre plantas e fungos. **Simpósio sobre Relação entre Nutrição Mineral e Incidência de Doença de Plantas**, Anais...; 2005. Disponível em:

<[http://www.ipni.net/ppiweb/pbrazil.nsf/1c678d0ba742019483256e19004af5b8/4d4c7e5503f5a2c503256fdd004c4a8f/\\$FILE/Anais%20Fernando%20Juliatti.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/pbrazil.nsf/1c678d0ba742019483256e19004af5b8/4d4c7e5503f5a2c503256fdd004c4a8f/$FILE/Anais%20Fernando%20Juliatti.pdf)> Acesso em: 12 dez. 2105.

KIRSCHBAUM, M. U.; PEARCY, R. W. Gas Exchange analysis of the fast phase of photosynthetic induction in *Alocasia macrorrhiza*. **Plant Physiology**, Saint Paul, v. 87, n. 4, p. 818-821, 1988.

KÖHLER, H.; GROSSMANN, K.; JABS, T.; GERHARD, M.; KAISER, W.; GLAAB, J.; CONRATH, U.; SEEHAUS, K.; HERMS, S. 2002. Physiological effects of the strobilurin fungicide F 500 on plants. In: **Modern Fungicides and Antifungal Compounds III**, H.-W. Dehne *et al.* (Eds), AgroConcept GmbH, Bonn, 61-74.

LORETO, F.; BONGI, G. Combined low temperature-high light effects on gas exchange properties of jojoba leaves. **Plant Physiology**, Saint Paul, v. 91, n. 4, p. 1580-1585, 1989.

MARGAREY, R. C., BULL, J.I.; TOMASIN, W. A. Yeld loses caused by leaf diseases: 1999 and 2003 selection trial analyses. **Proceedings of the Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technology**, Australian, v. 30, p.303–321, 2008.

MAGAREY, R.C. Orange rust. In: ROTT, P.; BAILEY, R.A.; COMSTOCK, J.C.; CROFT, B.J.; SAUMTALLY, A.S. (Ed.). **A guide to sugarcane diseases**. Montpellier: CIRAD; ISSCT, 2000. p. 121-125.

MARCHIORI, P.E.R.; MACHADO, E.C.; RIBEIRO, R.V. Photosynthetic limitations imposed by self-shading in field-grown sugarcane varieties. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.155, p. 30–37, 2014.

MARTINS, K.V. **Caracterização fisiológica e influência das folhas senescentes do estrato inferior na produtividade da cultura de soja**. 2011. 77f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) –Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

NAVES-BARBIERO, C. C. FRANCO, A.C.; BUCCI, S.J.; GOLDSTEIN, G. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v. 12, n. 2, p. 119-134, 2000.

NELSON, D.L.; COX, M.M. **Lehninger principles of biochemistry**. 4. ed. New York:Worth, 1200 p. 2005.

RAMBO, L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; SANGOI, L. Parâmetros de plantas para aprimorar o manejo da adubação nitrogenada de cobertura em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, p.1637-1645, 2004.

- RODRIGUES, J.G.L. **Desempenho operacional de máquinas agrícolas na implantação da cultura do sorgo forrageiro**. 2009. 94f. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, Botucatu, SP.
- RODRIGUES, M.A.T.; BEGLIOMINI, E.; DOURADO-NETO, D. Efeito fisiológico da piraclostrobina em plantas de feijão. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v.34 (supl.), p. 394, 2009.
- SALES, C.R.G.; RIBEIRO, R.V.; MACHADO, D.F.S.P.; MACHADO, R.S.; DOVIS, V.L.; LAGÔA, A.M.M.A. Trocas gasosas e balanço de carboidratos em plantas de cana-de-açúcar sob condições de estresses radiculares. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 3, p.319-327, 2012.
- SHARKEY, T. D.; RASCHKE, K. Effect of light quality on stomatal opening in leaves of *Xanthium strumarium* L. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 68, n. 5, p. 1170-1174, 1981.
- SHIMAZAKI, K.; DOI, M.; ASSMANN, S.M.; KINISHITA, T. Light regulation of stomatal movement. **Annual Review of Plant Biology**, Bethesda, v. 58, p. 219-247, 2007.
- SILVA, A. A.; SILVA, J.D. Competição entre plantas daninhas e culturas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Ed.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2007. p. 17-61.
- SILVA, O. C. Tecnologia de aplicação de fungicidas. In: CANTERI, M.G.; DALLA PRIA, M.; SILVA, O.D. **Principais doenças fúngicas do feijoeiro**: orientações para manejo econômico e ecológico. Ponta Grossa: UEPG, 1999. p. 127-137.
- SPSS Inc. **SPSS statistics for Windows, version 20.0**. Chicago: SPSS Inc., 2011.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 5. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 782 p. 2010.
- VAN DILLEWIJN, C. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica; New York: Stechert-Hafner, 1952. 371 p.
- VENÂNCIO, W. S.; RODRIGUES, M. A. T.; BEGLIOMINI, E.; SOUZA, N. L. Efeitos fisiológicos de fungicidas sobre plantas. 1. Efeitos fisiológicos do fungicida piraclostrobina. In: Luz, W. C.; Fernandes, J. M.; Prestes, A. M.; Picinini, E. C. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v. 12, p. 317-341. 2004.
- VIRTUDAZO, E.V.; NOJIMA, H.; KAKISHIMA, M. Taxonomy of Puccinia species causing rust diseases on sugarcane. **Mycoscience**, Tóquio, v. 42, n. 2, p. 167-175, 2001.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Aspectos associados à tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários e às respostas fisiológicas da cana-de-açúcar devem continuar sendo estudados para obter-se melhor compreensão com vistas ao controle da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar (*Puccinia kuehnii*). A pulverização aérea é uma tecnologia que, desde que empregada com rigor técnico, permite otimizar os tratamentos fitossanitários na agricultura por meio da redução das taxas de aplicação. Para isso, exige de quem a emprega bom conhecimento das condições ideais de pulverização, ou seja, conhecimento das diferentes formas de aplicação de produtos fitossanitários, dos produtos empregados, das características dos alvos e da cultura. No entanto, não é uma ferramenta que resolve todos os problemas da tecnologia de aplicação, principalmente no que diz respeito a perdas de gotas com diâmetros reduzidos para o ambiente. Apesar de a pulverização aérea possibilitar a redução de taxas de aplicação e maiores deposições de calda, muitas vezes ela está ligada à produção de gotas de menor diâmetro, bastante sujeitas a deriva. Por isso, trata-se de uma tecnologia viável do ponto técnico, econômico e ambiental, desde que empregada dentro dos parâmetros técnicos adequados.