



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



ALEXANDRIUS DE MORAES BARBOSA

**AMBIENTE DE PRODUÇÃO NA EFICIÊNCIA DA CONVERSÃO DE ENERGIA
SOLAR EM CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Botucatu

2017

ALEXANDRIUS DE MORAES BARBOSA

**AMBIENTE DE PRODUÇÃO NA EFICIÊNCIA DA CONVERSÃO
DE ENERGIA SOLAR EM CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em
Agronomia: Agricultura

Orientador: Marcelo de Almeida Silva

Coorientador: Gustavo Maia Souza

**Botucatu
2017**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

B238a Barbosa, Alexandrius de Moraes, 1987-
 Ambiente de produção na eficiência da conversão de energia solar em cultivares de cana-de-açúcar / Alexandrius de Moraes Barbosa. - Botucatu : [s.n.], 2017
 180 p. : fots. color., grafs. color., ils. color., tabs.

 Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017
 Orientador: Marcelo de Almeida Silva
 Coorientador: Gustavo Maia Souza
 Inclui bibliografia

 1. Cana-de-açúcar - Biomassa. 2. Energia solar. 3. Solo - Fertilidade. 4. Solo - Umidade. I. Silva, Marcelo de Almeida. II. Souza, Gustavo Maia. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "AMBIENTE DE PRODUÇÃO NA EFICIÊNCIA DA CONVERSÃO DE ENERGIA SOLAR EM CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR"

AUTOR: ALEXANDRIUS DE MORAES BARBOSA

ORIENTADOR: MARCELO DE ALMEIDA SILVA

COORIENTADOR: GUSTAVO MAIA SOUZA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA


Depto de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. JULIANO CARLOS CALONEGO

Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Prof. Dr. JOÃO DOMINGOS RODRIGUES

Dep de Botânica / Instituto de Biociências de Botucatu - IBB Unesp


Prof. Dr. CARLOS SERGIO TIRITAN

Departamento de Solos / UNIVERSIDADE DO OESTE PAULISTA


PROF. DR. MARCOS SILVEIRA BERNARDES

Departamento de Agricultura / ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ - ESALQ/USP

Botucatu, 17 de fevereiro de 2017.

*Jovem,
Não importa quem foste, por onde andaste, quem és e onde estás.
Nunca é tarde para começar.
Nunca é tempo de desanimar.
Na vida nunca é tarde para ser feliz fazendo felizes os outros.
És tu quem decide de tua felicidade.
Se tu não agires, ninguém agirá por ti.
Não importa o que tu foste, importa o que decides e procuras ser.
Não percas tempo, enquanto é tempo.*

São Francisco de Assis

DEDICATÓRIA

À minha mãe Selma Helena de Moraes Barbosa (in memoriam).

Aos meus amigos Thiago Souza Santos e Elton Anderson Aranda (in memoriam).

À minha avó, Hilda Molitor Gonçalves.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida. Pela transformação que fez em minha vida.

À minha família, ao meu pai José Aparecido Barbosa, minha madrasta Isabel Calvo da Silva, e aos meus irmãos, Flavius, Vinicius, Leandrius e Caroline, pelo amor, pela confiança e dedicação. Família, minha rocha.

À minha noiva, Maysa Alves da Silva, pelo amor, pela confiança e paciência, pelos auxílios prestados também ao projeto.

Ao Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva, pela orientação, pela confiança, pelos ensinamentos e pela amizade. Ao Prof. Dr. Gustavo Maia Souza, pela co-orientação, pela orientação no mestrado e por me introduzir na carreira científica. Ao Prof. Dr. Carlos Sérgio Tiritan, pela confiança, e pela primeira oportunidade profissional concedida.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro mediante a Bolsa de Doutorado e Reserva Técnica (2013/13031-1), permitindo a execução e elaboração deste trabalho

À Universidade Estadual Paulista (UNESP) “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Câmpus de Botucatu, Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal.

À Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), pela parceria e infraestrutura.

Ao Lucas Pancieiro Almeida (Fazenda São Sebastião), pela amizade e por me ceder parte de sua área agrícola por dois anos e meio.

Ao Laboratório de Ecofisiologia Aplicada à Agricultura (LECA).

Ao Centro de Estudos em Ecofisiologia Vegetal do Oeste Paulista (CEVOP).

Ao Grupo de Pesquisa Agropecuária do Oeste Paulista (GPAGRO).

Aos amigos da república Ratoeira de Botucatu-SP, pela amizade e pelos momentos de confraternização vividos em 2013.

A todos amigos, alunos e orientados, durante o período experimental, aproximadamente quarenta pessoas me auxiliaram direta ou indiretamente na execução deste trabalho.

RESUMO

A produção mundial de energia necessita aumentar no mínimo 50% até 2050 de modo a se atender crescimento populacional e o desenvolvimento econômico. Uma das estratégias será aumentar a eficiência da conversão de energia solar em fito-energia, no entanto, ainda faz se necessário conhecer qual a real eficiência deste processo à campo e como o ambiente de produção pode influenciá-lo, principalmente na cultura da cana-de-açúcar, que é a principal matéria-prima no Brasil. Nesse sentido o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do ambiente de produção na eficiência da conversão de energia solar em fito-energia em três cultivares de cana-de-açúcar. Adotou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso no esquema fatorial 2x3, tendo dois ambientes de produção (A e C) e três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515). Foram avaliados dois ciclos de cultivo (cana-planta, março de 2014 a maio de 2015; cana-soca, maio de 2015 a junho de 2016). Aos 150, 285 e 415 dias após o plantio (DAP) e 150, 180 e 380 dias após a colheita (DAC) foi avaliado a produtividade de biomassa (MS_{PA}), eficiência de uso da radiação (EUR) e eficiência da conversão de energia solar em fito-energia (EC). A produtividade de colmos na cana-planta e cana-soca foi 30,2 e 28,9% maior no ambiente de produção A, enquanto que a produtividade de MS_{PA} foi de 11,2 e 21,9% na cana-planta e cana-soca nos ambientes de produção A e C, respectivamente. Apesar do ambiente de produção A ter recebido 5,2 e 5,8% menos radiação solar do que o ambiente de produção C na cana-planta e cana-soca, observou-se que a EUR e a EC foi maior em todas cultivares no ambiente de produção A nos dois ciclos de cultivo. A EC média das cultivares foi de 3,84 e 2,93% na cana-planta e de 3,42 e 2,24% na cana-soca nos ambientes A e C, respectivamente. A EC foi maior no ambiente de produção A devido a maior fração da radiação solar difusa, maior disponibilidade de água e fertilidade do solo.

Palavras-chave: *Saccharum* spp., genótipo, solo, eficiência de uso da radiação.

ABSTRACT

World energy production needs to increase by at least 50% until 2050, to meet population growth and economic development. One of the strategies will be to increase the conversion efficiency of solar energy to phyto energy, however, it is still necessary to know the real efficiency of this process in the field and how the production environment can influence it, especially in sugarcane, which is the main raw material in Brazil. In this sense, the objective of this work was to evaluate the effect of production environment on efficiency of the conversion of solar energy to phyto-energy in three cultivars of sugarcane. It was used a design of complete block randomized in the 2x3 factorial scheme, with two production environments (A and C) and three sugarcane cultivars (SP80-3280, RB855156 and RB867515). Two cultivation cycles (cane-plant, from March 2014 to May 2015, cane-ratoon, from May 2015 to June 2016) were evaluated. At 150, 285 and 415 days after planting (*DAP*) and 150, 180 and 380 days after harvest (*DAH*) the biomass productivity (DM_{AP}) the radiation use efficiency (*RUE*) and efficiency of the conversion of solar energy to phyto-energy (*EC*). The stalks production in cane-plant and cane-ratoon was 30,2 and 28,9% higher in production environment A, while DM_{AP} yield was 11,2 and 21,9% in cane-plant and cane-ratoon in production environments A and C, respectively. Although the production environment A received 5,2 and 5,8% less solar radiation than the production environment C in cane-plant and cane-ratoon, it was observed that the *RUE* and *EC* was higher in all cultivars in the production environment A in both crop cycles. The average *EC* of the cultivars was 3.84 and 2.93% in cane-plant and 3,42 and 2,24% in cane-ratoon in productions environments A and C, respectively. The *EC* was higher in the production environment A due to higher fraction of diffuse solar radiation, higher water availability and soil fertility.

Keywords: *Saccharum* spp., genotype, soil, radiation use efficiency.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Expectativa de produtividade de cana-de-açúcar (média de quatro cortes), em toneladas por hectare dos ambientes de produção..... 45
- Tabela 2 - Classes de disponibilidade de água e o volume de água disponível ($L\ m^{-3}$) para três níveis de evapotranspiração potencial..... 47
- Tabela 3 - Classes de disponibilidade de água e água disponível em quatro solos da região Centro-Sul do Brasil 47
- Tabela 4 - Caracterização química (macro e micronutrientes) e física (granulométrica) do solo, referente aos municípios de Prado Ferreira-PR e Presidente Bernardes-SP até 0,8 m de profundidade 51
- Tabela 5 - Variáveis biométricas de três cultivares de cana-de-açúcar, SP80-3280, RB855156 e RB867515, no ciclo de cana-planta nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP) aos 150, 285 e 415 dias após o plantio (DAP)..... 68
- Tabela 6 - Variáveis biométricas de três cultivares de cana-de-açúcar, SP80-3280, RB855156 e RB867515, no ciclo de cana-soca nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP) aos 150, 280 e 380 dias após a colheita (DAC)..... 81
- Tabela 7 - Biomassa ($t\ ha^{-1}$) de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) aos 150, 285 e 415 dias após o plantio (DAP). Cana-Planta: março de 2014 a maio de 2015. 96

- Tabela 8 - Biomassa ($t\ ha^{-1}$) de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) aos 150, 280 e 380 dias após a colheita (DAC). Cana-Soca: maio de 2015 a maio 2016. 105
- Tabela 9 - Radiação global disponível e radiação global interceptada ($MJ\ m^{-2}$) pelas folhas de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção, Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP), no período de março de 2014 a maio de 2015 (cana-planta) 109
- Tabela 10 - Poder calorífico superior (*PCS*) em gigajoule (GJ) por hectare de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de Produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de Produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 285 e 415 dias após o plantio (DAP). 112
- Tabela 11 - Eficiência do uso da radiação solar (*EUR*) e eficiência da conversão de energia solar em fito-energia (*EC*, %) em três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente A, Prado Ferreira/PR; Ambiente C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 285 e 415 dias após o plantio (DAP)..... 113
- Tabela 12 - Radiação global disponível e radiação global interceptada ($MJ\ m^{-2}$) pelas folhas de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção, Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP), no período de maio de 2015 a maio de 2016 (cana-soca)..... 115

- Tabela 13 - Poder calorífico superior (*PCS*) em gigajoule (GJ) por hectare de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de Produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de Produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 280 e 380 dias após a colheita (DAC)..... 118
- Tabela 14 - Eficiência do uso da radiação solar (*EUR*) e eficiência da conversão de energia solar em fito-energia (*EC*, %) em três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente A, Prado Ferreira/PR; Ambiente C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 280 e 380 dias após a colheita 120
- Tabela 15 - Variáveis tecnológicas de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente A, Prado Ferreira-PR; Ambiente C, Presidente Bernardes) aos 285 e 415 dias após o plantio (DAP). 171
- Tabela 16 - Variáveis tecnológicas de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente A, Prado Ferreira-PR; Ambiente C, Presidente Bernardes-SP) aos 280 e 380 dias após a colheita (DAC). 171
- Tabela 17 - Análise de variância das variáveis biométricas de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 285 e 415 dias após o plantio (DAP). (Cana-planta)..... 172
- Tabela 18 - Análise de variância das variáveis biométricas de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 280 e 380 dias após a colheita (DAC). (Cana-soca)..... 173

- Tabela 19 - Análise de variância da produtividade de colmos (TCH), produtividade de açúcar (TAH) e peso de 10 colmos de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 285² e 415³ dias após o plantio (DAP). (Cana-planta). 174
- Tabela 20 - Análise de variância da produtividade de colmos (TCH), produtividade de açúcar (TAH) e peso de 10 colmos de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 280² e 380³ dias após a colheita (DAC). (Cana-soca)..... 174
- Tabela 21 - Análise de variância da produtividade de massa seca (MS) de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 285 e 415 dias após o plantio (DAP). (Cana-planta). 175
- Tabela 22 - Análise de variância da produtividade de massa seca (MS) de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 280 e 380 dias após a colheita (DAC). (Cana-soca). 176
- Tabela 23 - Análise de variância da produtividade da eficiência da conversão de energia solar em fito-energia (*EC*) e eficiência de uso da radiação (*EUR*) de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 285 e 415 dias após o plantio (DAP). (Cana-planta).. 177

Tabela 24 - Análise de variância da produtividade da eficiência da conversão de energia solar em fito-energia (EC) e eficiência de uso da radiação (EUR) de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 280 e 380 dias após a colheita (DAC). (Cana-soca).. 178

Tabela 25 - Análise de variância do poder calorífico superior (PCS) de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 285 e 415 dias após o plantio (DAP). (Cana-planta)..... 179

Tabela 26 - Análise de variância do poder calorífico superior (PCS) de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 280 e 380 dias após a colheita (DAC). (Cana-soca)..... 180

LISTA DE FIGURAS

- Figura 01 - Esquema de coletas destrutivas em cada parcela experimental referente a cada época de coleta e ciclo de cultivo. CP1: cana-planta aos 150 DAP; CP2: cana-planta aos 285 DAP; CP3: cana-planta aos 415 DAP; CS1: cana-soca aos 150 DAC; CS2: cana-soca aos 280 DAC e CS3: cana-soca aos 380 DAC..... 50
- Figura 02 - Imagem da avaliação da interceptação da radiação solar pelas folhas da cana-de-açúcar com a barra quântica..... 57
- Figura 03 - Esquema de avaliação da interceptação da radiação solar pelas folhas da cana-de-açúcar. A barra quântica foi posicionada em seis pontos abaixo da última folha verde da planta, de onde tirava-se a radiação média de dez segundos para cada ponto. 58
- Figura 04 - Temperatura média mensal do ar (°C) dos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP), durante o período de abril de 2014 a maio de 2016. A linha tracejada divide os ciclos de cultivo em cana-planta, de abril/2014 a maio/2015, e cana-soca, de maio/2015 a maio/2016..... 60
- Figura 05 - Temperatura máxima média mensal do ar (°C) dos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP), durante o período de abril de 2014 a maio de 2016. A linha tracejada divide os ciclos de cultivo em cana-planta, de abril/2014 a maio/2015, e cana-soca, de maio/2015 a maio/2016. 61
- Figura 06 - Temperatura mínima média mensal do ar (°C) dos ambientes de Produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP), durante o período de abril de 2014 a maio de 2016. A linha tracejada divide os ciclos de cultivo em cana-planta, de abril/2014 a maio/2015, e cana-soca, de maio/2015 a maio/2016. 61

- Figura 07 - Precipitação acumulada mensal (mm) dos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP), durante o período de abril de 2014 a maio de 2016. A linha tracejada divide os ciclos de cultivo em cana-planta, de abril/2014 a maio/2015, e cana-soca, de maio/2015 a maio/2016. 62
- Figura 08 - Radiação global média mensal (MJ m^{-2}) dos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP), durante o período de abril de 2014 a maio de 2016. A linha tracejada divide os ciclos de cultivo em cana-planta, de abril/2014 a maio/2015, e cana-soca, de maio/2015 a maio/2016. 63
- Figura 09 - Balanço hídrico do ambiente de produção A (Prado Ferreira-PR) no período de abril de 2014 a maio de 2016, conforme metodologia de Thornthwaite e Mather (1995). A cor azul representa o excesso de água no solo e a vermelha a deficiência de água no solo. A linha tracejada divide os ciclos de cultivo em cana-planta, de abril/2014 a maio/2015, e cana-soca, de maio/2015 a maio/2016..... 63
- Figura 10 - Balanço hídrico do ambiente de produção C (Presidente Bernardes-SP) no período de abril de 2014 a maio de 2016, conforme metodologia de Thornthwaite e Mather (1995). A cor azul representa o excesso de água no solo e a vermelha a deficiência de água no solo. A linha tracejada divide os ciclos de cultivo em cana-planta, de abril/2014 a maio/2015, e cana-soca, de maio/2015 a maio/2016..... 64
- Figura 11 - Altura das plantas (m) de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De março de 2014 a maio de 2015. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após o plantio).. 70

- Figura 12 - Diâmetro do colmo (mm) de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De março de 2014 a maio de 2015. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após o plantio)..... 71
- Figura 13 - Número de perfilhos por metro de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De março de 2014 a maio de 2015. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após o plantio)..... 74
- Figura 14 - Número de entrenós por planta de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De março de 2014 a maio de 2015. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após o plantio)..... 75
- Figura 15 - Número de folhas verdes por planta de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De março de 2014 a maio de 2015. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após o plantio)..... 76
- Figura 16 - Comprimento da folha +1 (m) de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De março de 2014 a maio de 2015. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após o plantio)..... 77

- Figura 17 - Largura da folha +1 (mm) de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De março de 2014 a maio de 2015. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após o plantio). 78
- Figura 18 - Índice de área foliar (IAF) de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De março de 2014 a maio de 2015. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após o plantio) 79
- Figura 19 - Altura das plantas (m) de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-soca nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De maio de 2015 a maio de 2016. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após a colheita)..... 82
- Figura 20 - Diâmetro do colmo (mm) de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-soca nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De maio de 2015 a maio de 2016. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após a colheita)..... 83
- Figura 21 - Número de perfilhos por metro de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-soca nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De maio de 2015 a maio de 2016. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após a colheita).. 84

- Figura 22 - Número de entrenós por planta de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-soca nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De maio de 2015 a maio de 2016. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após a colheita). 86
- Figura 23 - Número de folhas verdes por planta de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-soca nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De maio de 2015 a maio de 2016. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após a colheita). 87
- Figura 24 - Comprimento da folha +1 (m) de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-soca nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De maio de 2015 a maio de 2016. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após a colheita). 88
- Figura 25 - Largura da folha +1 (mm) de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-soca nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De maio de 2015 a maio de 2016. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após a colheita)..... 89
- Figura 26 - Índice de área foliar (IAF) de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-soca nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De maio de 2015 a maio de 2016. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após a colheita)..... 90

- Figura 27 - Peso de 10 colmos frescos (kg) de três cultivares de cana-de-açúcar em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) na cana-planta aos 285 e 415 dias após o plantio (DAP). Letras maiúsculas comparam ambientes de produção; letras minúsculas comparam cultivares; Teste de Tukey $p < 0,05$ 92
- Figura 28 - Produtividade de colmos por hectare (t colmos ha^{-1} , TCH) de três cultivares de cana-de-açúcar em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) na cana-planta aos 285 e 415 dias após o plantio (DAP). Letras maiúsculas comparam ambientes de produção; letras minúsculas comparam cultivares; Teste de Tukey $p < 0,05$ 93
- Figura 29 - Produtividade de açúcar por hectare (t colmos ha^{-1} , TAH) de três cultivares de cana-de-açúcar em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) na cana-planta aos 285 e 415 dias após o plantio (DAP). Letras maiúsculas comparam ambientes de produção; letras minúsculas comparam cultivares; Teste de Tukey $p < 0,05$ 94
- Figura 30 - Particionamento (%) da massa seca de três cultivares de cana-de-açúcar em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) na cana-planta aos 150, 285 e 415 dias após o plantio DAP)... 96
- Figura 31 - Relação massa seca foliar (MS_F) + massa seca de bainha (MS_B) / massa seca de colmo (MS_C) de três cultivares de cana-de-açúcar em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) na cana-planta aos 285 e 415 dias após o plantio DAP)... 99

- Figura 32 - Peso de 10 colmos frescos (kg) de três cultivares de cana-de-açúcar na cana-soca nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP) aos 280 e 380 dias após a colheita (DAC). Letras maiúsculas comparam ambientes de produção; letras minúsculas comparam cultivares; Teste de Tukey $p < 0,05$ 101
- Figura 33 - Produtividade de colmos por hectare ($t \text{ colmos ha}^{-1}$, TCH) de três cultivares de cana-de-açúcar em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) na cana-soca aos 280 e 380 dias após a colheita (DAC). Letras maiúsculas comparam ambientes de produção; letras minúsculas comparam cultivares; Teste de Tukey $p < 0,05$ 102
- Figura 34 - Produtividade de açúcar por hectare ($t \text{ colmos ha}^{-1}$, TAH) de três cultivares de cana-de-açúcar em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) na cana-soca aos 280 e 380 dias após a colheita (DAC). Letras maiúsculas comparam ambientes de produção; letras minúsculas comparam cultivares; Teste de Tukey $p < 0,05$ 104
- Figura 35 - Particionamento (%) da massa seca de três cultivares de cana-de-açúcar em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) na cana-soca aos 150, 280 e 380 dias após a colheita (DAC)..106
- Figura 36 - Relação massa seca foliar (MS_F) + massa seca de bainha (MS_B) / massa seca de colmo (MS_C) de três cultivares de cana-de-açúcar em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) na cana-soca aos 280 e 380 dias após a colheita (DAC). 107

Figura 37 - Interceptação da radiação solar pelas folhas de três cultivares de cana-de-açúcar em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) na cana-planta (março de 2014 a maio de 2015)..... 110

Figura 38 - Interceptação da radiação solar pelas folhas de três cultivares de cana-de-açúcar em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) na cana-soca (maio de 2015 a maio de 2016). 116

SUMÁRIO

| | | |
|-----|---|-----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 31 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 33 |
| 2.1 | Importância econômica da cana-de-açúcar | 33 |
| 2.2 | Fases de crescimento da cana-de-açúcar | 34 |
| 2.3 | Efeito do clima nas fases de crescimento | 38 |
| 2.4 | Eficiência da conversão de energia solar | 41 |
| 2.5 | Ambientes de produção de cana-de-açúcar | 44 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 49 |
| 3.1 | Característica e localização das áreas experimentais | 49 |
| 3.2 | Caracterização dos ambientes de produção..... | 50 |
| 3.3 | Caracterização das cultivares | 52 |
| 3.4 | Instalação e condução dos experimentos..... | 52 |
| 3.5 | Avaliações experimentais..... | 54 |
| 3.6 | Caracterização climática..... | 60 |
| 3.7 | Análise estatística | 66 |
| 4 | RESULTADOS | 67 |
| 4.1 | Variáveis biométricas..... | 67 |
| 4.2 | Produtividade de colmos, açúcar e biomassa | 91 |
| 4.3 | Eficiência da conversão de energia solar em fito-energia..... | 108 |
| 5 | DISCUSSÃO | 121 |
| 5.1 | Variáveis biométricas..... | 121 |
| 5.2 | Produtividade de colmos, açúcar e biomassa | 129 |
| 5.3 | Eficiência da conversão de energia solar | 138 |
| 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 149 |
| 7 | CONCLUSÕES | 155 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 157 |
| | APÊNDICE | 171 |

1 INTRODUÇÃO

A produção mundial de energia deve aumentar em pelo menos 50% até 2050 para atender a demanda do crescimento populacional e desenvolvimento econômico (MURCHIE et al., 2008). No entanto, nos últimos anos tem se aumentado a busca por fontes renováveis, visando a redução da dependência de recursos fósseis e também gerando impactos ambientais positivos, principalmente na redução da emissão de gases poluentes que contribuem para o aumento do efeito estufa (MCKENDRY, 2002). Nesse contexto, surge o termo bioenergia, que pode ser definido como a obtenção de materiais biológicos em sistemas sustentáveis em que sua bioenergia esteja associada a processos fotossintéticos recentes, ao contrário dos fósseis, que são derivados de processos fotossintéticos de organismos vividos em um passado geológico (BNDES; CGEE, 2008).

Nesse contexto, devido a considerável proporção de sacarose (24%) e fibra (14%) dos atuais cultivares, a cana-de-açúcar tem sido a principal fonte de matéria-prima para produção de bioenergia no Brasil (SOUZA et al., 2014). A biomassa produzida pela cultura também tem sido foco de vários estudos para produção do etanol de segunda geração (etanol 2G), ou etanol celulósico, que é produzido a partir da palha da cana-de-açúcar, aumentando dessa maneira o interesse pela cultura, como fonte primária de bioenergia sustentável (WACLAWOVSKY, 2010). Estima-se que em 2015, 6,8% da energia produzida no Brasil teve como fonte a biomassa da cana-de-açúcar (ÚNICA, 2016). No entanto, em recente acordo na COP21, o Brasil se comprometeu a aumentar a participação de bioenergia sustentável na sua matriz energética para 18% até 2030 (BRASIL, 2016).

Segundo Pretty e Bharucha (2014), o caminho para o aumento da produção de bioenergia será através da intensificação sustentável dos sistemas agrícolas, de modo que, o aumento da produção não se dará com o aumento da quantidade de área plantada e sim, através do aumento da produtividade das culturas e da

intensificação do solo. As atuais produtividades de biomassa de cana-de-açúcar estão muito abaixo do potencial genético da cultura. Os atuais cultivares de cana-de-açúcar tem potencial de acumular $69,0 \text{ t ha}^{-1}$ de massa seca por ano, enquanto que em cultivos experimentais esse valor pode chegar a $98,0 \text{ t ha}^{-1}$ de massa seca por ano, sendo que o potencial teórico de acúmulo de biomassa por ano na cultura da cana-de-açúcar é de $177,0 \text{ t ha}^{-1}$ (WACLAWOVSKY, 2010).

Uma das estratégias para o aumento da produtividade se dá através do aumento da eficiência da conversão da energia solar em fito-energia (*EC*), principalmente, quando as condições do ambiente estiverem favoráveis para o desenvolvimento da cultura (MURCHIE et al., 2008; ZHU et al., 2008). Diversos fatores podem afetar a *EC*, que vão desde questões fitotécnicas (densidade de plantio, espaçamento, adubação), ambientais (temperatura do ar, déficit hídrico, radiação solar, latitude de cultivo) a fatores genéticos.

Apesar dessas questões serem abordadas há muito tempo elas permanecem ainda não completamente respondidas (AMTHOR, 2010), sendo apresentadas na literatura valores que variam de 1 a 10%, sendo que para espécies C4, a eficiência teórica da conversão de energia solar em fito-energia situa-se entre 6% (ZHU et al., 2008), mas que no campo, em condições reais, esse valor é próximo a 2,2% (AMTHOR, 2010).

Para que a máxima eficiência da conversão seja alcançada é necessário utilizar cultivares altamente produtivas em ambientes que proporcionem condições ótimas para o seu desenvolvimento, como também, utilizar cultivares tolerantes em ambientes de produção desfavoráveis. Conhecer a real eficiência da conversão de energia solar em fito-energia de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes ambientes de produção pode auxiliar na correta recomendação de cultivares e ainda, auxiliar pesquisas futuras que visem aumentar a eficiência da conversão de energia solar em fito-energia.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do ambiente de produção na eficiência da conversão da energia solar em fito-energia em três cultivares de cana-de-açúcar.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância econômica da cana-de-açúcar

O crescimento populacional e o desenvolvimento econômico fazem com que seja indispensável aumentar em pelo menos 50% a produção mundial de energia e alimentos nas próximas décadas (MURCHIE et al., 2008). Grandes mudanças na agricultura são necessárias a fim de atender o atual ritmo do aumento populacional e da produção de energias renováveis em meio a tantas incertezas em relação às mudanças climáticas (SLEWINSKI, 2012).

Com a finalidade de produção de bioenergia, uma cultura deve ter crescimento rápido e alcançar altos rendimentos, e ainda, a energia produzida (*output*) tem de superar a energia de entrada (*input*). Nestes termos, a cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é a cultura energética mais promissora para cumprir as exigências acima mencionadas (WACLAWOVSKY, 2010).

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, seguido pela Índia, China, México e Tailândia. Dessa maneira, o Brasil é o maior produtor de etanol de cana-de-açúcar do mundo. No Brasil, a cultura da cana-de-açúcar é a terceira cultura mais cultivada, com área de 8,97 milhões de hectares na safra 2016/17, com produção nacional próxima a 684,7 milhões de toneladas de colmo. O Estado de São Paulo é o maior produtor nacional, sendo o responsável por 52% da cana produzida no Brasil, seguido pelos Estados de Goiás (10,3%), Minas Gerais (9,6%), Paraná (6,9%) e Mato Grosso do Sul (6,8%) (CONAB, 2016).

As atuais produtividades observadas em diversos Estados do Brasil, estão muito abaixo do potencial da planta. A maior média no Brasil é do Estado de São Paulo (81,7 t ha⁻¹) seguido pelos Estados de Mato Grosso do Sul (78,4 t ha⁻¹), Minas Gerais (77,7 t ha⁻¹) e Goiás (75,8 t ha⁻¹). De acordo com Waclawovsky et al. (2010), o rendimento de colmos da cultura da cana-de-açúcar pode chegar a 270 t ha⁻¹.

No Brasil, a cana-de-açúcar é a principal matéria-prima para produção de etanol e de açúcar, no entanto, nos últimos anos além da sacarose presente no colmo, a biomassa produzida pela cultura tem sido foco de vários estudos para produção do etanol de segunda geração (etanol 2G), ou etanol celulósico, que é produzido a partir da palha da cana-de-açúcar, aumentando dessa maneira o interesse pela cultura, como fonte primária de bioenergia sustentável (WACLAWOVSKY, 2010). O Brasil pode aumentar em 50% a produção de etanol com o uso da palha e do bagaço, sem a necessidade de expandir a área plantada com cana.

Além da produção do etanol celulósico, a biomassa da cana-de-açúcar também pode ser utilizada para co-geração de energia elétrica. O bagaço como combustível na co-geração, produzindo a bioeletricidade já vem sendo utilizado há décadas nas agroindústrias canavieiras, mas limitava-se às necessidades das próprias usinas; mas atualmente é possível incrementar o desempenho da co-geração para gerar excedentes para a rede pública, contribuindo para a oferta de eletricidade com crescente importância econômica (SILVA et al., 2010). Estima-se que em 2015, 6,8% da energia produzida no Brasil tem como fonte a biomassa da cana-de-açúcar, o que corresponde a produção de 2.803.847 KW (UNICA, 2016).

As atuais produtividades de biomassa de cana-de-açúcar estão muito abaixo do potencial genético da cultura. Os atuais cultivares de cana-de-açúcar tem potencial de acumular 69,0 t ha⁻¹ de massa seca por ano, enquanto que em cultivos experimentais esse valor pode chegar a 98,0 t ha⁻¹ de massa seca por ano, sendo que o potencial teórico de acúmulo de biomassa por ano na cultura da cana-de-açúcar é de 177,0 t ha⁻¹ (WACLAWOVSKY, 2010).

2.2 Fases de crescimento da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta monocotiledônea, alógama e perene, provavelmente originária das regiões da Indonésia e Nova Guiné, pertencente à família *Poaceae*. Seus atuais cultivares são híbridos interespecíficos, sendo que nas constituições genéticas participam as espécies *S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. sinense*, *S. barberi*, *S. robustum* e *S. edule*. Trata-se de uma planta de reprodução sexuada; quando cultivada comercialmente, porém, é multiplicada

assexuadamente, por propagação vegetativa. É caracterizada pela inflorescência do tipo panícula, flor hermafrodita, caule em crescimento cilíndrico composto de nós e entrenós, folhas alternas, opostas, presas aos nós dos colmos, com lâminas de sílica em suas bordas, e bainha aberta. É cultivada em regiões tropicais e subtropicais de mais de 90 países, difundida em uma ampla faixa de latitude de 35°N a 30°S, adaptando-se a diversas condições de climas e solo, exigindo precipitações pluviométricas entre 1500 a 2500 mm por ciclo vegetativo (RODRIGUES, 1995).

A cana-de-açúcar quando cultivada em latitudes próximas a latitudes de seu centro de origem, possui ciclo anual, em que seu desenvolvimento pode ser dividido em dez estádios fenológicos, conforme Bonnett (2014): (1) germinação ou brotação; (2) desenvolvimento foliar; (3) perfilhamento; (4) alongamento do colmo; (5) desenvolvimento do colmo; (6) emergência da inflorescência; (7) florescimento; (8) desenvolvimento do fruto; (9) maturação da semente; (10) senescência. Sendo que o crescimento vegetativo corresponde aos estádios do 1 ao 6, e o crescimento reprodutivo, dos estádios 6 ao 10.

No entanto, o florescimento é uma característica desejável somente para programas de melhoramento genético na obtenção de novas cultivares, pois quando a planta entra no crescimento reprodutivo, cessa o seu crescimento vegetativo, e ocorre a redução dos teores de sacarose no colmo (isoporização do colmo), ocasionando redução na produção de etanol e açúcar na indústria. Nesse sentido, em termos de produção industrial, divide-se o crescimento da cana-de-açúcar em quatro fases de crescimento: (1) brotação; (2) perfilhamento; (3) crescimento da parte aérea; (4) maturação.

A cana-de-açúcar é propagada vegetativamente, sendo que a reprodução por sementes só se processa após os cruzamentos orientados nos programas de melhoramento de variedades. O método tradicional de propagação utilizado em cultivos comerciais é a propagação assexuada através de porções dos colmos contendo duas ou três gemas, denominados “toletes de ponta” ou “toletes-semente” (CASTRO; SOUZA, 2014).

A brotação é a primeira fase da cana-de-açúcar, que compreende desde o plantio até a compleição da brotação das gemas. Logo após o plantio, inicia-se o processo de intumescimento das gemas. Nas condições do solo, a brotação ocorre

dentro de 20 a 30 dias após o plantio. Após o plantio dos toletes, as raízes desenvolvem-se primeiro do que os perfilhos primários (DIOLA; SANTOS, 2012). A cana-de-açúcar possui dois tipos de raízes, as do tolete e as do perfilho, as raízes do tolete, também denominadas “sett”, são as primeiras a se desenvolver e senescem aproximadamente entre 60 a 90 dias, essas raízes são responsáveis pelo início do desenvolvimento dos perfilhos e consomem, principalmente, as reservas presente no colmo (VAN DILLEWIJN, 1952). As raízes dos perfilhos, também denominadas “shoot”, são as raízes que permanecerão ativas durante todo o ciclo da cultura (SMITH et al., 2005).

Ainda sobre o sistema radicular, as raízes dos perfilhos podem ser classificadas em raízes superficiais, raízes de fixação e raízes cordões. As raízes superficiais são as responsáveis pela absorção de água e nutrientes, sendo que 50% do sistema radicular da cana-de-açúcar está concentrado na camada de 0 a 0,2 m, e 85% até a camada de 0,6 m (BLACKBURN, 1984). As raízes de fixação, como diz o nome, tem por função principal fixar a planta ao solo, podendo chegar a 1,5 m de profundidade. E as raízes cordões tem por principal função absorver água em profundidade, podendo chegar a 4,0 m (SMITH et al., 2005). Após o início do desenvolvimento radicular, inicia-se o desenvolvimento do perfilho primário a partir das gemas localizadas no nó do colmo.

A fase de brotação dos toletes pode ser influenciada por diversos fatores ambientais, genéticos e fitotécnicos. Em relação aos ambientais, destaca-se como os mais importantes a temperatura do ar, que interfere na velocidade das reações bioquímicas e na ação das enzimas envolvidas na divisão, alongamento e crescimento celular, dessa maneira, temperaturas baixas inibem a brotação (< 23°C), enquanto, que temperaturas altas estimulam (30 a 33°C). A umidade do solo tem papel fundamental nesse processo, e a intensidade da brotação é altamente dependente da umidade do solo. A textura do solo também pode influenciar a brotação, solos argilosos são mais resistentes à penetração das raízes e ao desenvolvimento do perfilhamento. Em relação aos fatores genéticos, a brotação pode variar em função da cultivar selecionada, presença de bainha “agarrada”, tamanho e idade das gemas; e por fim, os fatores fitotécnicos relacionados, principalmente, ao manejo da cultura, por exemplo: preparo do solo; intervalo de tempo de corte e plantio das mudas; idade das mudas; profundidade de plantio;

tempo em que os sulcos de plantio ficam abertos; tratamento térmico; número de gemas; aplicação de defensivos, entre outros (CASAGRANDE; VASCONCELOS, 2010).

Após a emissão do perfilho primário tem início a segunda fase de crescimento da cultura, denominada perfilhamento. Após o surgimento do perfilho primário, ocorrerá formação dos perfilhos secundários, terciários e assim sucessivamente, formando as chamadas touceiras (CASTRO; SOUZA, 2015). A partir do perfilhamento será definido o estande da cultura, proporcionando ao cultivo, um bom número de colmos produtivos (DIOLA; SANTOS, 2012). O perfilhamento tem início aproximadamente aos 40 dias e pode durar até os 120 dias após o plantio (DAP), sendo que o perfilhamento máximo ocorre entre 90 a 120 DAP, com média de 20 a 30 perfilhos por metro. Após esse período, os menores perfilhos, com menor capacidade de competir por luz, vão sofrer auto-sombreamento e senescer devido à falta de energia, dando espaço aos colmos mais vigorosos (CASTRO; SOUZA, 2015). O perfilhamento é altamente dependente da temperatura do ar, luminosidade, umidade de água no solo e de um solo bem equilibrado nutricionalmente, principalmente em relação ao fósforo (CASAGRANDE; VASCONCELOS, 2010).

A terceira fase da cultura é a do crescimento da parte aérea, que é caracterizada pelo alongamento do colmo. Essa fase tem início após o final do perfilhamento e dependendo da época do plantio, pode durar até 300 DAP. Essa é uma das fases mais importantes do cultivo, sendo a fase de maior exigência de água e nutrientes. Nessa fase ocorre o maior acúmulo de biomassa da cultura, podendo chegar a acumular 30 toneladas de massa verde por hectare, sendo também, a fase de maior índice de área foliar da cultura. Alta disponibilidade de água, temperaturas elevadas (30 – 33°C), alta luminosidade, e solos férteis favorecem o alongamento do colmo, sendo que em condições ideais de cultivo, a planta pode desenvolver de quatro a cinco entrenós por mês, por esse motivo, o período de grande desenvolvimento da cultura é de novembro a fevereiro no Centro-Sul do Brasil. Na final da fase de alongamento de colmos, uma planta pode chegar a ter de 25 a 30 entrenós (JADOSKI et al., 2010; CASAGRANDE; VASCONCELOS, 2010; DIOLA; SANTOS, 2012; CASTRO; SOUZA, 2015; CASTRO, 2016).

A última fase de desenvolvimento da cultura é a maturação, período em que açúcares simples (frutose e glicose) são convertidos em sacarose no colmo, sendo a sacarose, o açúcar desejado da indústria para produção de etanol e de açúcar. Os colmos que sobrevivem à forte competição da fase de perfilhamento intenso continuam seus processos de crescimento e desenvolvimento, acumulando cada vez mais sacarose em seus entrenós, à medida que estes vão amadurecendo (INMAN-BAMBER et al., 2009). A maturação ocorre de baixo para cima na planta, de modo que a parte inferior da planta contém mais açúcar do que a parte superior (DIOLA; SANTOS, 2012). Os fatores mais importantes que determinam a maturação são: baixas temperaturas, déficit hídrico moderado e teor de nitrogênio no solo. Na maturação, a umidade diminui gradualmente de 83 para 71%, enquanto que a sacarose sobe de 10 para 45% da massa seca da planta (AZEVEDO, 1981). As atuais cultivares modernas de cana-de-açúcar, sob condições ideais, são capazes de armazenar sacarose nos tecidos do parênquima do colmo até 62% do peso seco (MOORE, 2005). É nesta fase que ocorre a colheita da cana-de-açúcar, período em que se coincide o bom desenvolvimento do colmo e altos teores de sacarose, aumentando, portanto, o rendimento de açúcar.

2.3 Efeito da água e da temperatura nas fases de crescimento

A água tem papel fundamental no desenvolvimento da planta, sendo crucial sua presença em todos os processos fisiológicos e bioquímicos da planta, sendo que, a cana-de-açúcar tem aproximadamente 70% de água em sua composição (FIGUEIREDO, 2014). A água é responsável pelo controle térmico das folhas, através da transpiração; pela absorção e transporte de nutrientes e fotoassimilados na planta; pela turgescência das folhas; pelo alongamento e divisão celular, hidratação de enzimas e proteínas, e ainda, atua como matéria prima para produção de ATP e NADPH (HSIAO, 1973; CHAVES, 1991; BRAY, 1997; CHAVES et al., 2002).

A cultura da cana para alcançar altos rendimentos, necessita de elevado volume de água durante todo o ciclo de cultivo, sendo que o ideal para a cultura é de 1.500 a 2.000 mm de precipitação por ano (DOORENBOS; KASSAN, 1979). No entanto, caso essa precipitação ocorra de maneira bem distribuída, é possível

alcançar altas produtividades com precipitação anual de 1.000 mm (INMAN-BAMBER; SMIT, 2005). De acordo com Silva et al. (2014), as necessidades hídricas da cana-de-açúcar em cultivos tropicais, varia em função da sua fase de desenvolvimento, sendo que na fase inicial o consumo é próximo a 2,6 mm dia⁻¹, enquanto que na fase de grande crescimento vegetativo o consumo é de 6,3 mm dia⁻¹.

A cana-de-açúcar, por ser uma espécie C₄, possui alta eficiência no uso da água (*EUA*). A unidade mais comumente utilizada para a *EUA* é t ML⁻¹, que equivale a 10⁻² t ha⁻¹ mm⁻¹ (INMAN-BAMBER; SMIT, 2005). Diversos estudos relataram *EUA* diferente para a cultura da cana-de-açúcar: 8,3 a 20,9 t ML⁻¹ (KINGSTON, 1994); 4,8 a 12,1 (ROBERTSON; MUCHOW, 1994); 5,3 a 15,4 (ROBERTSON et al., 1996).

A primeira resposta morfológica da cana-de-açúcar ao déficit hídrico é a redução no número de folhas verdes, ou seja, redução da área foliar (INMAN-BAMBER; SMIT, 2005). A expansão foliar diária da cana-de-açúcar em condições ideais de água no solo é de 40 mm dia⁻¹, enquanto que, sob condições de déficit, esse valor reduz praticamente a zero quando o potencial de água na folha fica próximo a -1,3 MPa (INMAN-BAMBER; JAGER, 1986), no entanto, a planta pode se aclimatar e continuar a expansão foliar diária (15 mm dia⁻¹), nas mesmas condições de déficit hídrico (-1,3 MPa). No entanto, na cultura da cana-de-açúcar, o alongamento do colmo é muito mais sensível do que o alongamento foliar em condições de deficiência hídrica, ou seja, antes de ocorrer a redução da área foliar, a planta reduz a formação e alongamento de novos entrenós (BATCHELOR et al., 1992; INMAN-BAMBER, 2004; INMAN-BAMBER; SMITH, 2005). Portanto, em determinadas condições de umidade do solo, a planta pode ter desenvolvimento foliar sem desenvolvimento do colmo.

O colmo é, portanto, o órgão mais afetado da planta pelo déficit hídrico. Silva et al. (2008) avaliaram oitenta genótipos de cana-de-açúcar, e observaram que o número de entrenós por planta, o diâmetro, comprimento e peso do colmo reduziram significativamente quando as plantas foram expostas ao déficit hídrico, e ainda, que a redução dessa variável é fortemente influenciada pelo genótipo, ou seja, o impacto do déficit hídrico sobre o desenvolvimento do colmo varia em função do genótipo selecionado.

No entanto, na fase de maturação da cana-de-açúcar, a redução da água no solo é extremamente importante para induzir a maturação das plantas, de modo a aumentar o conteúdo de sacarose nos colmos, sendo, portanto, necessário que a planta passe por um déficit hídrico (VAN HEERDEN et al., 2014). Em termos gerais, o regime de água mais eficiente em promover o amadurecimento da cana é aquele que apresenta maior restrição ao crescimento, embora mantendo um suprimento líquido suficiente para síntese, transporte e armazenamento do açúcar (RODRIGUES, 1995). De acordo com Inman-Bamber (1986), a maturação ocorre quando o potencial de água na folha varia de -0,2 a -1,2 MPa.

Em relação a temperatura, a cana-de-açúcar por ser uma planta de origem tropical, desenvolve-se bem em climas quentes, com temperaturas oscilando entre 16 a 33°C, sendo que a temperatura mínima para o seu desenvolvimento está entre 18 a 20 °C, enquanto que as máximas estão entre 35 a 38°C (CASTRO, 2016). A temperatura interfere na velocidade das reações bioquímicas e na ação de enzimas envolvidas na divisão, diferenciação e crescimento celular (CASAGRANDE; VASCONCELOS, 2010).

Em relação a brotação, baixas temperaturas reduzem significativamente essa fase, sendo que em temperaturas próximas a 25°C, a brotação dos toletes chega a 80%, enquanto que a 15°C a brotação decresce para 56%, e a 6°C a brotação é de apenas 23% (JAIN et al., 2007). De maneira geral, em temperaturas inferiores a 21°C a brotação é muito lenta, e acima disso, ocorre aumento progressivo da brotação, até valores ótimos entre 27 a 32°C (CHRISTOFFOLETI, 1986). Após a luminosidade, a temperatura é um dos fatores mais importante para o perfilhamento, sendo que o perfilhamento aumenta à medida que a temperatura se eleva até um máximo de 30°C e temperaturas abaixo de 20°C retarda o perfilhamento da cana-de-açúcar (DILLEWIJN, 1952).

O crescimento da parte aérea é fortemente influenciado pela temperatura, tanto o desenvolvimento foliar, como o desenvolvimento de colmo. O desenvolvimento do dossel das plantas é governado primeiramente pela temperatura (VAN DILLEWIJN, 1952). Inman-Bamber (2004) observou efeito da temperatura do ar em um estudo com cana-de-açúcar. O autor comenta que a taxa média de expansão foliar em condições de temperatura favorável foi de 4,6 mm h⁻¹, no entanto, o autor observou que quando a temperatura do ar diminuiu, a taxa de

expansão foliar foi de $1,9 \text{ mm h}^{-1}$. Singels et al. (2005) relataram que o desenvolvimento inicial da cultura da cana-de-açúcar é fortemente afetado pela temperatura, sendo que, quando a temperatura média do ar estava próxima a $23,3^{\circ}\text{C}$, as plantas demoraram aproximadamente 100 dias para atingir 80% da interceptação da radiação solar, enquanto que, quando a temperatura média estava próxima a $18,0^{\circ}\text{C}$, o período para atingir a mesma interceptação aumentou para 180 dias.

Há relação linear positiva da temperatura com a taxa de aparecimento de entrenós, em temperatura de 26°C , o aparecimento de um entrenó completo é próximo a 6,2 dias, enquanto que na temperatura de 14°C , é de aproximadamente 20 dias (CAMPBELL et al., 1998). Portanto, em baixas temperaturas, ocorre redução no desenvolvimento do colmo. Guerra et al. (2014) avaliaram o desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar em três temperaturas (19°C diária e 13°C noturna; 29°C diária e 23°C noturna; e 33°C diária e 27°C noturna) e observaram que a altura das plantas aos 150 DAP foi de 0,44 m sob baixas temperaturas e de e de 1,25 m sob alta temperatura.

Já na maturação, última fase de crescimento da cultura, a diminuição da temperatura tem papel fundamental na maturação da cana-de-açúcar, responsável pela redução no ritmo do seu desenvolvimento para o acúmulo de sacarose nos colmos (SCARPARI; BEAUCLAIR, 2004). Fisiologicamente, a maturação é alcançada quando os colmos atingem seu potencial de armazenamento de sacarose, ou seja, o ponto de máximo acúmulo possível (SILVA, 1989). O processo de maturação da cana-de-açúcar depende da redução sazonal da temperatura do ar, freando a taxa de desenvolvimento sem, porém, afetar significativamente o processo fotossintético, de maneira que haja maior saldo de produtos fotossintetizados transformados em açúcares para armazenamento nos tecidos da planta (ALEXANDER, 1973).

2.4 Eficiência da conversão de energia solar

A interceptação total da radiação solar de um dossel da cultura ao longo de toda a sua duração proporciona energia para a fotossíntese da planta e a consequente produção de biomassa. A produção de biomassa é dependente da

duração da cultura no campo (dias), da irradiância solar incidente diária na superfície terrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e da porcentagem da radiação que é interceptada pelas folhas da planta (SILVA; COSTA, 2012). Três principais fatores climáticos são responsáveis pelo rendimento da cultura, a precipitação, temperatura do ar e radiação solar (MUCHOW et al., 1994). Uma das maneiras de se aumentar o rendimento de biomassa da cultura da cana-de-açúcar é maximizar a interceptação da radiação solar e/ou aumentar a eficiência no uso da radiação, isto é, da fotossíntese (SINGELS et al., 2005).

De toda a radiação solar global que incide na superfície terrestre e nas plantas, apenas 48% está na faixa da radiação fotossinteticamente ativa, correspondente ao comprimento de onda entre 400 a 740 nm. No entanto, nem toda radiação solar interceptada pela planta é convertida em biomassa, sendo que durante a eficiência do processo de conversão de energia luminosa em química, e depois em energia orgânica, é influenciada por diversos fatores (ZHU et al., 2008).

Quanto uma planta efetivamente cresce por unidade de energia solar incidente? Qual a eficiência desse processo de conversão? Embora essas questões sejam abordadas há muito tempo (LOOMIS; WILLIAMS, 1963, MONTEITH, 1972, KSENZHEK; VOLKOV, 1998, ZHU et al. 2008), elas permanecem ainda não completamente respondidas (AMTHOR, 2010).

De forma simplificada, do ponto de vista termodinâmico, uma planta pode ser considerada como um sistema de conversão de energia. Plantas são os principais consumidores de energia primária (energia solar), produzindo cerca de 100 bilhões de toneladas de biomassa por ano, a partir de uma pequena fração da radiação solar total incidente (KSENZHEK; VOLKOV, 1998).

Uma maneira de avaliar a eficiência das plantas na conversão de energia luminosa em biomassa, é através da eficiência de uso da radiação (*EUR*), que por sua vez, expressa a eficiência fotossintética das plantas. A *EUR* é a razão entre a biomassa produzida por certa comunidade de plantas e a radiação interceptada ou absorvida pelo dossel dessas plantas (MONTEITH, 1977). A *EUR* é uma análise de crescimento baseada na radiação solar, e não em função do tempo (cronológico), por isso o acúmulo de biomassa é normalizado pelo o somatório da energia solar interceptada no decorrer do tempo de um cultivo. Assim, é possível avaliar e comparar o crescimento vegetal entre cultivos em ambientes com níveis de

radiação solar diferentes. A análise de crescimento em função do tempo gera avaliações confusas devido às diferentes condições meteorológicas (SINCLAIR; MUCHOW, 1999).

Uma revisão realizada por Sinclair e Muchow (1999) com diversas culturas agrícolas demonstrou que a *EUR* varia conforme as espécies, sendo que em espécies C4 a *EUR* tende a ser maior. Culturas como cana-de-açúcar e milho possuem valores entre 1,65 a 2,0 g MJ⁻¹, enquanto que, espécies C3 como trigo e arroz têm menor eficiência do uso da radiação, com valores entre 1,39 a 1,46 g MJ⁻¹. No caso da cultura da cana-de-açúcar, a *EUR* pode variar de 1,7 a 2,0 g MJ⁻¹ (VAN HEERDEN et al., 2010).

Vários fatores podem afetar a eficiência de uso da radiação na cultura da cana-de-açúcar, que vão desde fatores fitotécnicos, como o espaçamento (SINGELS; SMIT, 2002); adubação (SINCLAR; HORIE, 1989) e densidade de plantas (BELL; GARSIDE, 2005); fatores genéticos (SINGELS; DONALDSON, 2000) e ambientais, como o déficit hídrico (SILVA; COSTA, 2012) e temperatura do ar (SINGELS et al., 2005). Por exemplo, Silva e Costa (2012) observaram que a eficiência de uso da radiação da cana-de-açúcar sem déficit hídrico foi de 1,63 a 2,09 g MJ⁻¹, enquanto que plantas que passaram por déficit hídrico tiveram *EUR* de 0,71 a 1,03 g MJ⁻¹.

Embora existam diversos fatores que possam determinar a produtividade das culturas, a fotossíntese estabelece o limite máximo da eficiência com a qual a energia solar pode ser convertida e armazenada em energia química, isto é, biomassa, sendo a fotossíntese, a fonte final de toda a produção de biomassa. Assim, qualquer fator que reduza a eficiência fotossintética, reduzirá a eficiência da conversão de energia solar em fito-energia (BEADLE; LONG, 1988).

No entanto, quando a biomassa é expressada como energia (massa seca produzida multiplicada pelo poder calorífico superior), pode-se calcular a eficiência das plantas de converter energia solar em fito-energia, ou seja, quanto da radiação solar interceptada pelas folhas foi convertida em fito-energia. Em relação ao poder calorífico superior (*PCS*), diversos estudos demonstraram que essa característica tem pouca influência de manejo, genético e do ambiente. No caso da cultura da cana-de-açúcar, é comum encontrar valores na faixa de 15,6 a 18,0 MJ kg⁻¹

(RIPOLI, 2000; WACLAWOVSKY et al. 2010; FERREIRA JÚNIOR et al., 2015; BARBOSA et al., 2015)

Em relação a eficiência da conversão de energia solar em fito-energia (*EC*), os primeiros trabalhos que abordaram a eficiência da conversão de energia solar em fito-energia apontaram valores teóricos de 13%, enquanto que na prática a *EC* seria algo em torno de 8 a 9% (BOLTON; HALL, 1991). No entanto, de acordo com Long et al. (2006) e Zhao et al. (2008; 2010), considerando condições ideais de desenvolvimento, a máxima conversão da energia solar em biomassa em espécies C4 é de 6,0%, e de 4,6% em espécies C3. Já Melis (2009) sugeriu que a máxima eficiência da conversão de energia solar em fito-energia está em torno de 8 a 10%. Amthor (2010) relatou que a máxima eficiência teórica da conversão da energia solar em fito-energia é de 5,94%, e que a eficiência real é de 2,2%. Recentemente, Ferreria Júnior et al. (2015) avaliaram a *EC* na cultura da cana-de-açúcar irrigada em dois espaçamentos de entrelinhas e observaram que os valores foram de 4,4% no espaçamento simples e de 4,5% no espaçamento combinado.

2.5 Ambientes de produção da cana-de-açúcar

O conceito ambientes de produção para a cultura da cana-de-açúcar foi apresentando nos VI e VII Seminários de Tecnologia Agronômica da Copersucar (JOAQUIM et al., 1994, 1997) e não demorou para que a comunidade científica nacional reconhecesse sua relevância. Na elaboração dos ambientes de produção, a análise do potencial de produtividade da cana-de-açúcar para cada classe de solo foi realizada cruzando-se as informações do banco de dados agronômicos do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), o qual continha na ocasião, isto é, um histórico de dez anos de informações. Os dados disponíveis nesse banco possibilitaram relacionar diferentes solos com as respectivas produtividades da cana-de-açúcar em todo o Estado de São Paulo (BERTOLANI et al., 2015).

A análise dessas informações permitiu o estabelecimento de classes de potencial de produção dos solos para a cultura da cana-de-açúcar, as quais foram representadas pelas letras A, B, C, D e E (JOAQUIM et al., 1997). Os solos que pertencem à classe A (ambiente A), por exemplo, têm o melhor potencial para o desenvolvimento e rendimento da cultura da cana-de açúcar; os de classe B

(ambiente B) têm menor potencial que os da classe A; e assim sucessivamente até a classe E (ambiente E), em que estão incluídos os solos de menor potencial (BERTOLANI et al., 2015).

Com a definição das classes de potencial de produção, denominados ambientes de produção (A, B, C, D e E) foi também possível determinar as faixas de produtividade de cana-de-açúcar para cada ambiente (Tabela 1).

Tabela 1 - Expectativa de produtividade de cana-de-açúcar (média de quatro cortes), em toneladas de colmo por hectare (TCH), dos ambientes de produção.

| Ambiente de produção | Potencial de produtividade | Tonelada de cana por hectare (TCH) |
|-----------------------------|-----------------------------------|---|
| A | Alto | ≥ 95 |
| B | Médio/Alto | 90 - 95 |
| C | Médio | 85 - 90 |
| D | Médio/Baixo | 80 - 85 |
| E | Baixo | ≤ 80 |

Fonte: Joaquim et al. (1997).

Através dos ambientes de produção ocorre o manejo varietal na cultura, todas as instituições de melhoramento de cana-de-açúcar no Brasil (RIDESA, IAC e CTC) classificam as cultivares em função do ambiente de produção. O manejo varietal é a proposta de alocar a cultivar mais apta a determinado ambiente de produção, a fim de melhor explorar seu potencial produtivo (SILVA et al., 2008).

Ambiente de produção é definido em função das condições físicas, hídricas, morfológicas, químicas e mineralógicas do solo sob manejo adequado da camada arável em relação ao preparo, calagem, adubação, adição de vinhaça, torta de filtro, palha no plantio, direto, do controle de plantas daninhas e pragas, mas sempre associadas às propriedades da subsuperfície dos solos (PRADO, 2005).

A profundidade, fertilidade e textura do solo e água são os principais componentes do ambiente de produção. A profundidade do solo tem relação direta com a disponibilidade de água e com o volume de solo explorado pelas raízes. A profundidade abaixo da camada arável é muito variável, pois os solos podem ser profundos, pouco profundos, moderadamente profundos, rasos ou até muito rasos (PRADO, 2005).

A fertilidade tem relação pela fonte de nutrientes para as plantas. A textura tem relação com os níveis de matéria orgânica, capacidade de troca de cátions e disponibilidade hídrica do solo. E a água, como parte da solução do solo, que é vital para a sobrevivência das plantas (PRADO, 2005). Segundo Landell et al. (2003), a condição química do horizonte subsuperficial é determinante da produtividade da cana-de-açúcar, ampliando-se essa correlação com a produtividade com o avançar dos cortes. Verificou-se, nessa pesquisa, que a produtividade nas soqueiras decresceu significativamente na seguinte ordem: eutrófico > mesotrófico > distrófico > ácrico.

A textura do solo, é um dos componentes mais importantes do ambiente de produção, refere-se à distribuição percentual de argila, silte e areia. Dependendo do teor de argila, a textura do solo pode ser arenosa (<15%), média (15 a 35%), argilosa (35 a 60%) ou muito argilosa (>60%). A textura do solo influencia diretamente nas características químicas do solo e na capacidade de armazenamento de água (PRADO, 2005).

Joaquim et al. (1994) desenvolveram trabalhos relacionando os solos com a produtividade da cana-de-açúcar e constataram que os solos mais produtivos foram os de textura argilosa (teor de argila maior que 35%), eutróficos, seguidos dos solos distróficos, também de textura argilosa ou média (teor de argila entre 25 a 35%). Os solos de textura média ou mais arenosos e, principalmente, de característica álica, foram os de mais baixa produtividade.

Em relação à disponibilidade de água, Prado et al. (2016) propuseram seis classes para as principais classes de solo ocupadas com a cultura da cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil (Tabela 2). Os critérios adotados contemplam as variáveis dos solos (atributos físicos e morfológicos) e do clima (evapotranspiração potencial).

Tabela 2 - Classes de disponibilidade de água e o volume de água disponível ($L m^{-3}$) para três níveis de evapotranspiração potencial.

| Água disponível no solo (dia mês ⁻¹) | Classe | Volume de água disponível necessária em função da evapotranspiração potencial diária | | |
|--|---|--|------------------------|------------------------|
| | | 3 mm dia ⁻¹ | 5 mm dia ⁻¹ | 7 mm dia ⁻¹ |
| > 25 | ADA - Água disponível alta | >75 | > 125 | > 175 |
| 20 - 25 | ADM - Água disponível média | 60 - 75 | 100 - 125 | 140 - 175 |
| | ADB - Água disponível baixa | | | |
| 15 - 20 | ADMB - Água disponível muito baixa | 45 - 60 | 75 - 100 | 105 - 140 |
| 10 - 15 | ADEB - Água disponível excessivamente baixa | 30 - 45 | 50 - 75 | 70 - 105 |
| 5 - 10 | ADEXB - Água disponível extremante baixa | 15 - 30 | 25 - 50 | 35 - 70 |
| < 5 | | < 15 | < 25 | < 35 |

Fonte: Prado et al. (2016)

Dessa maneira, solos com alta disponibilidade de água podem fornecer água para a cultura da cana-de-açúcar por um período superior a 25 dias e solos com água disponível muito baixa podem fornecer água no máximo por 15 dias. Em relação as variáveis do clima, a evapotranspiração potencial da região pode influenciar a classe de disponibilidade de água. Exemplificando a classe de disponibilidade de água em um Argissolo pode variar de ADA a ADB, somente em função da evapotranspiração, e o mesmo efeito acontece nos demais tipos de solo (Tabela 3).

Tabela 3 - Classes de disponibilidade de água e água disponível em quatro solos da região Centro-Sul do Brasil (Embrapa, 1999).

| Solo | Evapotranspiração potencial | | | Água disponível |
|------------------------|-----------------------------|-------|-------|-----------------|
| | 3 mm | 5 mm | 7 mm | $L m^{-3}$ |
| Argissolo ¹ | ADA | ADM | ADB | 110 |
| Argissolo ² | ADMB | ADEB | ADEB | 40 |
| Latossolo ³ | ADB | ADEB | ADEB | 78 |
| Nitossolo ⁴ | ADA | ADB | ADMB | 97 |
| Neossolo ⁵ | ADEB | ADEXB | ADEXB | 45 |

¹Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico textura arenosa/média (B textural <0,5 m); ²Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico textura arenosa/média (B textura >1,0 m); ³Latossolo Vermelho eutrófico textura média ⁴Nitossolo Vermelho férrico textura argilosa ⁵Neossolo Quartazarênico

Em um estudo realizado por Vitti e Prado (2012), em dois solos semelhantes na textura e diferentes na química e morfologia (Nitossolo Vermelho eutrófico textura muito argilosa e Latossolo Vermelho distrófico textura muito argilosa), observaram que no Nitossolo, a produtividade de colmos foi 18 t ha^{-1} maior do que no Latossolo. Os autores, atribuíram essa diferença a maior disponibilidade de água e nutrientes no Nitossolo, especialmente o cálcio, e em relação a morfologia do solo, os mesmos constataram que o Horizonte B do Nitossolo apresentava estrutura do tipo prismático e subangular, ao contrário do Latossolo que apresentava estrutura granular. Essa diferença na estrutura, faz com que a drenagem da água seja mais acentuada no Latossolo, reduzindo a disponibilidade de água, e ocorrendo o ressecamento mais rapidamente.

A classificação dos ambientes de produção tem sido uma ferramenta muito importante para obter altas produtividades com sustentabilidade, visto que seu uso gera uma prática conservacionista de solo que promove a longevidade do canavial (ARANTES, 2016). No entanto, apesar do ambiente de produção ser um sistema muito utilizado pelas usinas e fornecedores de cana-de-açúcar, há pouca informação científica sobre o efeito do ambiente de produção no desenvolvimento e na produtividade da cultura da cana-de-açúcar, em que, as informações sobre o ambiente de produção estão disponíveis apenas em relatórios, boletins técnicos, palestras e em alguns capítulos de livros.

3 MATERIAL E MÉTODOS

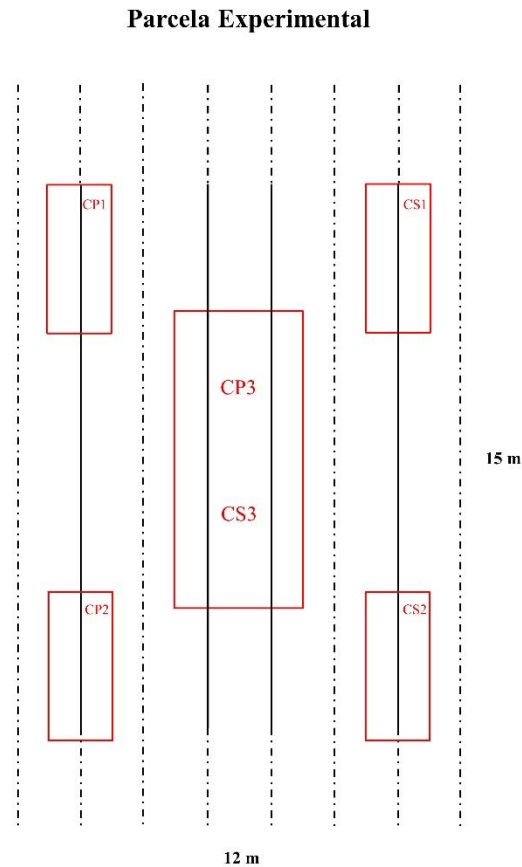
3.1 Características e localização da área experimental

O experimento foi desenvolvido nos municípios de Prado Ferreira-PR (Fazenda São Sebastião) e Presidente Bernardes-SP (Fazenda Experimental – Universidade do Oeste Paulista). Foram avaliados dois ciclos de cultivo da cultura da cana-de-açúcar. O primeiro ciclo compreendeu o período de março de 2014 a maio de 2015 (cana-planta) e o segundo de maio de 2015 a junho de 2016 (cana-soca).

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados no esquema fatorial 2 x 3, tendo como fatores dois ambientes de produção (ambientes de produção A e C) e três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515). Cada tratamento foi composto por quatro repetições.

A parcela experimental foi composta por oito linhas de cana-de-açúcar, com espaçamento entrelinhas de 1,5 m com comprimento de 15 metros. Para que o desenvolvimento das plantas não fosse prejudicado pelas coletas destrutivas nas três épocas de avaliação de produtividade de colmo e de biomassa, adotou-se o seguinte esquema de avaliação dentro das parcelas experimentais (Figura 1). A extremidade de 2,0 m de cada linha de cultivo foi descartada (bordadura) e utilizou-se como sub-bordadura (linhas tracejadas) uma linha entre as linhas de cultivo avaliadas. Sendo considerado três áreas úteis de coleta na cana-planta (CP1, CP2 e CP3) e cana-soca (CS1, CS2 e CS3).

Figura 1 - Esquema de coletas destrutivas em cada parcela experimental referente a cada época de coleta e ciclo de cultivo. CP1: cana-planta aos 150 DAP; CP2: cana-planta aos 285 DAP; CP3: cana-planta aos 415 DAP; CS1: cana-soca aos 150 DAC; CS2: cana-soca aos 280 DAC e CS3: cana-soca aos 380 DAC.



3.2 Caracterização dos ambientes de produção

A área experimental de Prado Ferreira-PR possui solo classificado como Nitossolo Vermelho eutrófico argiloso e clima Cfa (clima subtropical úmido). A área experimental de Presidente Bernardes-SP possui solo classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arenoso e clima Aw (clima tropical com estação seca) (KÖPPEN; GEIGER, 1928; EMBRAPA, 2006). A classificação dos ambientes de produção foi realizada conforme metodologia de Prado (2005) em função das características físicas e químicas do solo (Tabela 4).

Tabela 4 - Caracterização química (macro e micronutrientes) e física (granulométrica) do solo, referente aos municípios de Prado Ferreira-PR e Presidente Bernardes-SP até 0,8 m de profundidade.

| MACRONUTRIENTES | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------|------------------------------------|--------|------|-----|----|
| Prado Ferreira-PR | | | | | | | | | | | | |
| Profundidade | pH | M.O. | P | S-SO ₄ ²⁻ | Al ³⁺ | H + Al | K | Ca | Mg | SB | CTC | V |
| | CaCl ₂ | g dm ⁻³ | mg dm ⁻³ | mg dm ⁻³ | | | | mmol _c dm ⁻³ | | | | % |
| 0 - 0,2 m | 5,0 | 24,1 | 16,9 | 12,3 | 0,0 | 33,4 | 2,9 | 43 | 5,7 | 51,9 | 85 | 60 |
| 0,2 - 0,4 m | 5,1 | 16,2 | 4,2 | 6,1 | 0,0 | 43,1 | 2,0 | 13 | 4,9 | 20,8 | 63 | 32 |
| 0,4 - 0,6 m | 5,2 | 11,8 | 1,7 | 7,9 | 0,0 | 33,1 | 1,4 | 11 | 5,4 | 18,1 | 51 | 35 |
| 0,6 - 0,8 m | 5,5 | 9,7 | 1,7 | 6,5 | 0,0 | 33,1 | 1,4 | 10 | 4,8 | 16,5 | 49 | 33 |
| Presidente Bernardes-SP | | | | | | | | | | | | |
| Profundidade | pH | M.O. | P | S-SO ₄ ²⁻ | Al ³⁺ | H + Al | K | Ca | Mg | SB | CTC | V |
| | CaCl ₂ | g dm ⁻³ | mg dm ⁻³ | mg dm ⁻³ | | | | mmol _c dm ⁻³ | | | | % |
| 0 - 0,2 m | 5,8 | 12,1 | 2,5 | 5,9 | 0,0 | 15,1 | 0,5 | 11 | 9,2 | 21,4 | 36 | 58 |
| 0,2 - 0,4 m | 5,0 | 9,5 | 1,6 | 8,0 | 0,0 | 18,6 | 0,5 | 5,0 | 2,7 | 8,3 | 26 | 30 |
| 0,4 - 0,6 m | 5,0 | 6,3 | 0,3 | 6,4 | 0,0 | 18,6 | 0,3 | 2,8 | 2,5 | 5,6 | 24 | 23 |
| 0,6 - 0,8 m | 5,2 | 6,1 | 1,1 | 6,2 | 0,0 | 22,9 | 0,3 | 4,0 | 2,4 | 6,6 | 29 | 22 |
| MICRONUTRIENTES | | | | | | | | | | | | |
| Prado Ferreira-PR | | | | | | Presidente Bernardes-SP | | | | | | |
| Profundidade | B | Cu | Fe | Mn | Zn | B | Cu | Fe | Mn | Zn | | |
| | mg dm ⁻³ | | | | | mg dm ⁻³ | | | | | | |
| 0 - 0,2 m | 0,47 | 16,10 | 27,40 | 48,10 | 2,60 | 0,31 | 0,20 | 13,30 | 4,40 | 0,20 | | |
| 0,2 - 0,4 m | 0,44 | 12,30 | 21,30 | 41,50 | 1,10 | 0,31 | 0,30 | 21,90 | 3,10 | 0,10 | | |
| 0,4 - 0,6 m | 0,40 | 5,80 | 11,70 | 21,60 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 15,90 | 1,90 | 0,10 | | |
| 0,6 - 0,8 m | 0,39 | 3,80 | 9,30 | 10,00 | 0,20 | 0,29 | 0,30 | 15,60 | 1,60 | 0,10 | | |
| GRANULOMETRIA | | | | | | | | | | | | |
| Prado Ferreira-PR | | | | | | Presidente Bernardes-SP | | | | | | |
| Profundidade | Areia | Silte | Argila | | | | Areia | Silte | Argila | | | |
| | g kg ⁻¹ | | | | | | g kg ⁻¹ | | | | | |
| 0 - 0,2 m | 227 | 230 | 543 | | | | 839 | 48 | 113 | | | |
| 0,2 - 0,4 m | 203 | 253 | 544 | | | | 803 | 50 | 147 | | | |
| 0,4 - 0,6 m | 167 | 225 | 608 | | | | 773 | 38 | 189 | | | |
| 0,6 - 0,8 m | 164 | 176 | 660 | | | | 761 | 52 | 187 | | | |

3.3 Caracterização das cultivares

A cultivar SP80-3280 é recomendada para ambientes de produção A e B. Sendo considerada cultivar de ciclo médio-tardio. Em 2014, foi a décima quarta cultivar mais cultivada no Brasil, representando 1,5% da área. Destaca-se pelo alto teor de sacarose e boa produtividade em soqueira, possui perfilhamento intermediário e bom fechamento de entrelinhas, sendo uma cultivar extremamente exigente em solos férteis.

A cultivar RB855156 é recomendada para ambientes de produção B, C e D, sendo classificada de ciclo precoce. Em 2014, foi a sexta cultivar mais cultivada no Brasil, representando 4,9% da área de cultivo. Sua principal característica é a precocidade, em que sua colheita é recomendada para os meses de abril e maio. Em termos de crescimento, apresenta elevado perfilhamento, principalmente na soqueira, como também possui colmos eretos, bem empalhados de diâmetro fino a médio. Possui exigência média em solos férteis (RIDESA, 2008; PMGA, 2016).

A cultivar RB867515 é recomendada para ambientes de produção C, D e E. É a cultivar mais plantada no Brasil, já chegou a representar 60% da área cultivada, mas atualmente, ocupa 27,3%. Sua principal característica é a rusticidade, tendo boas produtividades em ambientes de menor potencial produtivo. Possui alta velocidade de crescimento, porte alto, colmos eretos e alta quantidade de colmo e sua colheita é recomendada para os meses de julho a setembro. Possui baixa exigência em fertilidade do solo (RIDESA, 2008; PMGA, 2016).

3.4 Instalação e condução dos experimentos

3.4.1 Cana-planta

Na área experimental de Prado Ferreira-PR, nos anos agrícolas anteriores ao experimento, foi realizado o cultivo da soja na primeira safra e milho na segunda safra. No entanto, antes da instalação do experimento foi realizado o cultivo da soja. Na área de Presidente Bernardes-SP, nos anos agrícolas anteriores foi realizado o cultivo de cana-de-açúcar para produção de silagem visando a alimentação animal.

Nas duas áreas experimentais foram realizadas duas gradagens aradoras na profundidade de 0,4 m e duas gradagens niveladoras na profundidade de 0,25 m. Após a primeira gradagem aradora, foi realizada a calagem na dose de 1,5 t ha⁻¹ e 500 kg ha⁻¹ do adubo formulado 08-28-16, sendo que os mesmos foram incorporados na segunda gradagem aradora.

O plantio foi realizado no dia 28 de março de 2014 em Prado Ferreira-PR, e 29 de março de 2014 em Presidente Bernardes-SP. A abertura dos sulcos de plantio foi realizada mecanicamente na profundidade de 0,25 m. As mudas utilizadas no plantio foram cortadas no dia 28 de março de 2014 na Usina Nova Produtiva, localizada no município de Astorga-PR. Os colmos foram dispostos manualmente nos sulcos de plantio de dois em dois, no sentido pé com ponta. Os sulcos de plantio foram fechados manualmente com enxadas, cobrindo as mudas com uma camada de 0,15 m de solo.

Após o plantio, foi realizada a aplicação do herbicida Combine 500 SC® (i.a. tebutiurom) na dose de 1,6 L ha⁻¹, com calda de 250 L ha⁻¹. Aos 180 dias após o plantio, foi realizada a adubação de cobertura do adubo formulado 20-00-20 na dose de 400 kg ha⁻¹. Durante todo o período experimental foi realizado o controle de plantas daninhas com capinas e limpeza dos carregadores com aplicação do herbicida Glifosato Nortox® (glifosato) na dose de 5 L ha⁻¹, com calda de 100 L ha⁻¹. A colheita das duas áreas experimentais foi realizada manualmente. Devido ao acamamento de algumas parcelas, realizou-se a queima do canavial.

3.4.2 Cana-soca

Após o corte da cana-planta realizou-se a limpeza das áreas experimentais através de capinas. Durante todo o período experimental foi realizado o controle de plantas daninhas com capinas e limpeza dos carregadores com aplicação do herbicida Glifosato Nortox® (glifosato) na dose de 5 L ha⁻¹, com calda de 100 L ha⁻¹. Aos 180 dias após a colheita (DAC) foi realizada a adubação de cobertura do adubo formulado 20-00-20 na dose de 400 kg ha⁻¹. A colheita das duas áreas experimentais foi realizada manualmente.

3.5 Avaliações experimentais

Durante os dois ciclos de cultivo foram avaliadas variáveis biométricas, produtividade, produção de biomassa e eficiência da conversão de energia solar em fito-energia. As variáveis biométricas foram avaliadas com frequência de 15 a 30 dias (variação conforme as condições climáticas). A produtividade de colmos, produtividade de biomassa e eficiência da conversão de energia solar em fito-energia foram avaliados em três épocas dentro de cada dia de cultivo. Na cana-planta as avaliações se deram aos 150, 285 e 415 DAP. Na cana-soca as avaliações se deram aos 150, 280 e 380 dias após o corte (DAC).

3.5.1 Variáveis biométricas

Nos dois ciclos de cultivo (cana-planta e cana-soca) foram realizadas avaliações das seguintes variáveis biométricas da cana-de-açúcar: Altura de plantas (m), diâmetro do colmo (mm), número de folhas verdes por planta (*NFV*), comprimento e largura da folha +1 (mm), número de entrenós por planta, número de perfilhos (m) e índice de área foliar (*IAF*).

Na avaliação da altura das plantas, diâmetro dos colmos, número de folhas verdes por planta, comprimento e largura da folha (+1) e número de entrenós por planta foram selecionadas cinco plantas por parcela experimental. Na altura de plantas considerou-se a distância, em metros, do solo até a folha +1, de acordo com a numeração sugerida por Kuijper (DILLEWIJN, 1952). Na avaliação do diâmetro de colmo adotou-se como referência o segundo entrenó visível próximo ao solo, e a avaliação foi realizada com paquímetro graduado em milímetros. Na avaliação do número de folhas verdes (*NFV*) foi realizada a contagem da quantidade de folhas verdes totalmente expandidas por planta. Na avaliação do comprimento da folha +1 utilizou-se régua graduada em metros. Na largura da folha +1 as avaliações foram realizadas no meio da folha com paquímetro graduado em milímetros. Na avaliação no número de entrenós por planta realizou a contagem da quantidade de entrenós visíveis por colmo.

Para a avaliação do número de perfilhos, selecionou-se cinco pontos aleatórios dentro de cada parcela experimental, e dentro destes pontos foi realizado

a contagem do número de perfilhos em 1 m. A avaliação do índice de área foliar (IAF) foi realizada mensalmente em que $IAF = (AF \times NP) E^{-1}$, sendo área foliar de uma planta em m^2 (AF); número de plantas por m (NP); e espaçamento da cultura (E) em metros.

3.5.2 Produtividade de colmos e açúcar e peso de 10 colmos

Na avaliação da produtividade de colmos (*TCH*) realizou a coleta de trinta colmos industrializáveis limpos de cana-de-açúcar (sem palhada e sem ponteiro), de onde foi obtido o peso médio de um colmo. A produtividade de colmos, a produtividade de açúcar (*TAH*) e o peso de 10 colmos foram calculados conforme as equações 1, 2 e 3, respectivamente:

$$TCH (t ha^{-1}) = (PC \times NP \times 6.666) 1000^{-1} \quad (1)$$

Onde, PC: peso de um colmo (kg); NP: número de colmos industrializáveis por metro; E = 6.666, representa a quantidade de metros lineares de plantio em um hectare no espaçamento de 1,5 m.

$$TAH (t ha^{-1}) = TCH \times ATR \quad (2)$$

Onde, ATR: Açúcares totais recuperáveis

$$Peso \ de \ 10 \ colmos \ (kg) = PC \times 10 \quad (3)$$

3.5.3 Variáveis tecnológicas

As análises foram realizadas no laboratório de produção sucroalcooleira da Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE). Para as análises, foram coletados cinco colmos sadios por parcela. Após, os colmos foram desfibrados e congelados em freezer até a análise das amostras. Foram avaliados nos dois ciclos da cana-de-açúcar (cana-planta e cana-soca) nos dois estádios de desenvolvimento de

cada ciclo o teor de sacarose (Pol), teor de sólidos solúveis e açúcares totais recuperáveis (ATR), segundo metodologia de Fernandes (2003).

3.5.4 Produtividade de biomassa

A avaliação da produtividade de biomassa seca da cana-de-açúcar foi realizado em 1 m linear. A massa seca foi particionada em quatro partes da planta, massa seca de folhas (MS_F), massa seca de bainha (MS_B), massa seca de colmo (MS_C) e massa seca de perfilhos (MS_P), e através da soma dessas quatro partes foi obtido a massa seca da parte aérea (MS_{PA}). Na biomassa seca de folhas foram consideradas todas folhas produzidas pela planta (folhas secas e folhas verdes); na biomassa seca de bainha foram consideradas todas bainhas produzidas pela planta (bainhas secas e novas); na biomassa seca de perfilhos foram considerados todos os perfilhos produzidos em 1 m, tanto perfilhos verdes como perfilhos secos; na biomassa seca de colmos foram considerados os colmos inteiro da planta (desde a base do solo até o meristema apical, incluindo os entrenós recém-formados).

Após a coleta, a massa seca de folha, bainha e perfilhos passaram por uma pré-secagem durante uma semana em temperatura ambiente, e em seguida os materiais foram levados para câmara tipo fitotron, em temperatura de 38°C com fotoperíodo de 14 horas, até os materiais atingirem massa constante (aproximadamente 25 dias). Já para a massa seca de colmos, após a coleta, os colmos foram desintegrados em desintegrador forrageiro (Modelo DM-540, IRBI, Brasil). Em seguida, foram coletados 100 g do colmo fresco triturado e realizou-se a secagem do material em estufa tipo SPENCER (Modelo TE-060, TECNAL, Brasil) em temperatura de 100°C durante 30 minutos, para determinação da umidade da amostra e porcentagem de massa seca.

3.5.5 Eficiência da conversão de energia solar

3.5.5.1 Intercepção da radiação solar

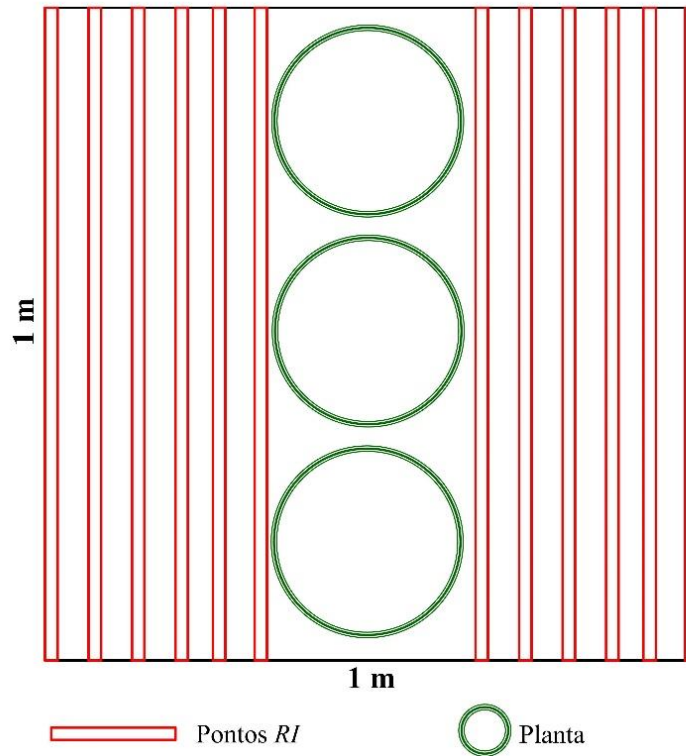
A avaliação da interceptação da radiação solar pelas folhas da cana-de-açúcar foi realizada por meio do quantômetro (LI191SA, LI-COR, EUA), aproximadamente em intervalos entre 15 a 30 dias, somente em condições de céu limpo no horário de 12:00 h a 13:00 h. A medição da radiação solar foi realizada a partir da base de uma touceira de cana, sempre abaixo da última folha verde, de modo a eliminar o efeito do sombreamento do colmo e das folhas secas (Figuras 2 e 3).

Figura 2 - Imagem da avaliação da interceptação da radiação solar pelas folhas da cana-de-açúcar com a barra quântica.



Foram realizadas duas amostragens em cada parcela experimental. Cada amostragem foi composta de seis pontos que variavam entre a ponta da folha +1 até o colmo (Figura 3). A medida de cada ponto amostral foi uma média da radiação incidente de dez segundos.

Figura 3 - Esquema de avaliação da interceptação da radiação solar pelas folhas da cana-de-açúcar. A barra quântica foi posicionada em seis pontos abaixo da última folha verde da planta, de onde tirava-se a radiação média de dez segundos para cada ponto.



O modelo do equipamento utilizado gera os dados em radiação fotossinteticamente ativa (RFA), na faixa do comprimento de onda de 400 a 700 nm. A interceptação da radiação foi calculada conforme a equação 4:

$$RI = 100 - \left[\frac{(P1, P2, P3 \dots P12 / 12) * 100}{(RD - RR)} \right] \quad (4)$$

Onde, RI: Radiação interceptada (%);

$P1, P2, P3$, refere-se a cada ponto dentro da amostragem, sendo seis pontos medidos do lado direito da planta e seis o lado esquerdo;

RD : Radiação disponível, refere-se à radiação total incidente acima do dossel das plantas;

RR : Radiação refletida, refere-se a radiação refletida pela superfície do solo, medida realizada com o quantômetro virado para a superfície do solo.

Após o final de cana ciclo de cultivo, de posse de todos os valores de radiação solar, foi obtida a curva de interceptação diária da radiação solar através do ajuste polinomial de segundo grau ($ax^2 + bx + c = 0$), utilizada para obter a interceptação da radiação de cada cultivar nos dois ambientes de produção ao longo do ciclo.

3.5.5.2 Eficiência de uso da radiação e eficiência da conversão energia solar

A quantificação do poder calorífico superior (*PCS*) de cada parte da cana-de-açúcar foi através da bomba calorimétrica (C-200, IKA, Alemanha). O poder calorífico superior é determinado pela energia liberada na combustão da matéria. Esse varia pouco entre os órgãos vegetativos, geralmente na média de 17,5 MJ kg⁻¹.

O cálculo da eficiência de conversão de energia solar em fito-energia (*EC*) foi realizado conforme Gallagher e Biscoe (1978), sendo definida como razão entre a energia química acumulada na massa seca vegetal e a radiação solar absorvida pela cultura, conforme a equação 5:

$$EC = (MS_{PA} \times PCS / RI) \times 100 \quad (5)$$

Onde:

EC: Eficiência da conversão de energia solar em fito-energia (%);

MS_{PA}: Massa seca da parte aérea cana-de-açúcar (Mg ha⁻¹);

PCS: Poder calorífico superior, refere-se à quantidade de energia presente na biomassa da cana-de-açúcar (MJ kg⁻¹);

RI: Radiação interceptada, refere-se à quantidade de energia interceptada pelas folhas da cana-de-açúcar (MJ), que é função da radiação interceptada pelas folhas da cana-de-açúcar e da radiação solar global, obtida através de estações meteorológicas.

Como foi avaliado a eficiência da conversão de energia solar em três épocas em cada ciclo de cultivo, para o cálculo utilizou-se a quantidade de energia interceptada para cada período.

A eficiência de uso da radiação (EUR), expressa em $g\ MJ^{-1}$, foi estimada através da análise de regressão entre a massa seca acumulada na planta ($g\ m^{-2}$) e a soma da radiação interceptada a cada época de avaliação ($MJ\ m^{-2}$), conforme a equação 6.

$$EUR = MS / RI \quad (6)$$

3.6 Caracterização climática

O monitoramento da precipitação foi realizado diariamente nas próprias áreas experimentais através de pluviômetro portátil. Os valores de temperatura média, máxima e mínima do ar e da radiação solar de Presidente Bernardes-SP foram monitorados através da estação meteorológica da UNOESTE e do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Os valores de temperatura média, máxima e mínima do ar e da radiação solar de Prado Ferreira-PR foram monitorados pela estação meteorológica do IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná).

O balanço hídrico foi calculado em função conforme metodologia de Thornthwaite e Mather (1995), em que foi utilizado a temperatura do ar de cada ambiente de produção e a capacidade de água disponível (CAD) foi de 180 mm para o ambiente de produção A e de 60 mm para o ambiente de produção C.

Figura 4 - Temperatura média mensal do ar (°C) dos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP), durante o período de abril de 2014 a maio de 2016. A linha tracejada divide os ciclos de cultivo em cana-planta, de abril/2014 a maio/2015, e cana-soca, de maio/2015 a maio/2016.

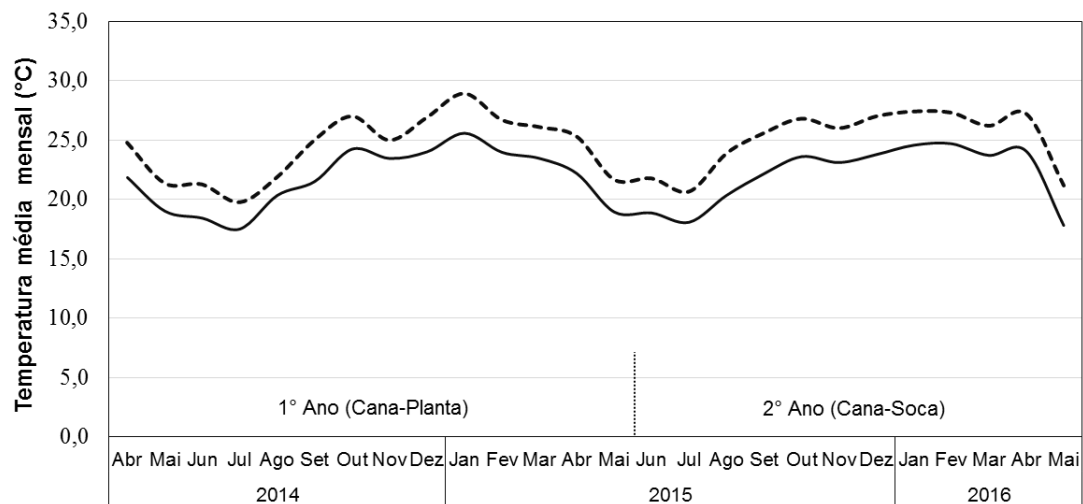


Figura 5 - Temperatura máxima média mensal do ar (°C) dos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP), durante o período de abril de 2014 a maio de 2016. A linha tracejada divide os ciclos de cultivo em cana-planta, de abril/2014 a maio/2015, e cana-soca, de maio/2015 a maio/2016.

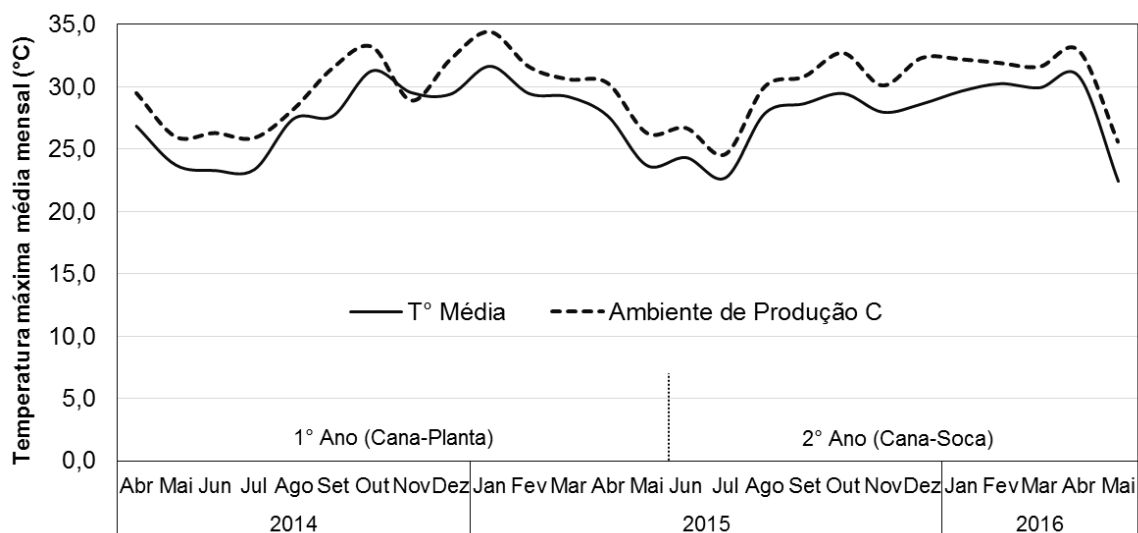


Figura 6 - Temperatura mínima média mensal do ar (°C) dos ambientes de Produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP), durante o período de abril de 2014 a maio de 2016. A linha tracejada divide os ciclos de cultivo em cana-planta, de abril/2014 a maio/2015, e cana-soca, de maio/2015 a maio/2016.

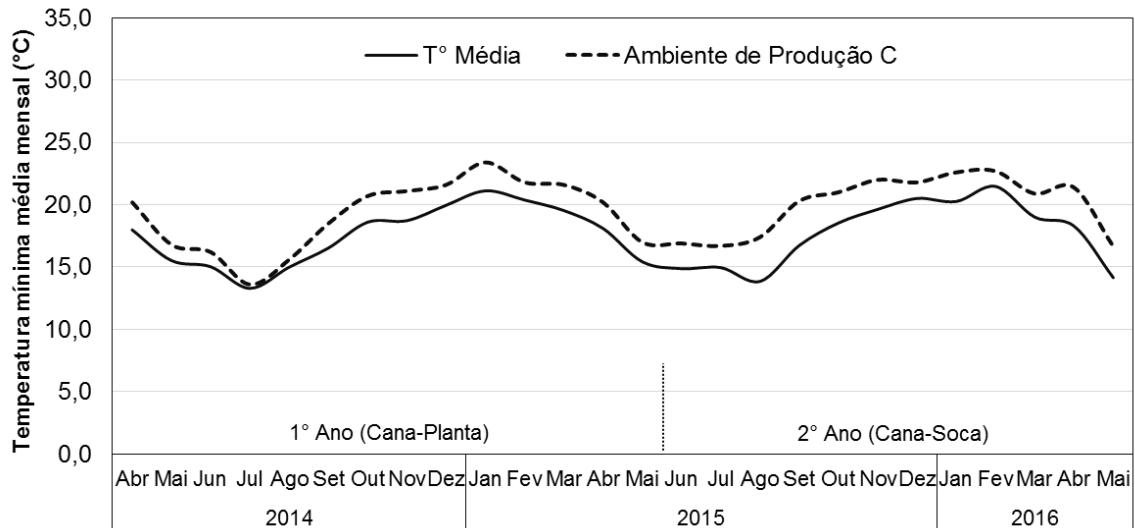


Figura 7 - Precipitação acumulada mensal (mm) dos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP), durante o período de abril de 2014 a maio de 2016. A linha tracejada divide os ciclos de cultivo em cana-planta, de abril/2014 a maio/2015, e cana-soca, de maio/2015 a maio/2016.

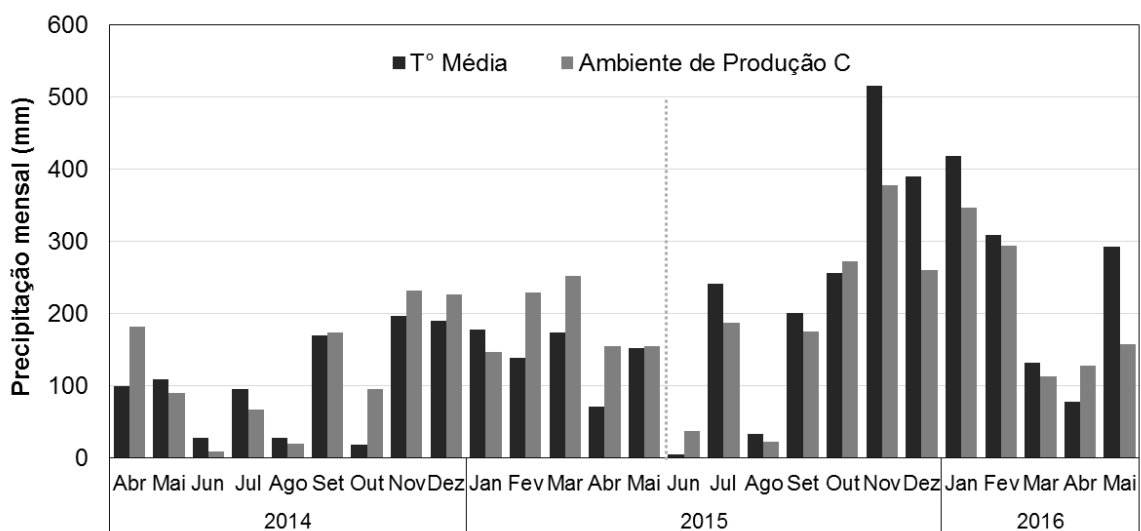


Figura 8 - Radiação global média mensal (MJ m^{-2}) dos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP), durante o período de abril de 2014 a maio de 2016. A linha tracejada divide os ciclos de cultivo em cana-planta, de abril/2014 a maio/2015, e cana-soca, de maio/2015 a maio/2016.

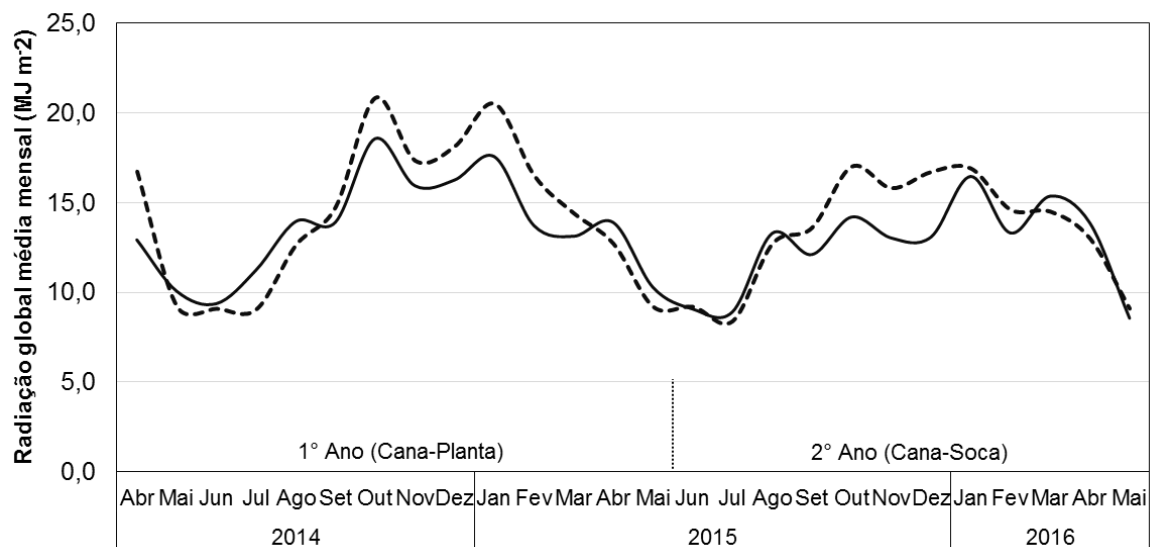


Figura 9 - Balanço hídrico do ambiente de produção A (Prado Ferreira-PR) no período de abril de 2014 a maio de 2016, conforme metodologia de Thornthwaite e Mather (1995). A cor azul representa o excesso de água no solo e a vermelha a deficiência de água no solo. A linha tracejada divide os ciclos de cultivo em cana-planta, de abril/2014 a maio/2015, e cana-soca, de maio/2015 a maio/2016.

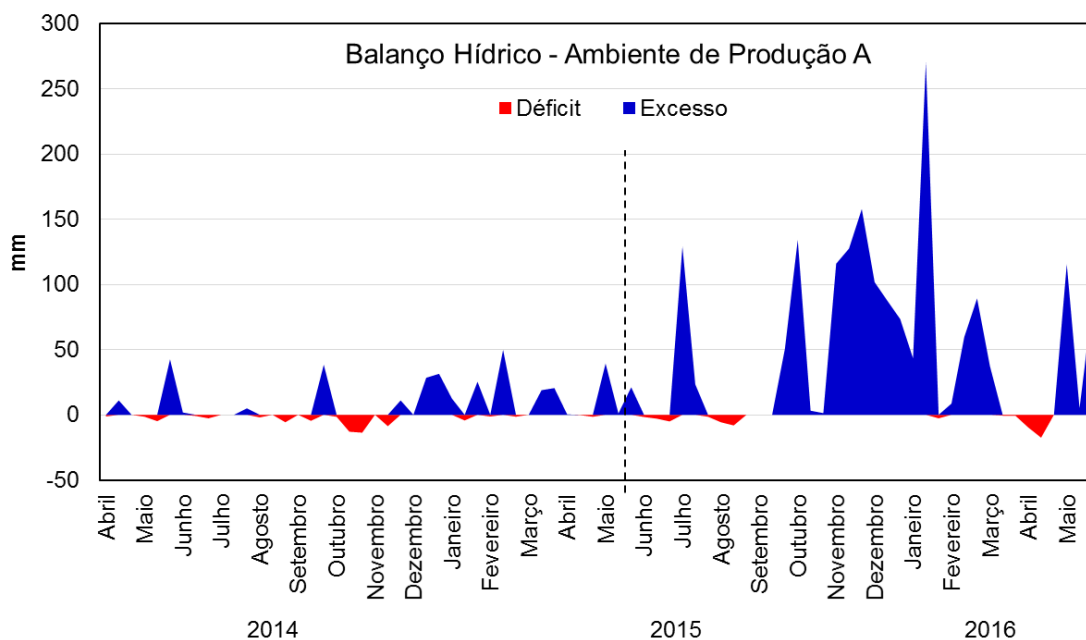
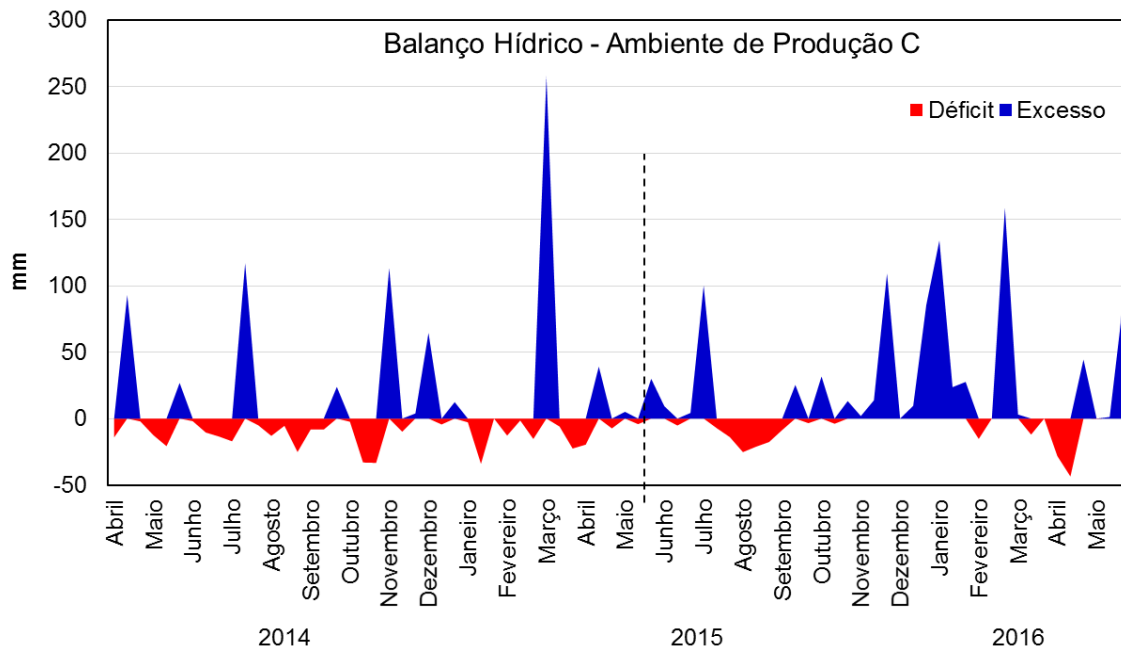


Figura 10 - Balanço hídrico do ambiente de produção C (Presidente Bernardes-SP) no período de abril de 2014 a maio de 2016, conforme metodologia de Thornthwaite e Mather (1995). A cor azul representa o excesso de água no solo e a vermelha a deficiência de água no solo. A linha tracejada divide os ciclos de cultivo em cana-planta, de abril/2014 a maio/2015, e cana-soca, de maio/2015 a maio/2016.



3.6.1. Dados agrometeorológicos – Cana-planta

O primeiro ciclo de cultivo da cana-de-açúcar foi realizado entre abril de 2014 a maio de 2015. Em relação à precipitação, neste período, houve grande quantidade de precipitação nas duas áreas experimentais, tendo um total acumulado de 1.655 mm no ambiente de produção A, e de 2.037 mm no ambiente de produção C. A distribuição foi de maneira similar nas duas áreas experimentais, sendo características das duas regiões o inverno seco e o verão chuvoso (Figura 7).

A temperatura média do ar foi superior no ambiente de produção C, sendo registrado média no primeiro ciclo de 24,4°C; máxima de 29,6°C; e mínima de 19,6°C (Figuras 4, 5 e 6). No ambiente de produção A, a temperatura média do período foi de 21,8°C; máxima de 27,4°C; e mínima de 17,5°C. A radiação solar registrada no primeiro ano foi de 13,62 e 14,36 MJ m⁻² nos ambientes de produção A e C, respectivamente. A radiação total acumulada no primeiro ciclo foi de 5.762 MJ m⁻² e 6.064 MJ m⁻², nos ambientes de produção A e C, respectivamente, (Figura 8).

Em relação ao balanço hídrico houve grande diferença entre os ambientes de produção. No ambiente de produção A, durante o primeiro ciclo, a deficiência de água foi de -69 mm e o excesso no mesmo período foi de 337 mm, sendo que a evapotranspiração potencial média foi de 3,2 mm dia⁻¹. Já no ambiente de produção C, no primeiro ciclo, a deficiência de água foi de -367 mm e o excesso de 757 mm, sendo que a evapotranspiração potencial média do período foi de 3,9 mm dia⁻¹ (Figuras 9 e 10).

Portanto, no primeiro ciclo de cultivo houve boa precipitação nos dois ambientes de produção. No entanto, apesar da similaridade na quantidade de precipitação, a deficiência de água foi bem pronunciada no ambiente de produção C, por causa da textura arenosa do solo e da maior evapotranspiração potencial. Ainda, em relação à temperatura, como a instalação da cultura ocorreu no final de março, a brotação e o perfilhamento da cultura no ambiente de produção A foram influenciados pelas menores temperaturas do ar ocorridas nesse período.

3.6.2. Dados agrometeorológicos – Cana-soca

O segundo ciclo de cultivo da cana-de-açúcar (cana-soca) foi realizado entre maio de 2015 a junho de 2016. Em relação à precipitação, o total acumulado no ambiente de produção A foi de 2.877 mm, e de 2.376 mm no ambiente de produção C. No segundo ciclo foram observados 242,2 e 187,2 mm de precipitação (ambientes de produção A e C, respectivamente) no mês de julho, mês normalmente que tem baixo índice pluviométrico. E ainda, devido ao fenômeno climático *El Niño*, as precipitações registradas entre outubro de 2015 a fevereiro de 2016 totalizaram 1.890,8 e 1.553,6 mm nos ambientes A e C e, portanto, foram superiores à média histórica dos dois ambientes de produção (Figura 7).

Em relação à temperatura do ar, como ocorrido no primeiro ano, no ambiente de produção C foram registradas temperaturas superiores ao ambiente de produção A. No ambiente de produção C a temperatura média foi de 25°C, a máxima de 30,1°C e a mínima de 20,3°C. No ambiente de produção A, a temperatura média do período foi de 22°C, a máxima de 27,7°C e a mínima de 17,7°C (Figuras 4, 5 e 6).

A radiação solar média do período foi de 12,6 e 13,4 MJ m⁻², e o total acumulado de 4.659 e 4.973 MJ m⁻², nos ambientes de produção A e C, respectivamente. A diferença no total acumulado entre os ambientes de produção foi devido ao maior volume de precipitação registrado nos meses de novembro e dezembro no ambiente de produção A, pois a maior quantidade dias chuvosos significa, também, maior quantidade de dias nublados, reduzindo, dessa maneira, a radiação solar que incide sobre a superfície terrestre (Figura 8).

Em relação ao balanço hídrico, no segundo ciclo de cultivo, no ambiente de produção A houve deficiência de -56 mm e excesso de 1.719 mm. No ambiente de produção A, a evapotranspiração média do período foi de 3,2 mm dia⁻¹. Já no ambiente de produção C, a deficiência hídrica foi de -205 mm e o excesso de 912 mm, tendo evapotranspiração potencial média de 4,0 mm dia⁻¹ (Figuras 9 e 10).

Portanto, no segundo ciclo de cultivo, o volume de precipitação ocorrido em julho de 2015 favoreceu a brotação e o perfilhamento da cana-soca. Ainda, a grande quantidade de precipitação registrada no verão, principalmente o ambiente de produção C, reduziu a deficiência de água no solo. Em relação à temperatura, os valores registrados corroboram com os registrados no primeiro ciclo, em que, no ambiente de produção C, a temperatura média do ar é superior à do ambiente de produção A. A média de todo o período experimental foi de 21,9 e 24,7°C nos Ambientes de Produção A e C, respectivamente.

3.7 Análise estatística

Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANAVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, em que quando a interação ambientes de produção e cultivares foi significativa, foi realizado o desdobramento estatístico para esses fatores através do software Sisvar para Windows, versão 5.3. Os quadros da análise de variância para todos as variáveis estão apresentados no apêndice.

4 RESULTADOS

4.1 Variáveis biométricas

4.1.1 Cana-planta

De maneira geral, o desenvolvimento das plantas foi maior no ambiente de produção C até os 150 DAP, devido à maior altura das plantas, comprimento e largura da folha +1 e também pelo início da formação dos entrenós (Tabela 5). Em relação às cultivares no ambiente de produção A, não houve diferença quanto ao desenvolvimento inicial. Já no ambiente de produção C, a altura das plantas e o índice de área foliar (*IAF*) foram maiores na cultivar RB867515. Aos 285 DAP, de modo geral, as cultivares desenvolvidas no ambiente de produção C apresentavam maior altura e maior número de entrenós por planta. Aos 415 DAP foi observado que o diâmetro do colmo foi maior nas cultivares do ambiente de produção A, assim como, que a cultivar SP80-3280 tinha maior altura, número de perfilhos e diâmetro de colmo. Já no ambiente de produção C, a cultivar RB867515 possuía maior altura, número de perfilhos e número de entrenós.

Analisando as variáveis biométricas de maneira mais detalhada das três cultivares em cada ambiente de produção, foi observado que desde a brotação até os 285 DAP a altura das plantas foi maior no ambiente de produção C. Aos 285 DAP, a altura média das três cultivares foi de 1,6 m no ambiente de produção A e de 2,0 m no ambiente de produção C (Figura 11). No final do primeiro ciclo de cultivo, a diferença entre os ambientes de produção reduziu, sendo que a altura média das cultivares no ambiente de produção A e C foi de 3,0 e 2,9 m, respectivamente.

Tabela 5 - Variáveis biométricas de três cultivares de cana-de-açúcar, SP80-3280, RB855156 e RB867515, no ciclo de cana-planta nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP) aos 150, 285 e 415 dias após o plantio (DAP).

| Variáveis biométricas | Ambiente de produção A | | | Ambiente de produção C | | |
|-----------------------|------------------------|----------|-----------|------------------------|----------|----------|
| | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 |
| 150 DAP | | | | | | |
| Altura das plantas | 0,35 Ba | 0,22 Ba | 0,27 Ba | 0,55 Aab | 0,46 Ab | 0,66 Aa |
| Diâmetro do colmo | 18,45 Aab | 14,14 Bb | 16,60 Ba | 19,60 Aab | 17,60 Ab | 22,15 Aa |
| Número de perfilhos | 17,05 Aab | 17,60 Aa | 12,85 Bb | 18,90 Aa | 19,40 Aa | 21,10 Aa |
| Entrenós por planta | 0,00 Ba | 0,00 Ba | 0,00 Ba | 1,05 Aa | 0,25 Ab | 1,35 Aa |
| Comprimento da folha | 1,21 Ba | 1,08 Bb | 1,14 Bab | 1,31 Ab | 1,32 Ab | 1,45 Aa |
| Largura da folhas | 30,85 Ba | 17,57 Bb | 27,55 Ba | 38,35 Aa | 30,47 Aa | 35,75 Aa |
| IAF | 2,22 Ab | 2,11 Aa | 2,64 Aa | 1,94 Ab | 2,53 Bb | 4,14 Ba |
| NFV | 6,32 Ab | 7,20 Aa | 7,00 Aa | 6,70 Aa | 7,05 Aa | 6,50 Aa |
| 285 DAP | | | | | | |
| Altura das plantas | 1,65 Ba | 1,57 Ba | 1,59 Ba | 1,94 Ab | 1,93 Ab | 2,17 Aa |
| Diâmetro do colmo | 31,12 Aa | 25,79 Aa | 27,33 Aab | 28,83 Aa | 25,58 Aa | 26,08 Aa |
| Número de perfilhos | 4,83 Aa | 17,41 Aa | 15,08 Aa | 12,66 Aa | 14,25 Ba | 12,58 Ba |
| Entrenós por planta | 6,93 Ba | 4,81 Ba | 5,70 Ba | 11,58 Aa | 10,25 Aa | 12,83 Aa |
| Comprimento da folha | 1,29 Ab | 1,58 Aa | 1,63 Aa | 1,34 Ab | 1,64 Aa | 1,64 Aa |
| Largura da folhas | 49,41 Aa | 33,75 Bb | 47,75 Aa | 44,31 Aa | 45,33 Aa | 45,25 Aa |
| IAF | 3,68 Ab | 4,18 Aa | 3,36 Ab | 2,92 Bb | 4,01 Aa | 4,11 Aa |
| NFV | 10,33 Aa | 10,64 Aa | 9,83 Aa | 10,41 Aa | 9,74 Bab | 9,00 Bb |
| 415 DAP | | | | | | |
| Altura das plantas | 3,59 Aa | 2,56 Ac | 2,94 Bb | 2,98 Ba | 2,50 Ab | 3,22 Aa |
| Diâmetro do colmo | 36,00 Aa | 30,27 Ac | 31,75 Ab | 30,25 Ba | 26,50 Bb | 30,62 Aa |
| Número de perfilhos | 11,85 Aab | 13,57 Aa | 10,78 Ab | 9,00 Bb | 13,00 Aa | 11,33 Aa |
| Entrenós por planta | 22,00 Aa | 19,00 Ab | 20,50 Bab | 22,00 Aab | 21,00 Ab | 24,00 Aa |
| Comprimento da folha | 1,50 Aab | 1,39 Bb | 1,62 Aa | 1,42 Ab | 1,54 Aab | 1,67 Aa |
| Largura da folhas | 55,83 Aa | 40,16 Ab | 51,00 Ab | 44,50 Ba | 44,62 Aa | 50,00 Aa |
| IAF | 4,01 Aa | 4,44 Aa | 3,21 Ba | 3,00 Ab | 3,73 Bab | 4,29 Ba |
| NFV | 10,75 Aa | 10,83 Aa | 9,58 Aa | 9,62 Aab | 10,12 Aa | 8,37 Ab |

Altura das plantas (m); Diâmetro do colmo (mm); Número de perfilhos (m); Comprimento da folha +1 (m); Largura da folha +1 (mm); IAF, índice de área foliar; NFV, número de folhas verdes por planta. Letras maiúsculas comparam os ambientes de produção; Letras minúsculas comparam as cultivares (Teste de Tukey $p < 0,05$).

No entanto, foram observadas diferenças entre as cultivares. No ambiente de produção A, a maior altura de plantas foi verificada na cultivar SP80-3280 (3,59 m), seguida pelas cultivares RB867515 (2,94 m) e RB855156 (2,56 m). No ambiente de produção C, a maior altura de plantas foi observada na cultivar RB867515 (3,22 m), seguida pelas cultivares SP80-3280 (2,98 m) e RB855156 (2,50 m).

Em relação ao diâmetro do colmo, foram observadas diferenças entre os ambientes de produção e entre os cultivares, desde a fase inicial de desenvolvimento até a colheita (Figura 12). Aos 150 DAP, os diâmetros dos colmos das cultivares RB855156 e RB867515 foram maiores no ambiente de produção C, e na cultivar SP80-3280, o maior diâmetro do colmo foi verificado no ambiente de produção A. Aos 285 DAP, no ambiente de produção A, o maior diâmetro de colmo foi observado pela cultivar SP80-3280 (31,1 mm), seguida pelas cultivares RB867515 (27,3 mm) e RB855156 (25,7 mm). No ambiente de produção C, o maior diâmetro de colmo foi averiguado na cultivar SP80-3280 (28,8 mm), seguida pelas cultivares RB867515 (26,0 mm) e RB855156 (25,5 mm). Aos 415 DAP, no geral, foi constatado que o diâmetro do colmo foi maior nas cultivares desenvolvidas no ambiente de produção A, assim como, no ambiente de produção A, o maior diâmetro de colmo foi obtido na seguinte ordem das cultivares: SP80-3280 (36,0 mm), RB867515 (31,7 mm) e RB855156 (30,2 mm). Já no ambiente de produção C, a sequência decrescente observada foi: RB867515 (30,6 mm), SP80-3280 (30,2 mm) e RB855156 (26,5 mm).

Figura 11 - Altura das plantas (m) de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De março de 2014 a maio de 2015. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após o plantio).

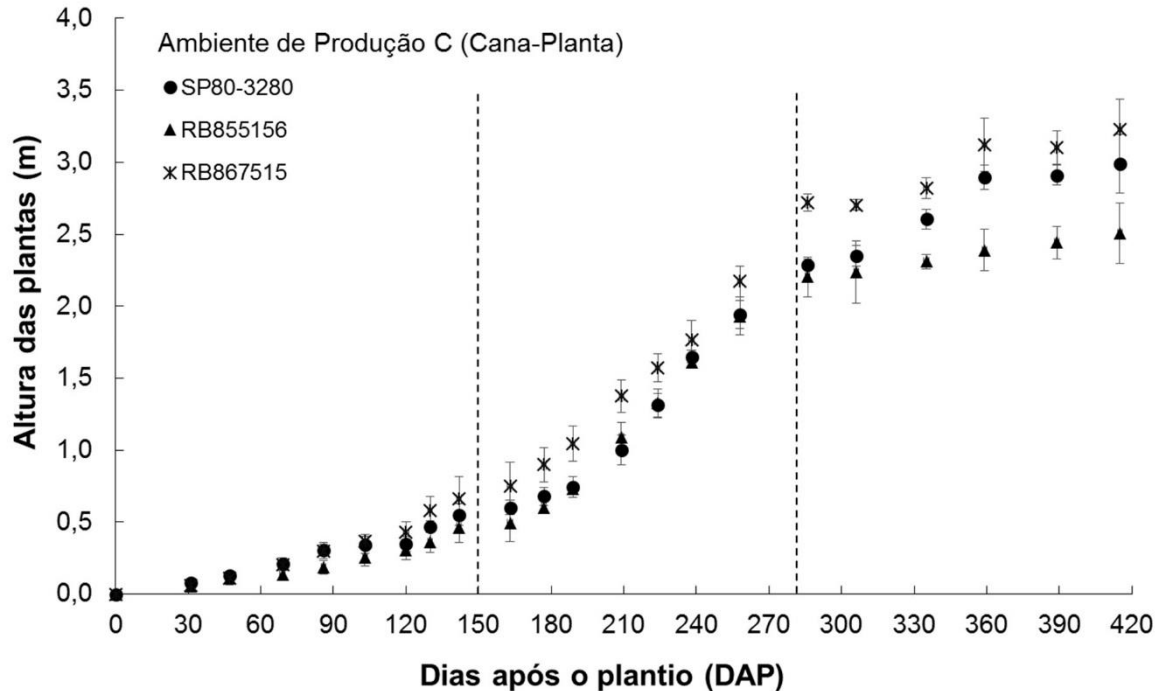
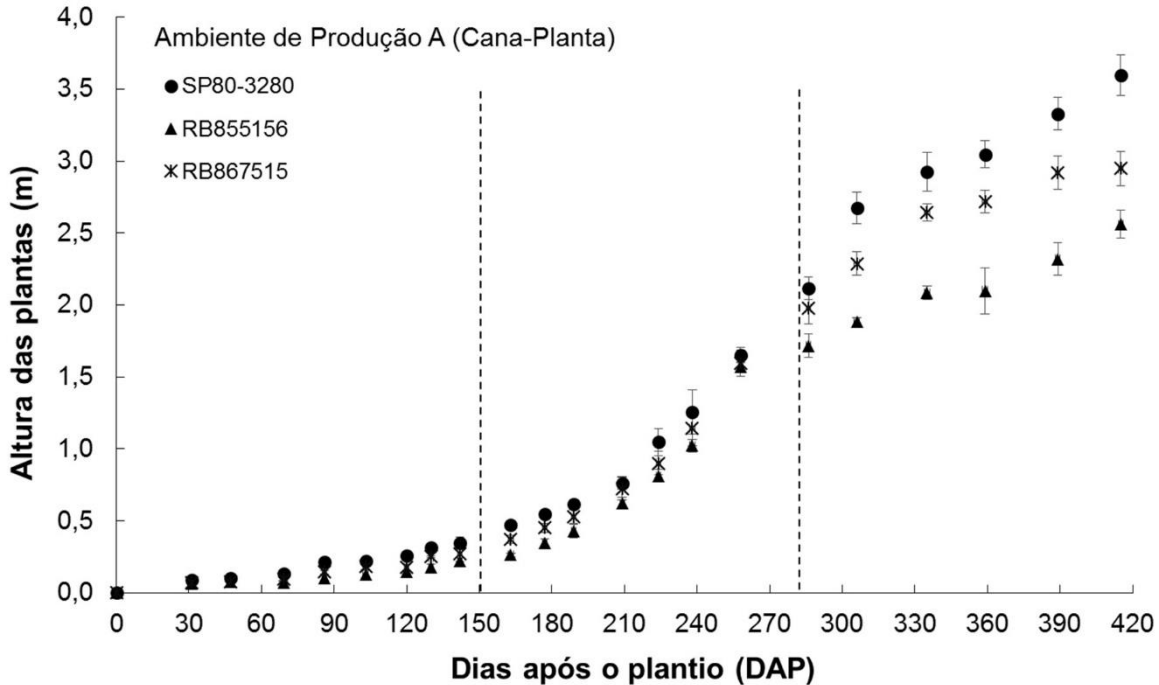
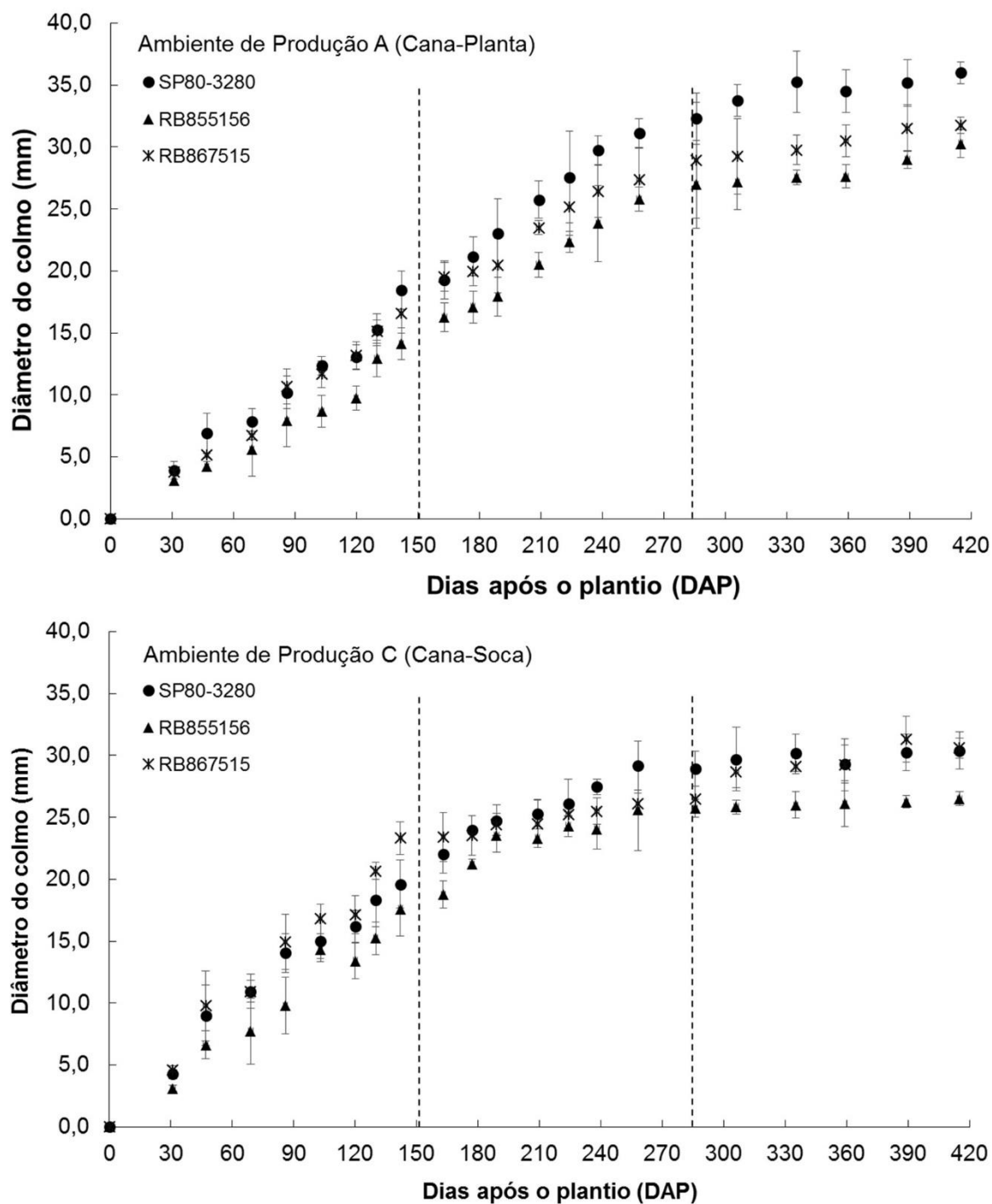


Figura 12 - Diâmetro do colmo (mm) de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De março de 2014 a maio de 2015. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após o plantio).



Houve efeito do ambiente de produção e das cultivares sobre o perfilhamento das plantas (Figura 13). No ambiente de produção A, o pico de

perfilhamento das cultivares foi próximo aos 180 DAP, sendo que o número de perfilhos por metro foi de 21,0 na cultivar RB855156, 19,4 na cultivar SP80-3280 e 17,4 na cultivar RB867515. No ambiente de produção C, o pico de perfilhamento ocorreu aos 165 DAP, sendo que o perfilhamento das cultivares no ambiente de produção C foi superior ao perfilhamento no ambiente de produção A. Aos 165 DAP, foram mensurados 23,4 perfilhos na cultivar SP80-3280, 22,3 na cultivar RB855156 e 22,7 na cultivar RB867515. Após o pico de perfilhamento, houve redução do número de perfilhos nas três cultivares nos dois ambientes de produção. Aos 415 DAP, no momento da colheita, o número de perfilhos por metro no ambiente de produção A foi de 11,8, 13,5 e 10,7 nas cultivares SP80-3280, RB855156 e RB867515, respectivamente. No ambiente de produção C, foi de 9,0, 13,0 e 11,3, nas cultivares SP80-3280, RB855156 e RB867515, respectivamente.

Em relação ao número de entrenós por planta, observou-se efeitos significativos do ambiente de produção, principalmente, na fase inicial de desenvolvimento dos entrenós (Figura 14). No ambiente de produção C, aos 150 DAP teve início o desenvolvimento dos entrenós, já no ambiente de produção A, a formação dos entrenós teve início aos 190 DAP. Essa diferença manteve-se também aos 285 DAP, o número de entrenós médio no ambiente de produção C foi de 11,5 entrenós por planta, e de 5,8 entrenós por planta no ambiente de produção A. No entanto, aos 415 DAP, houve redução na diferença no número de entrenós entre os ambientes de produção. O número de entrenós da cultivar SP80-3280 foi igual nos dois ambientes, já as cultivares RB855156 e RB867515 tiveram em média 2,0 a 3,5 entrenós por planta a mais no ambiente de produção C. No ambiente de produção A, aos 415 DAP, o número de entrenós foi de 22,0; 19,0 e 20,5 nas cultivares SP80-3280, RB855156 e RB867515, respectivamente. E no ambiente de produção C, as cultivares SP80-3280, RB855156 e RB867515 tiveram 22,0; 21,0 e 24,0 entrenós por planta, respectivamente.

O número de folhas verdes por planta (*NFV*) foi aumentando de acordo com o desenvolvimento da cultura (Figura 15). Aos 150 DAP, as cultivares tinham em média 6,7 folhas verdes. Aos 285 DAP, o *NFV* médio das cultivares foi de 9,9 e aos 415 DAP o *NFV* médio das plantas manteve-se próximo a 9,8. No entanto, houve redução do *NFV* no ambiente de produção C, entre 150 a 180 DAP, devido à estiagem ocorrida neste período. Observou-se ainda, que a partir dos 300 DAP, o

NFV da cultivar RB867515 foi sempre menor do que nas demais cultivares nos dois ambientes de produção.

O comprimento e a largura da folha +1 foram influenciados pelos ambientes de produção somente na fase inicial de desenvolvimento das plantas (Figuras 16 e 17). Aos 150 DAP, houve maior comprimento e largura da folha +1 no ambiente de produção C. Aos 415 DAP, a cultivar RB855156 teve menor comprimento de folha no ambiente de produção A, bem como, a cultivar SP80-3280 teve menor largura de folha no ambiente de produção A. A cultivar RB867515 teve o maior comprimento de folha nos dois ambientes de produção (1,64 m). Assim, de maneira geral, as cultivares RB867515 e SP80-3280 têm características de folhas mais compridas e largas, e a cultivar RB855156 folhas mais finas.

Figura 13 - Número de perfilhos por metro de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De março de 2014 a maio de 2015. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após o plantio).

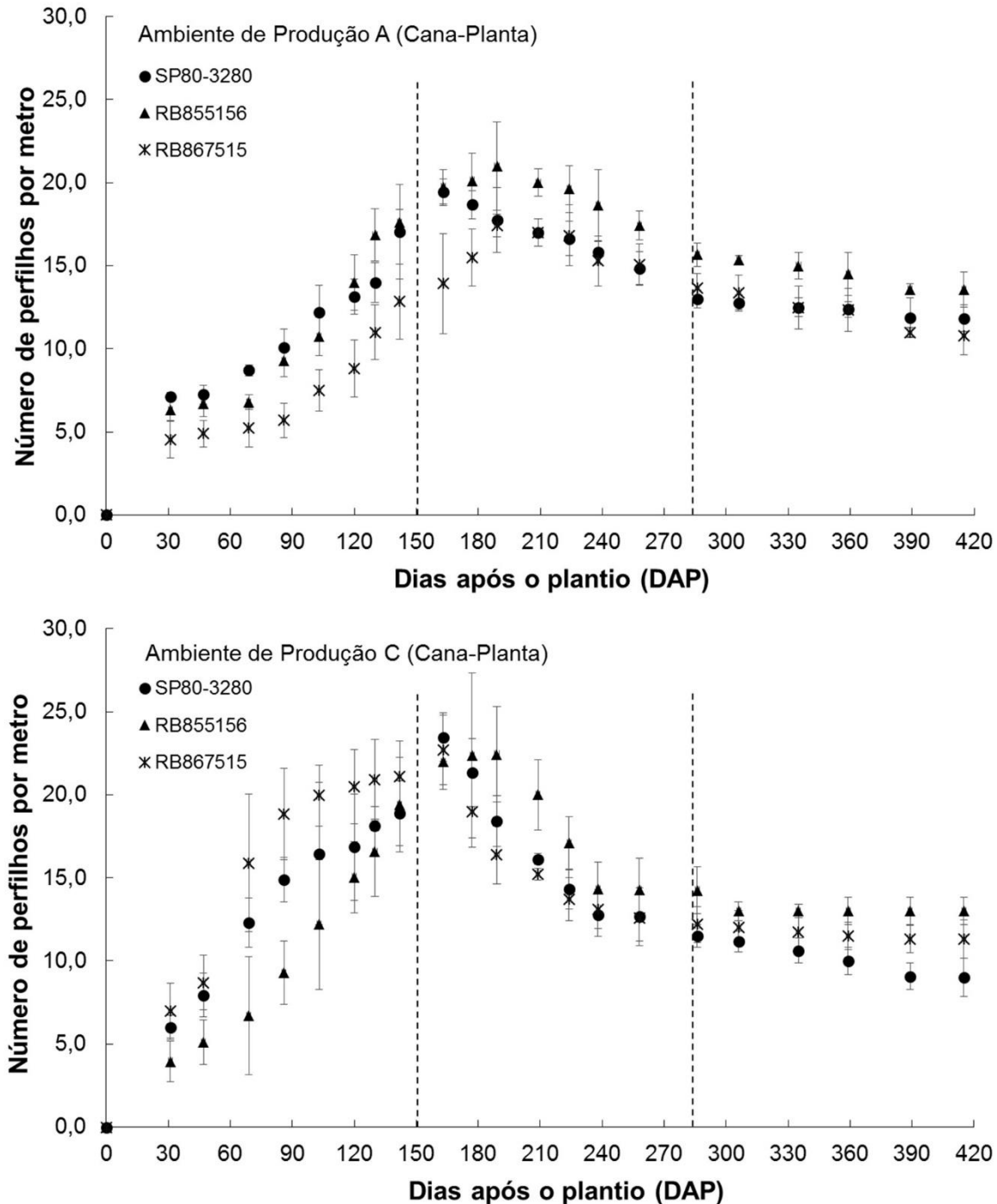


Figura 14 - Número de entrenós por planta de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De março de 2014 a maio de 2015. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após o plantio).

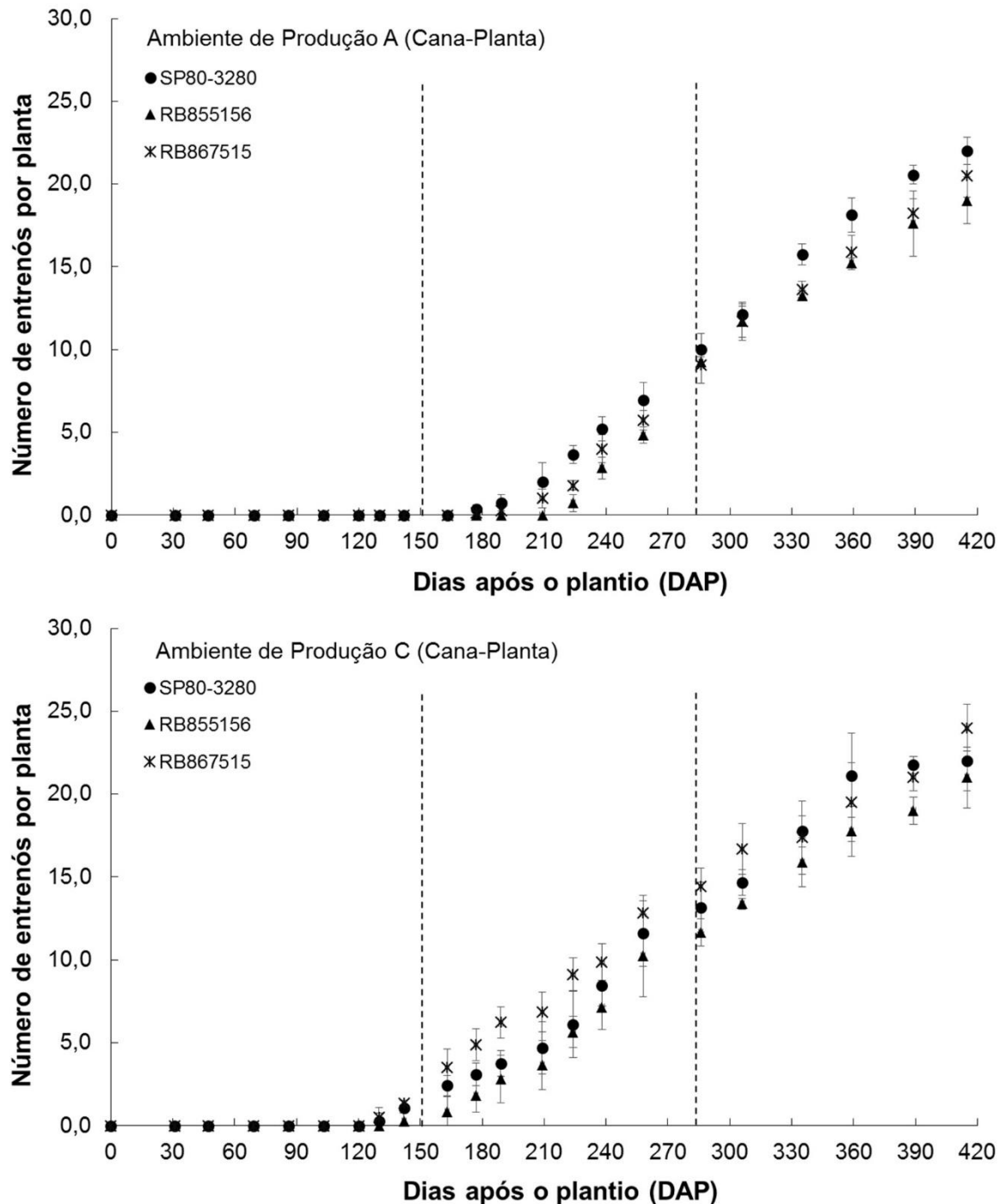


Figura 15 - Número de folhas verdes por planta de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De março de 2014 a maio de 2015. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após o plantio).

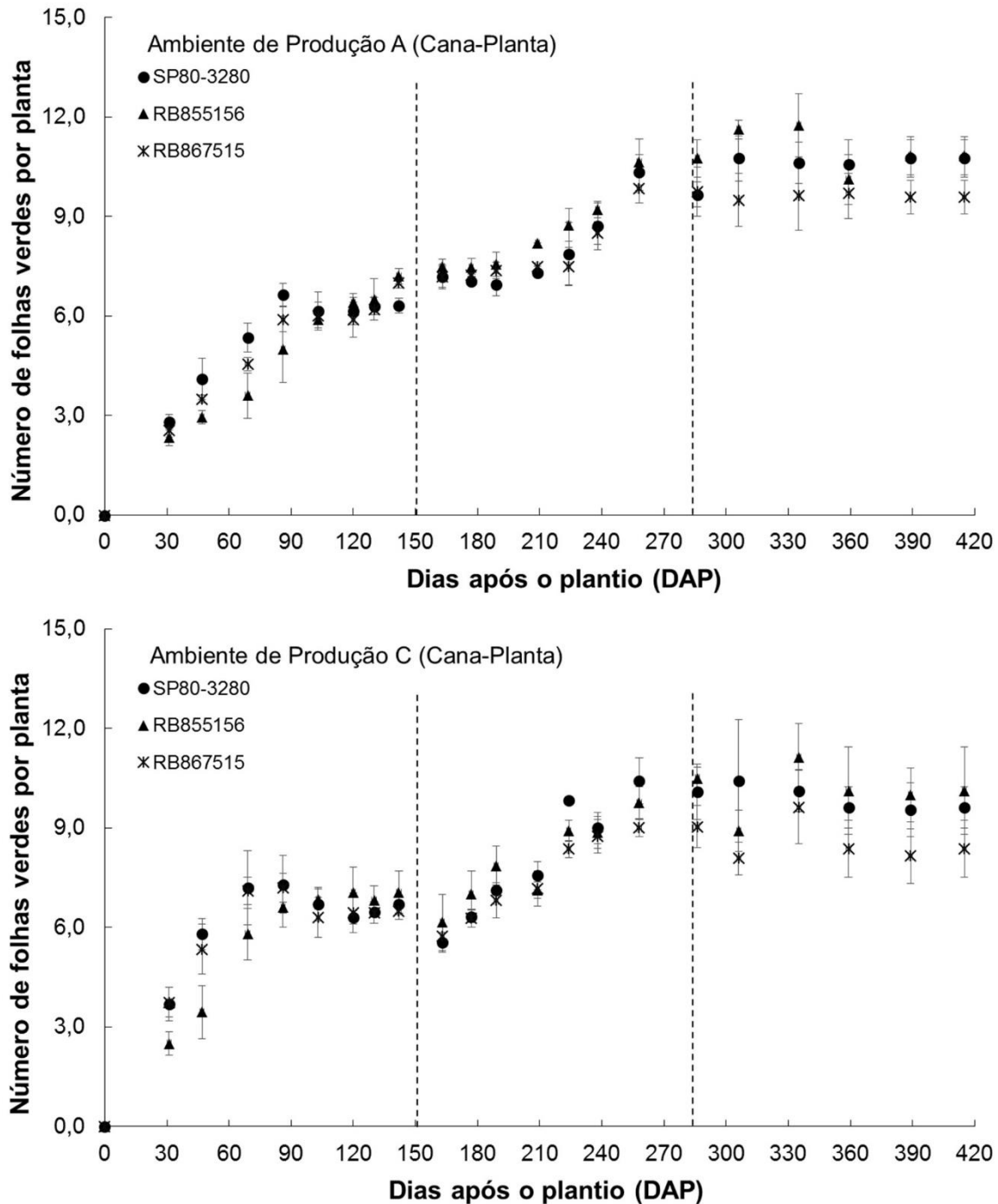


Figura 16. Comprimento da folha +1 (m) de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De março de 2014 a maio de 2015. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após o plantio).

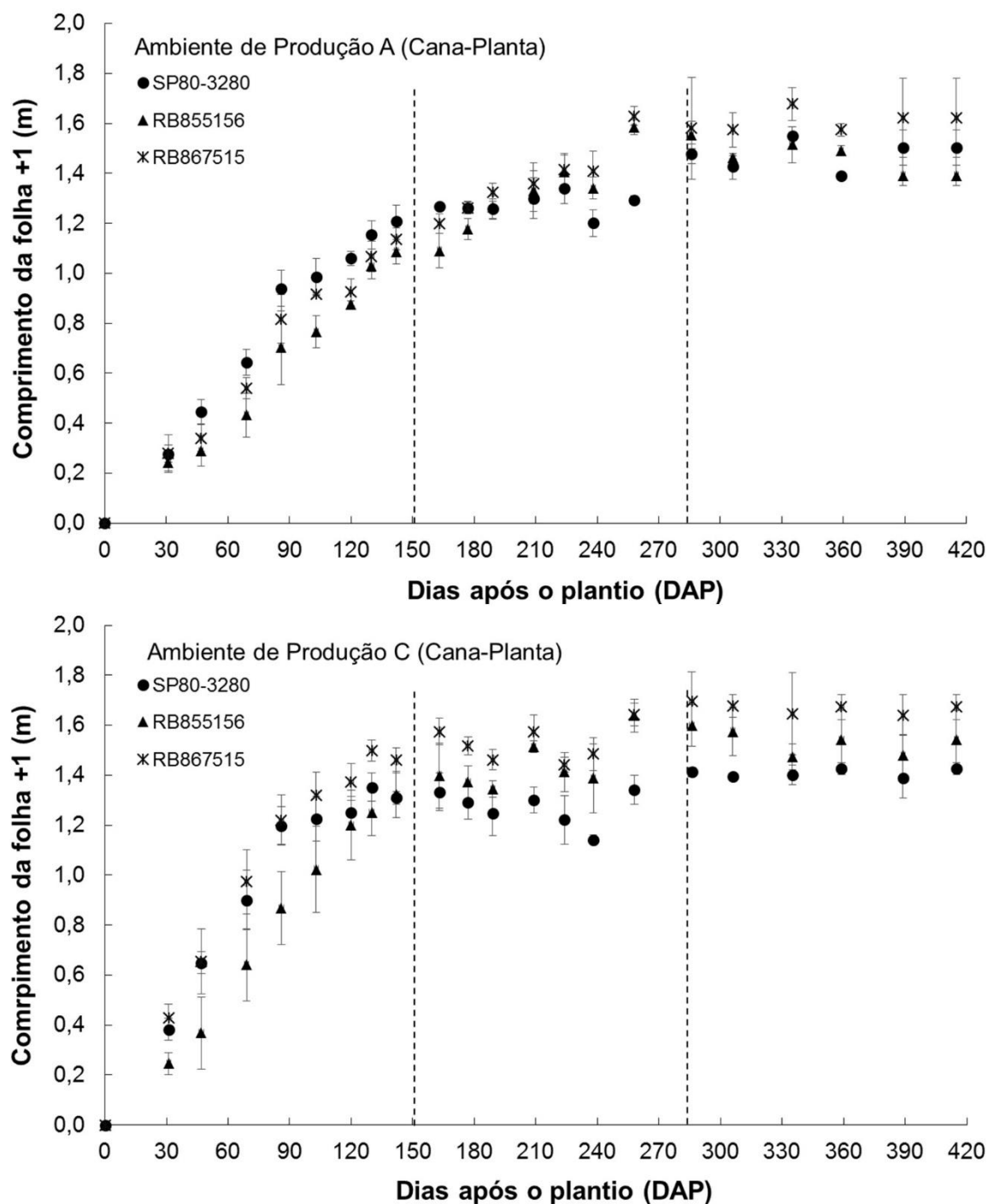
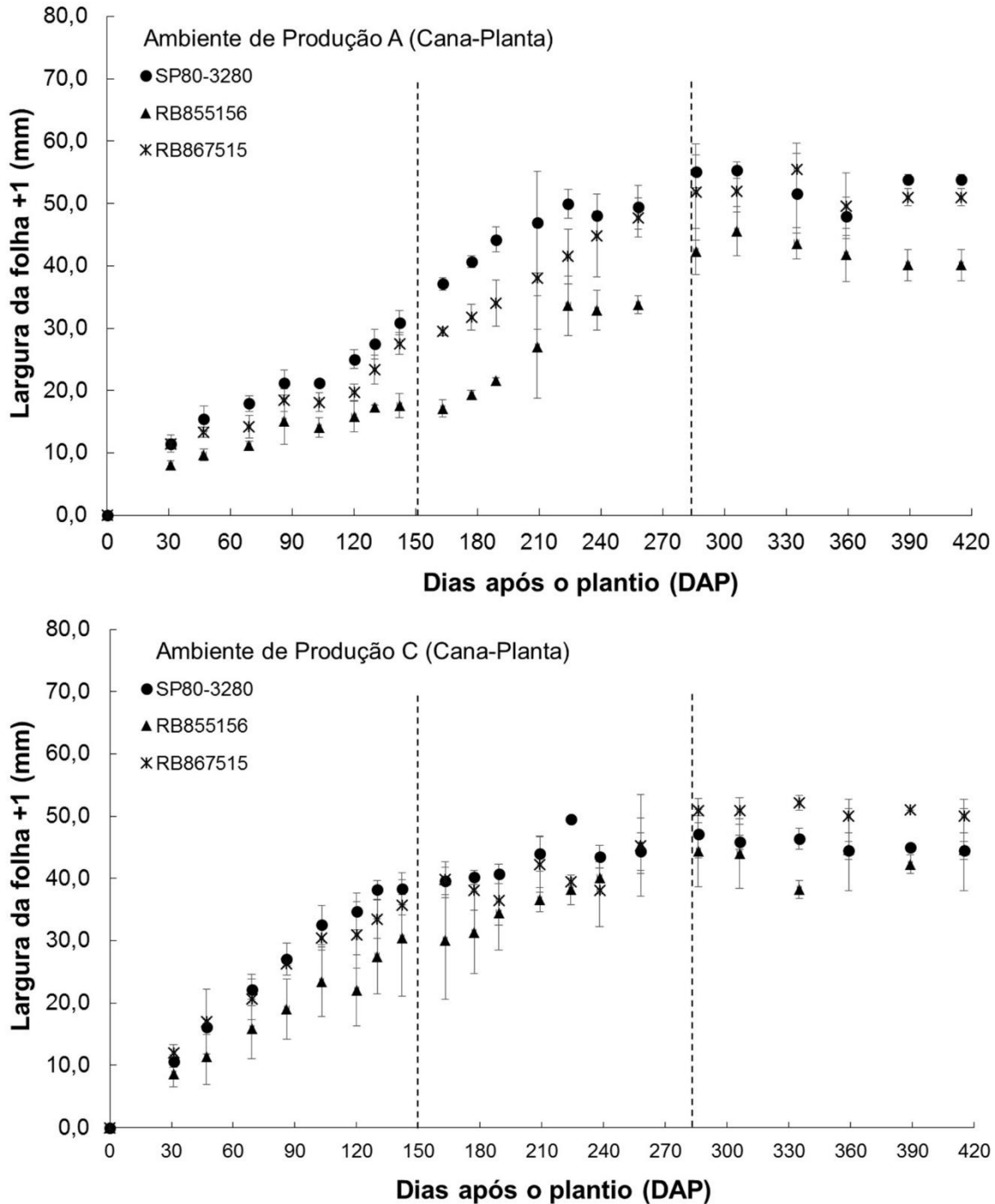


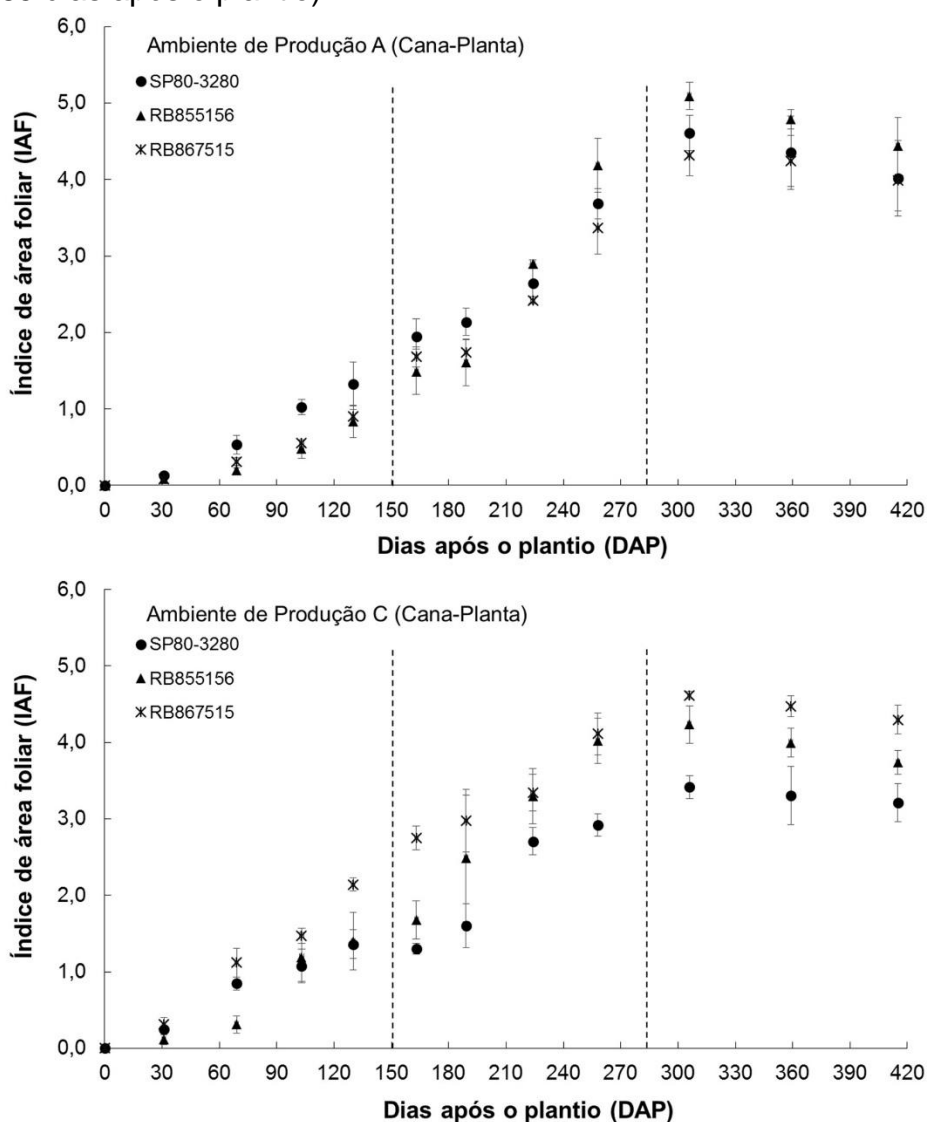
Figura 17. Largura da folha +1 (mm) de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De março de 2014 a maio de 2015. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após o plantio).



O índice de área foliar (*IAF*) das três cultivares aumentou até aproximadamente entre 285 a 300 DAP nos dois ambientes de produção, sendo o *IAF* médio máximo no ambiente de produção A foi de 4,67, enquanto que no

ambiente de produção C foi 4,09 (Figura 18). Aos 285 DAP, no ambiente de produção A, o maior *IAF* foi observado na cultivar RB855156 (4,18), enquanto que no ambiente de produção C, o maior *IAF* foi das cultivares RB867515 (4,11) e RB855156 (4,01). Houve redução do *IAF* das cultivares RB855156 e SP80-3280 aos 415 DAP.

Figura 18 - Índice de área foliar (*IAF*) de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De março de 2014 a maio de 2015. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após o plantio).



4.1.2 Cana-soca

Observou-se na cana-soca que o desenvolvimento de algumas variáveis biométricas foi diferente em relação ao primeiro ciclo de cultivo (cana-planta) (Tabela 6). Após o corte das plantas, a brotação das soqueiras das cultivares ocorreu de maneira mais uniforme em ambos os ambientes de produção.

Em relação à altura das plantas não foi observada diferença aos 150 dias após a colheita (DAC) (Figura 19). No entanto, aos 280 DAC, foi observado que as cultivares SP80-3280 e RB855156 tiveram menor altura de plantas no ambiente de produção C. Aos 380 DAC não houve diferença entre os ambientes de produção, a altura médias das cultivares nos dois ambientes de produção foi de 3,4 m para SP80-3280, 2,9 m para RB855156 e de 3,4 m para RB867515. No entanto, no ambiente de produção A não houve diferença significativa entre as cultivares, já no ambiente de produção C, a cultivar RB855156 teve menor altura de plantas.

Não houve efeito do ambiente de produção no diâmetro de colmo durante todo o período de desenvolvimento da cana-soca (Figura 20). Em relação às cultivares, não foi observada diferença aos 150 DAC, no entanto, aos 380 DAC, a cultivar RB855156 apresentou menor diâmetro de colmo nos dois ambientes de produção.

O perfilhamento das plantas também não foi afetado pelo ambiente de produção no segundo ciclo de cultivo, quando o pico de perfilhamento ocorreu entre 90 e 120 DAC (Figura 21). De maneira geral, a cultivar RB855156 teve perfilhamento mais intenso do que as demais cultivares. Aos 380 DAC, no ambiente de produção A não houve diferença no perfilhamento entre as cultivares, sendo que o número de perfilhos por metro foi averiguado na seguinte sequência: 13,33 para RB855156; 12,38 para SP80-3280 e 11,30 para RB867515. Já no ambiente de produção C, o número de perfilhos observado na cultivar RB855156 (15,10) foi maior do que nas cultivares SP80-3280 (10,65) e RB867515 (10,88).

Tabela 6 - Variáveis biométricas de três cultivares de cana-de-açúcar, SP80-3280, RB855156 e RB867515, no ciclo de cana-soca nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP) aos 150, 280 e 380 dias após a colheita (DAC).

| Variáveis biométricas | Ambiente de produção A | | | Ambiente de produção C | | |
|-----------------------|------------------------|----------|----------|------------------------|----------|----------|
| | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 |
| 150 DAC | | | | | | |
| Altura das plantas | 1,26 Aa | 1,06 Ab | 1,20 Aa | 1,01 Aa | 1,04 Aa | 1,05 Ba |
| Diâmetro do colmo | 21,00 Aa | 14,50 Bb | 17,25 Bb | 23,75 Aa | 19,75 Ab | 25,25 Aa |
| Número de perfilhos | 15,00 Ab | 25,25 Aa | 14,70 Ab | 16,00 Ab | 23,00 Ba | 14,75 Ab |
| Entrenós por planta | 3,97 Aa | 3,92 Aa | 3,95 Aa | 3,80 Aa | 3,77 Aa | 3,95 Aa |
| Comprimento da folha | 1,22 Ab | 1,23 Ab | 1,42 Aa | 1,15 Aa | 1,12 Ba | 1,23 Aa |
| Largura da folhas | 32,25 Aa | 20,00 Ab | 33,00 Aa | 32,75 Aa | 20,75 Ab | 31,25 Aa |
| IAF | 2,74 Ab | 2,58 Ab | 3,14 Aa | 2,19 Ba | 2,93 Aa | 2,84 Aa |
| NFV | 7,25 Aa | 7,75 Aa | 6,75 Aa | 7,62 Aa | 7,47 Aa | 7,00 Aa |
| 280 DAC | | | | | | |
| Altura das plantas | 2,91 Aa | 2,56 Ac | 2,70 Ab | 2,48 Ba | 2,20 Bb | 2,52 Ba |
| Diâmetro do colmo | 27,75 Aa | 22,50 Ab | 27,90 Ba | 28,02 Aab | 24,27 Ab | 31,82 Aa |
| Número de perfilhos | 12,58 Ab | 16,33 Aa | 12,50 Ab | 11,12 Ab | 16,25 Aa | 12,25 Ab |
| Entrenós por planta | 16,45 Aa | 15,49 Aa | 14,52 Ba | 16,87 Aa | 17,00 Aa | 16,15 Aa |
| Comprimento da folha | 1,27 Ab | 1,17 Ab | 1,42 Aa | 1,22 Ab | 1,21 Ab | 1,34 Aa |
| Largura da folhas | 38,50 Aab | 33,50 Ab | 42,75 Aa | 38,50 Aa | 24,25 Bb | 36,00 Aa |
| IAF | 3,93 Aa | 4,18 Aa | 4,00 Aa | 3,41 Bb | 4,21 Aa | 4,31 Aa |
| NFV | 8,00 Ab | 10,00 Aa | 8,00 Ab | 8,25 Ab | 10,00 Aa | 7,50 Ab |
| 380 DAC | | | | | | |
| Altura das plantas | 3,49 Aa | 3,06 Ab | 3,47 Aa | 3,31 Aa | 2,78 Bb | 3,33 Aa |
| Diâmetro do colmo | 28,37 Aa | 23,00 Ab | 28,75 Aa | 28,41 Aa | 24,49 Ab | 30,12 Aa |
| Número de perfilhos | 12,38 Aa | 13,33 Aa | 11,30 Aa | 10,65 Ab | 15,10 Aa | 10,88 Ab |
| Entrenós por planta | 22,93 Aa | 21,87 Ba | 23,18 Aa | 24,62 Aa | 24,31 Aa | 23,56 Aa |
| Comprimento da folha | 1,25 Ab | 1,16 Bb | 1,49 Aa | 1,22 Ab | 1,25 Ab | 1,46 Aa |
| Largura da folhas | 48,31 Aa | 29,31 Ab | 46,43 Aa | 38,50 Bb | 27,62 Ac | 43,93 Aa |
| IAF | 3,72 Aa | 3,86 Aa | 3,71 Aa | 2,97 Ba | 3,56 Aa | 3,34 Bab |
| NFV | 9,00 Aab | 9,68 Aa | 8,43 Ab | 5,93 Ba | 6,75 Ba | 6,00 Ba |

Altura das plantas (m); Diâmetro do colmo (mm); Número de perfilhos (m); Comprimento da folha +1 (m); Largura da folha +1 (mm); IAF, índice de área foliar; NFV, número de folhas verdes por planta. Letras maiúsculas comparam os ambientes de produção; Letras minúsculas comparam as cultivares (Teste de Tukey $p < 0,05$).

Figura 19 - Altura das plantas (m) de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-soca nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De maio de 2015 a maio de 2016. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após a colheita).

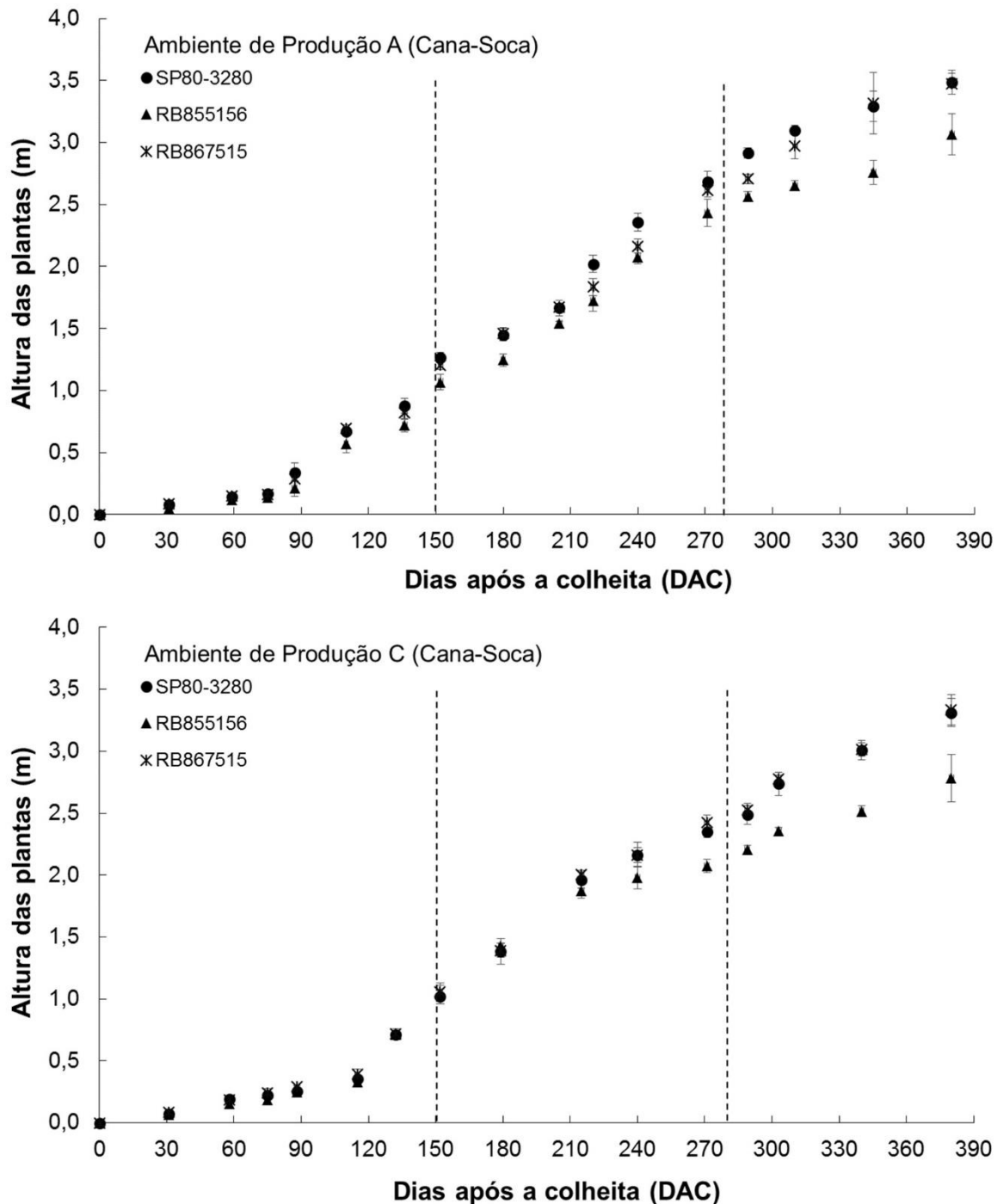


Figura 20. Diâmetro do colmo (mm) de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-soca nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De maio de 2015 a maio de 2016. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após a colheita).

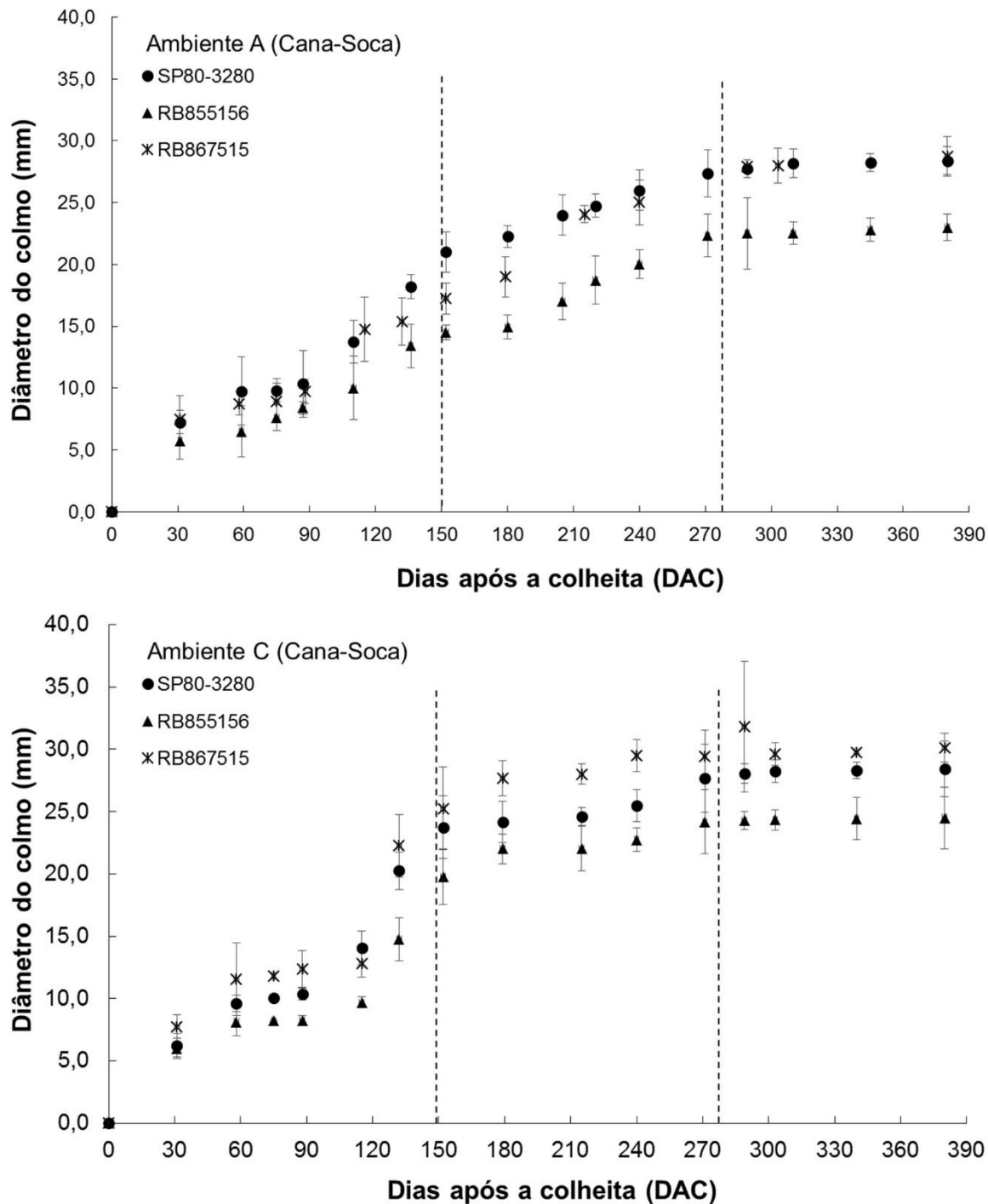
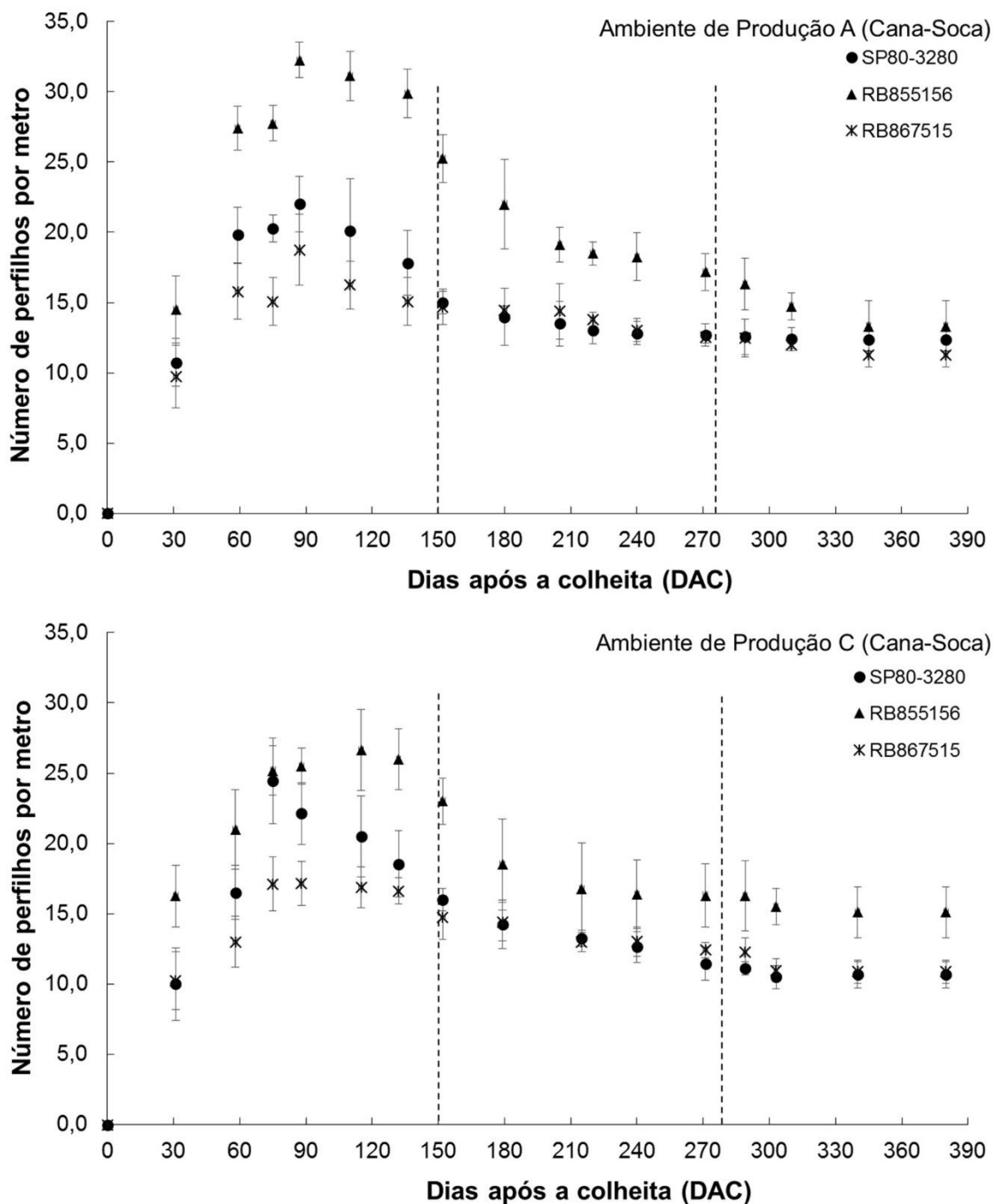


Figura 21 - Número de perfilhos por metro de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-soca nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De maio de 2015 a maio de 2016. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após a colheita).



O número de entrenós por planta também foi mais uniforme na cana-soca, quando aos 150 DAC, as plantas apresentavam em média 3,8 entrenós nas três cultivares nos dois ambientes de produção (Figura 22). Aos 280 DAC também não houve diferença entre as cultivares e entre os ambientes, quando as plantas tinham aproximadamente 16 entrenós. No fim do ciclo de cultivo, aos 380 DAC, apenas o número de entrenós da cultivar RB855156 foi menor no ambiente de produção A, sendo que no ambiente de produção A o valor observado foi de 21,8 entrenós por planta, já no ambiente de produção C foi 24,3 entrenós por planta. A média do número de entrenós foi de 22,6 e 24,1 nos ambientes de produção A e C, respectivamente.

O número de folhas verdes (*NFV*) das plantas aumentou de maneira similar entre as cultivares e os ambientes de produção até os 150 DAC, quando nessa época, as plantas tinham em média 7,3 folhas verdes (Figura 23). Aos 285 DAC, houve maior *NFV* na cultivar RB855156 nos dois ambientes de produção. Após essa época, houve efeito significativo do ambiente de produção, em que as cultivares do ambiente de produção A mantiveram o *NFV* até a colheita, e no ambiente de produção C houve redução significativa redução do *NFV*, sendo que, a média do *NFV* das cultivares no ambiente de produção A aos 380 DAC foi de 9,0, e no ambiente de produção C foi de 6,2.

Em relação ao comprimento da folha +1, foi observado aumento desta característica em todas as cultivares nos dois ambientes de produção até os 150 DAC, não havendo nessa época diferença entre cultivares e ambientes de produção (Figura 24). Aos 280 e 380 DAC, foi constatada apenas diferença varietal. As cultivares SP80-3280 e RB855156 tiveram menor comprimento de folha do que a cultivar RB867515. Não houve efeito do ambiente de produção sobre a largura da folha, sendo observado apenas que a cultivar RB855156 teve menor largura do que as demais cultivares estudadas.

O índice de área foliar (IAF) foi pouco influenciado em função do ambiente de produção e das cultivares na cana-soca (Figura 26). O IAF da cultivar SP80-3280 aos 150, 280 e 380 DAC foi maior no ambiente de produção A. No ambiente de produção A, o IAF foi similar entre as três cultivares para todos os ciclos de cultivo, enquanto que no ambiente de produção C, o maior IAF foi obtido pelas

cultivares RB867515 e RB855156. Houve redução no IAF das cultivares desenvolvidas no ambiente de produção C aos 380 DAC.

Figura 22 - Número de entrenós por planta de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-soca nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De maio de 2015 a maio de 2016. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após a colheita).

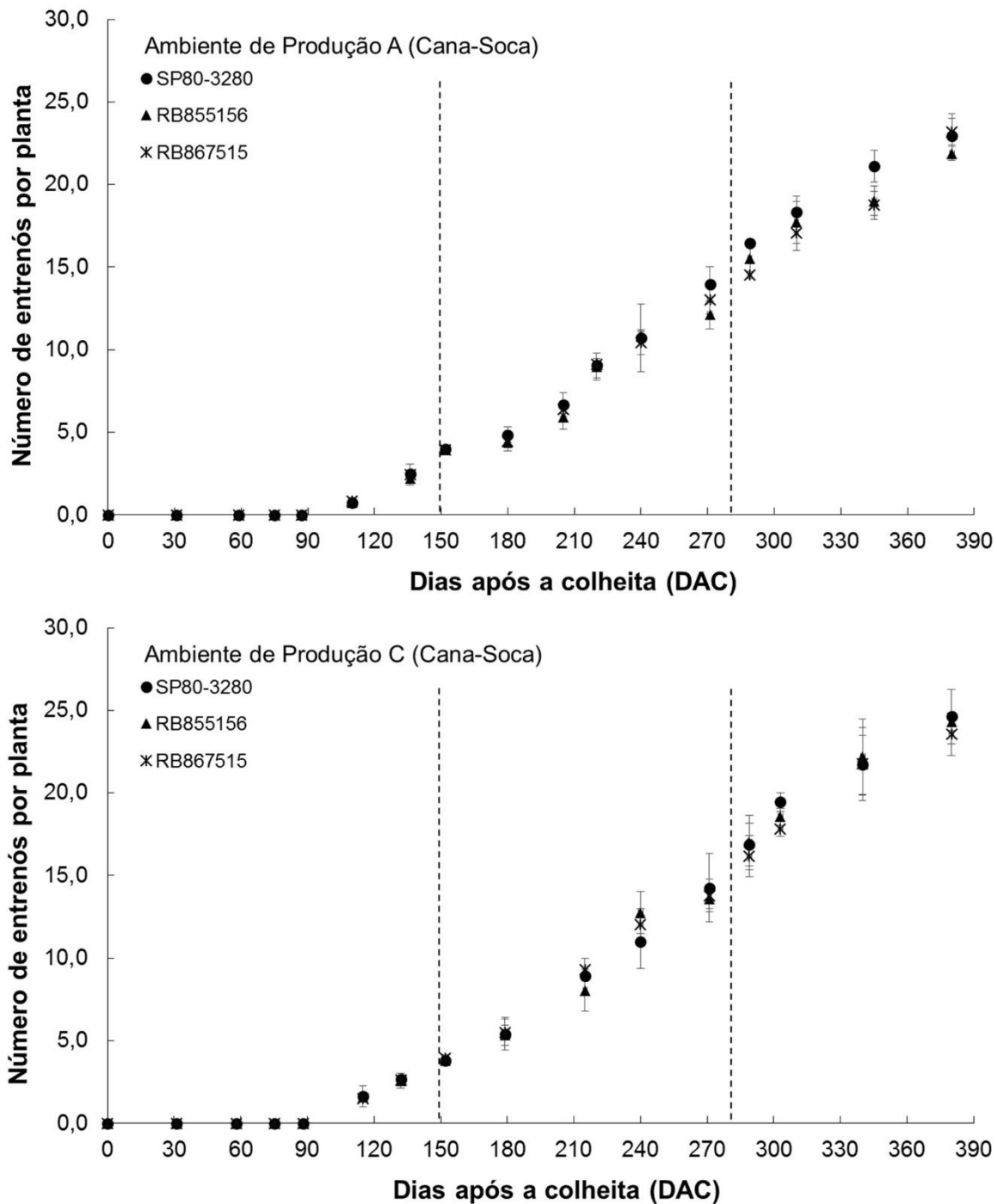


Figura 23 - Número de folhas verdes por planta de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-soca nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De maio de 2015 a maio de 2016. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após a colheita).

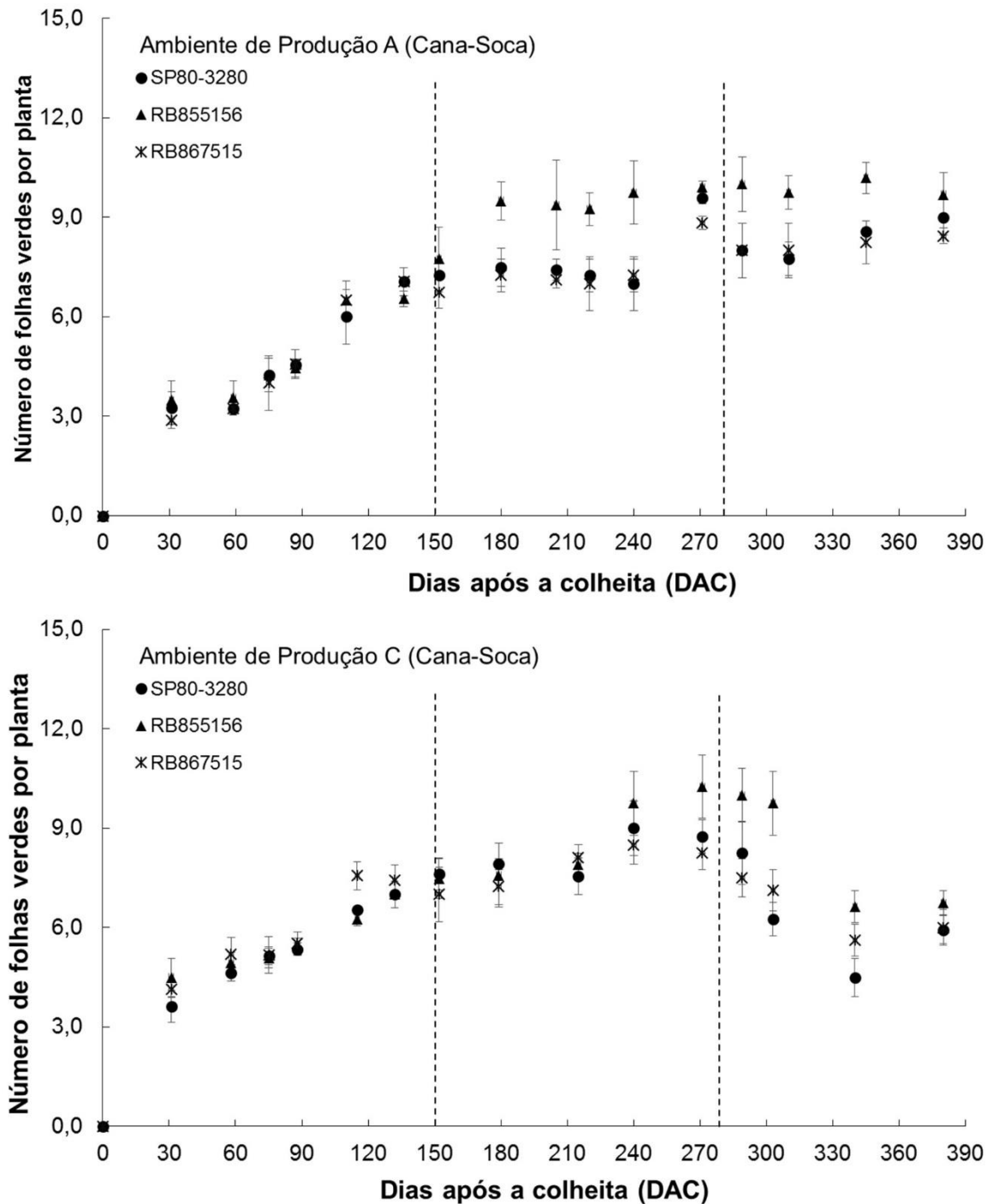


Figura 24 - Comprimento da folha +1 (m) de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-soca nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De maio de 2015 a maio de 2016. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após a colheita).

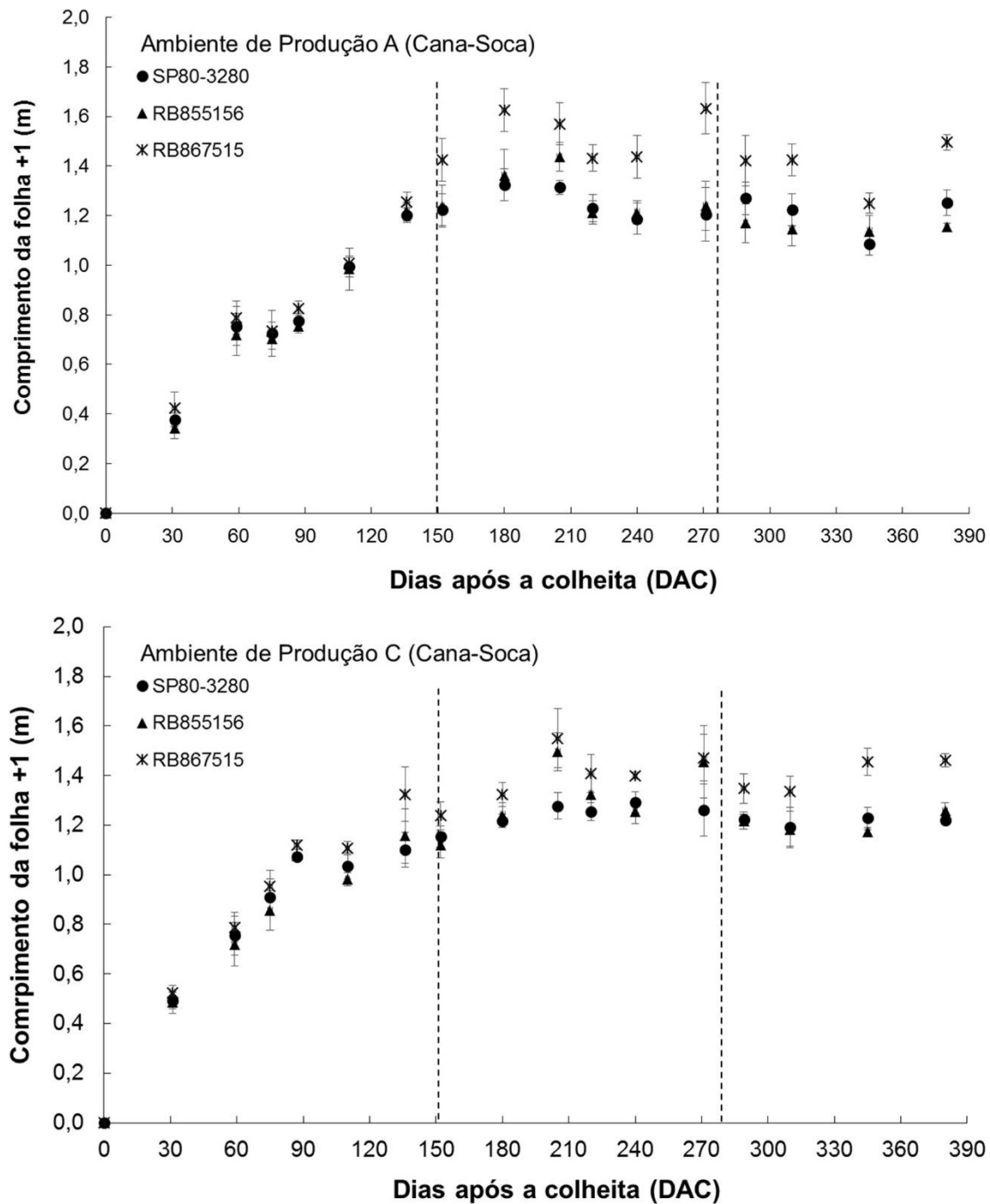


Figura 25 - Largura da folha +1 (mm) de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-soca nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De maio de 2015 a maio de 2016. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após a colheita).

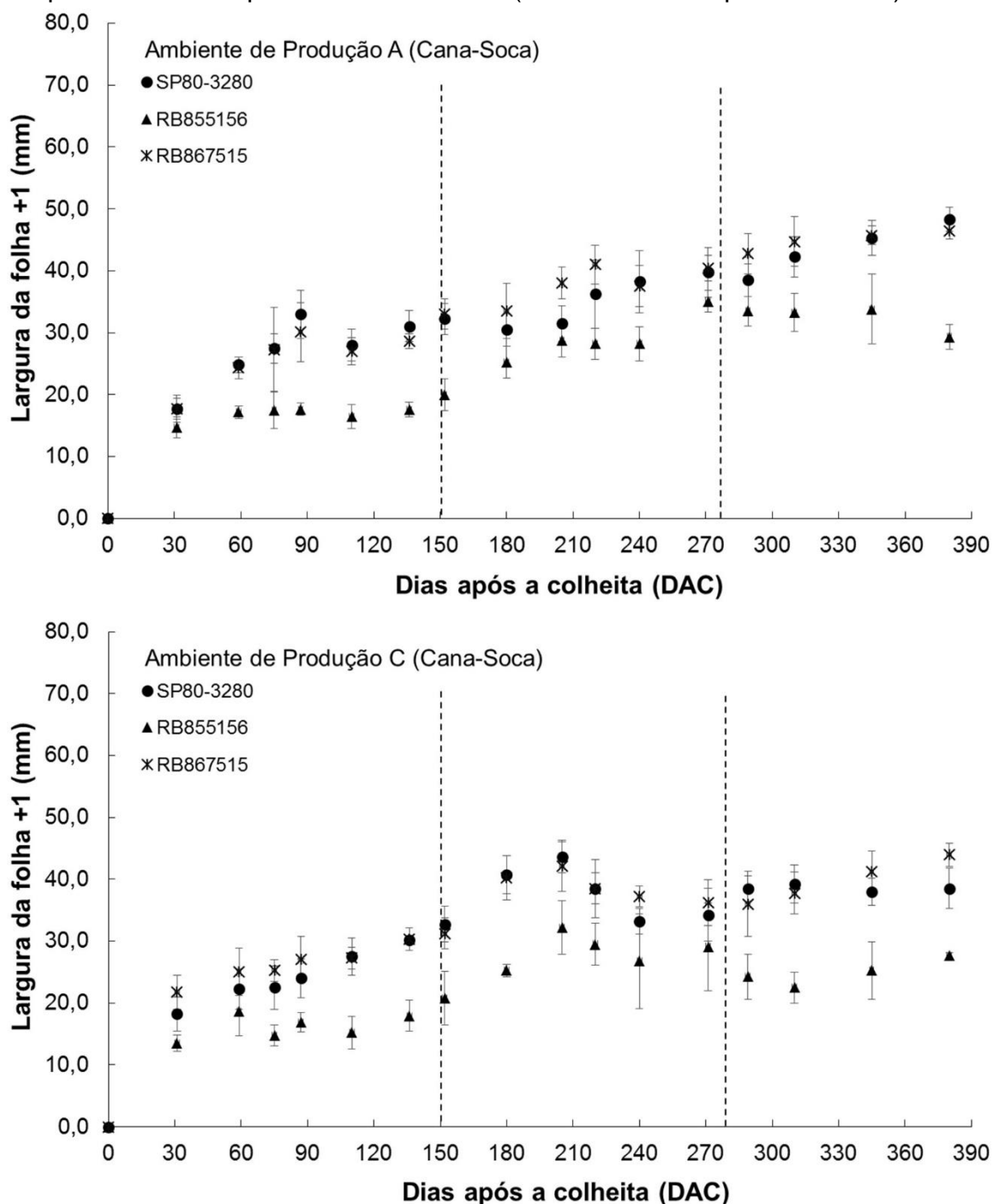
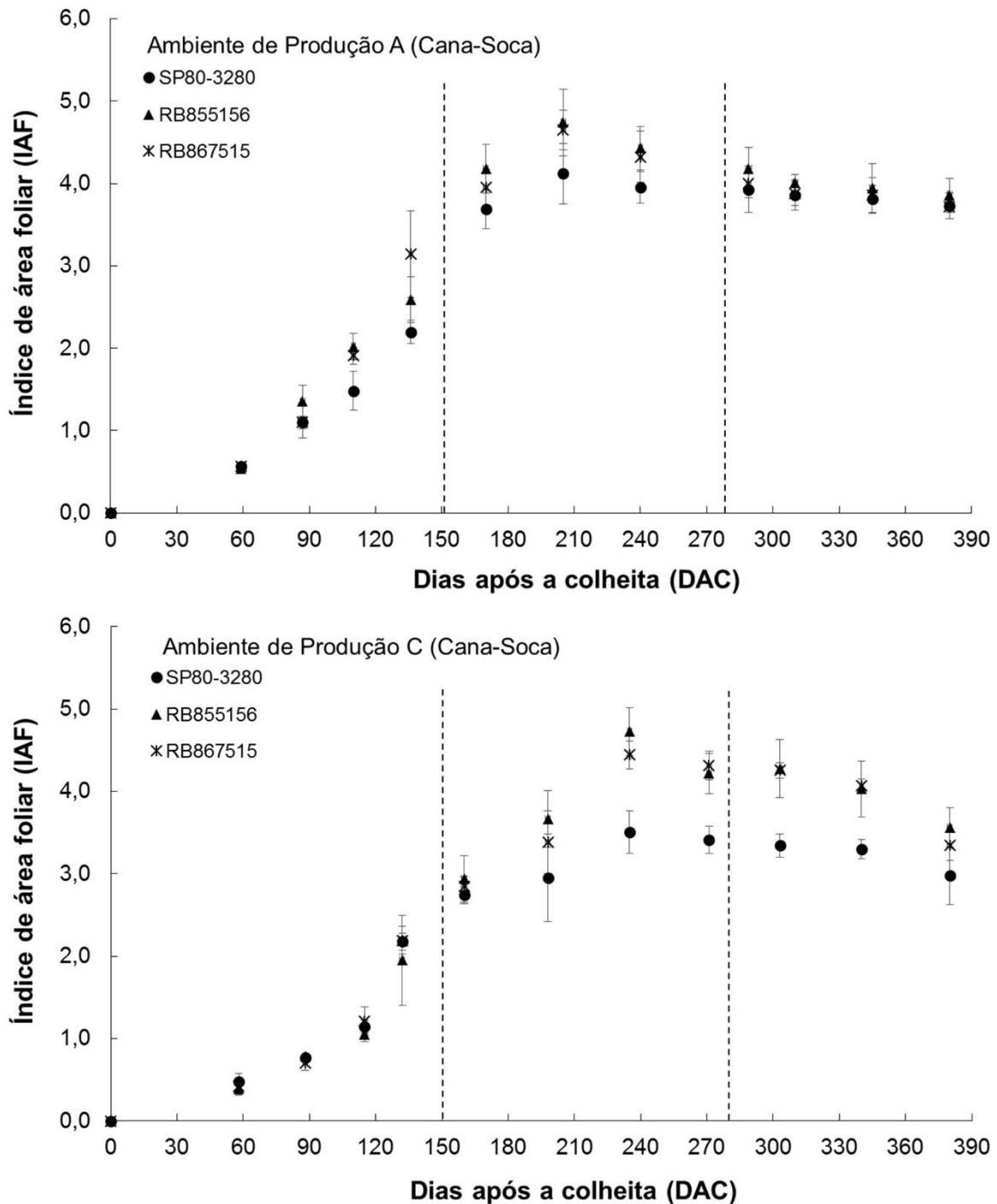


Figura 26 - Índice de área foliar (IAF) de três cultivares de cana-de-açúcar no ciclo de cana-soca nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP). De maio de 2015 a maio de 2016. As linhas tracejadas representam as épocas de coleta parciais de biomassa (150 e 285 dias após a colheita).



4.2 Produtividade de colmos, açúcar e biomassa

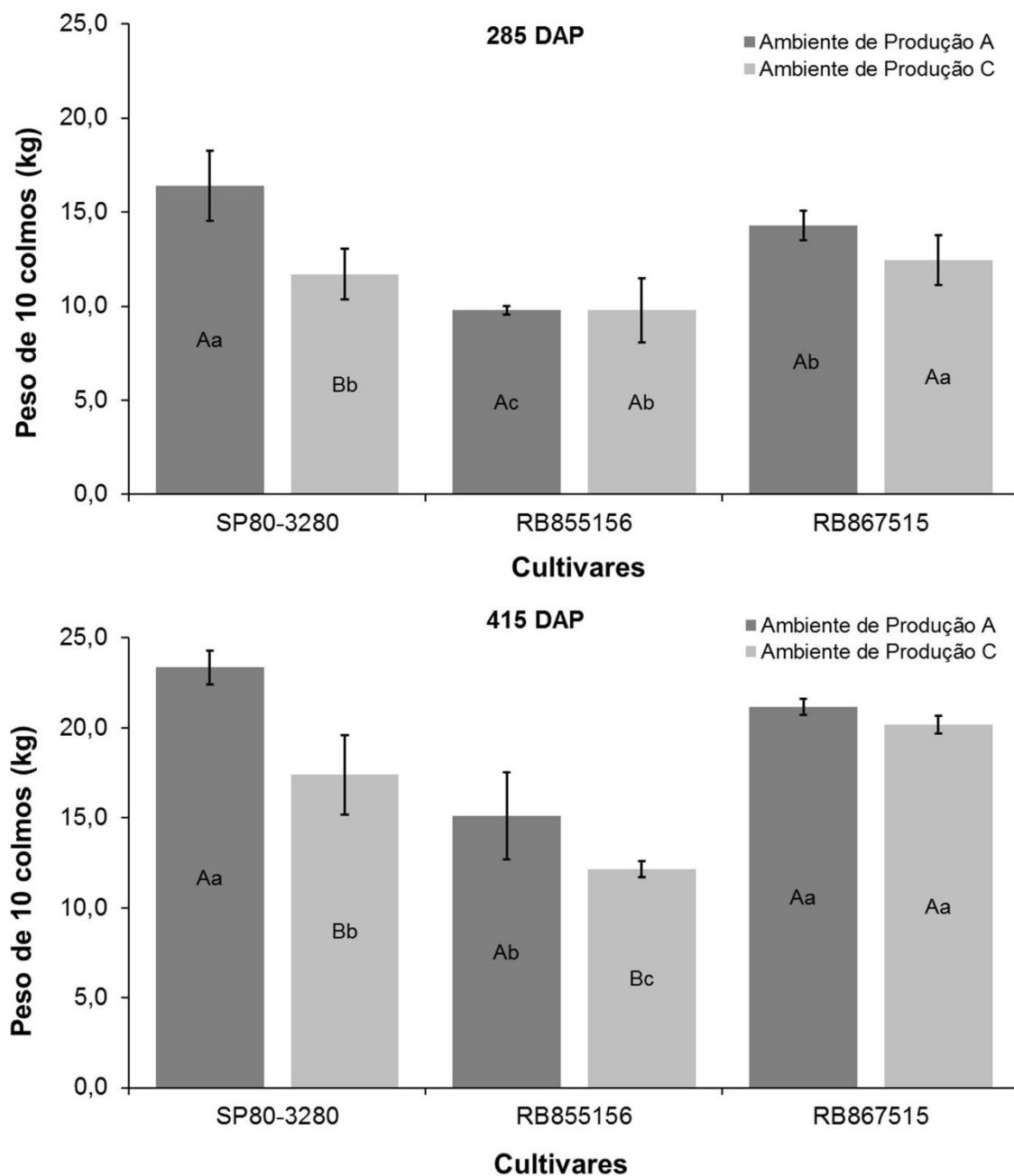
4.2.1 Cana-planta

Houve efeito do ambiente de produção e das cultivares no peso de 10 colmos aos 285 e 415 DAP (Figura 27). Em relação ao ambiente de produção, o peso de 10 colmos da cultivar SP80-3280 foi 40% maior no ambiente de produção A aos 285 DAP. Em relação as cultivares, no ambiente de produção A, a cultivar SP80-3280 foi superior às demais cultivares (16,3 kg). No ambiente de produção C, o maior peso de 10 colmos foi observado pela cultivar RB867515 (12,4 kg). Aos 415 DAP, os pesos de 10 colmos das cultivares SP80-3280 e RB855156 foram superiores no ambiente de produção A, já os pesos de 10 colmos da cultivar RB867515 foram similares entre os ambientes de produção. No ambiente de produção A, a sequência do maior para o menor peso de colmos foi SP80-3280 (23,3 kg), RB867515 (21,1 kg) e RB855156 (15,0 kg). E no ambiente de produção C a ordem foi RB867515 (20,1 kg), SP80-3280 (17,3 kg) e RB855156 (12,1 kg).

Aos 285 DAP houve diferença na produtividade de colmos (TCH) entre os ambientes de produção (Figura 28). A cultivar SP80-3280 produziu 59,0 t ha⁻¹ de colmos a mais no ambiente de produção A, em que a produtividade média foi de 129,7 t ha⁻¹, comparada a 70,7 t ha⁻¹ no ambiente de produção C. A produtividade de colmos da cultivar RB855156 não teve diferença entre os ambientes de produção nessa época. Já na cultivar RB867515, aos 285 DAC, foi observada produtividade de colmos 20% maior no ambiente de produção C. Aos 415 DAP foi verificada produtividade de colmos maior na cultivar SP80-3280 no ambiente de produção A (184,9 t ha⁻¹). As menores produtividades de colmos foram apuradas nas cultivares SP80-3280 e RB855156 no ambiente de produção C, com produtividade média de 105,2 t ha⁻¹. A diferença na produtividade de colmos da cultivar SP80-3280 entre os ambientes de produção foi de 79,7 t ha⁻¹, em que os valores foram de 184,9 e 105,2 t ha⁻¹ nos ambientes de produção A e C, respectivamente. A produtividade de colmos da cultivar RB855156 também foi maior no ambiente de produção A, 136,6 t ha⁻¹, enquanto no ambiente de produção C foi 105,2 t ha⁻¹. Já na cultivar RB867515 não houve variação da produtividade de

colmos entre os ambientes de produção, sendo verificado valor médio de 152,1 t ha⁻¹ nos dois ambientes de produção.

Figura 27 - Peso de 10 colmos frescos (kg) de três cultivares de cana-de-açúcar em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) na cana-planta aos 285 e 415 dias após o plantio (DAP). Letras maiúsculas comparam ambientes de produção; letras minúsculas comparam cultivares; Teste de Tukey $p < 0,05$.



A produtividade de açúcar por hectare (*TAH*) seguiu a mesma tendência da produtividade de colmos (Figura 29). A cultivar SP80-3280 teve produtividade de açúcar superior às demais cultivares no ambiente de produção A. Já no ambiente de produção C, a maior produtividade de açúcar foi observada na cultivar RB867515. Em relação a diferença entre os ambientes de produção, as produtividades de açúcar das cultivares SP80-3280 e RB855156 foram maiores no ambiente de produção A, e em relação a cultivar RB867515, as produtividades de açúcar foram similares entre os ambientes de produção.

Figura 28 - Produtividade de colmos por hectare ($t \text{ colmos ha}^{-1}$, TCH) de três cultivares de cana-de-açúcar em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) na cana-planta aos 285 e 415 dias após o plantio (DAP). Letras maiúsculas comparam ambientes de produção; letras minúsculas comparam cultivares; Teste de Tukey $p < 0,05$.

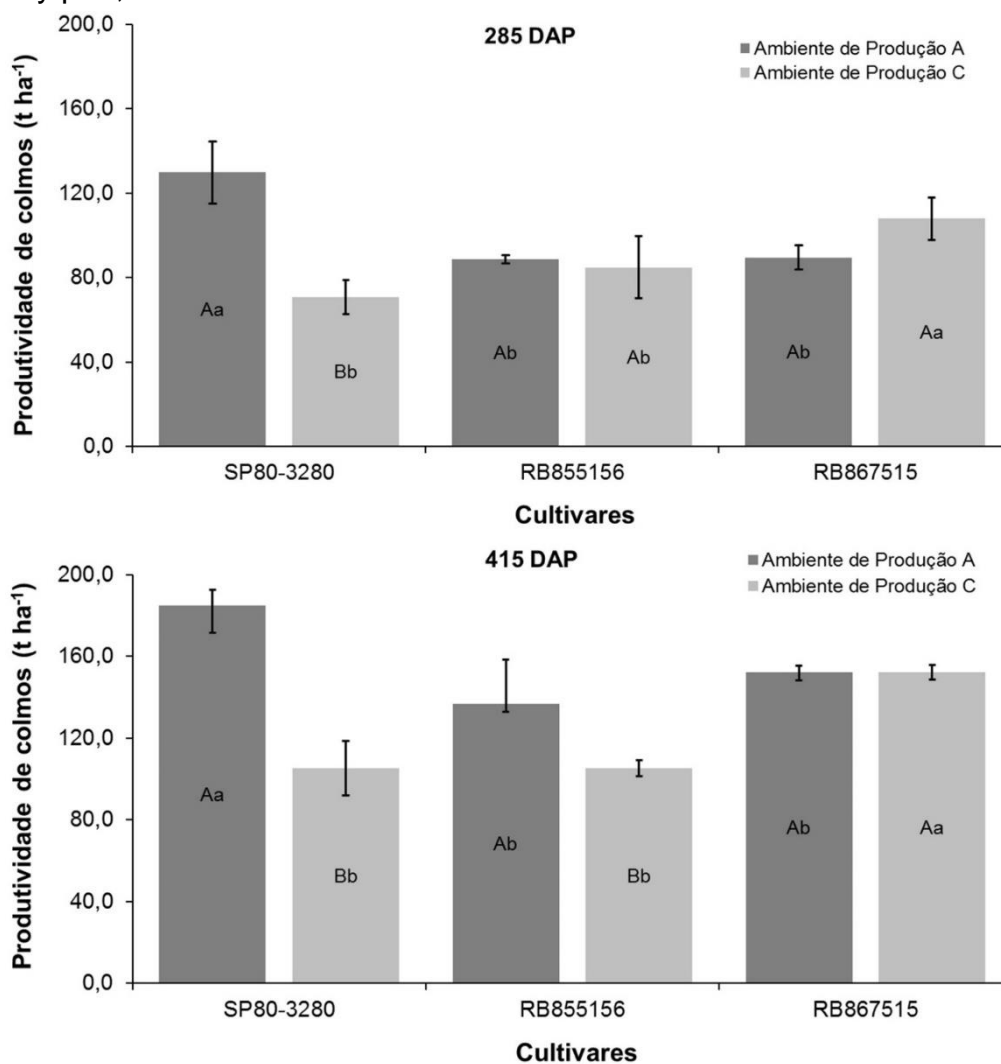
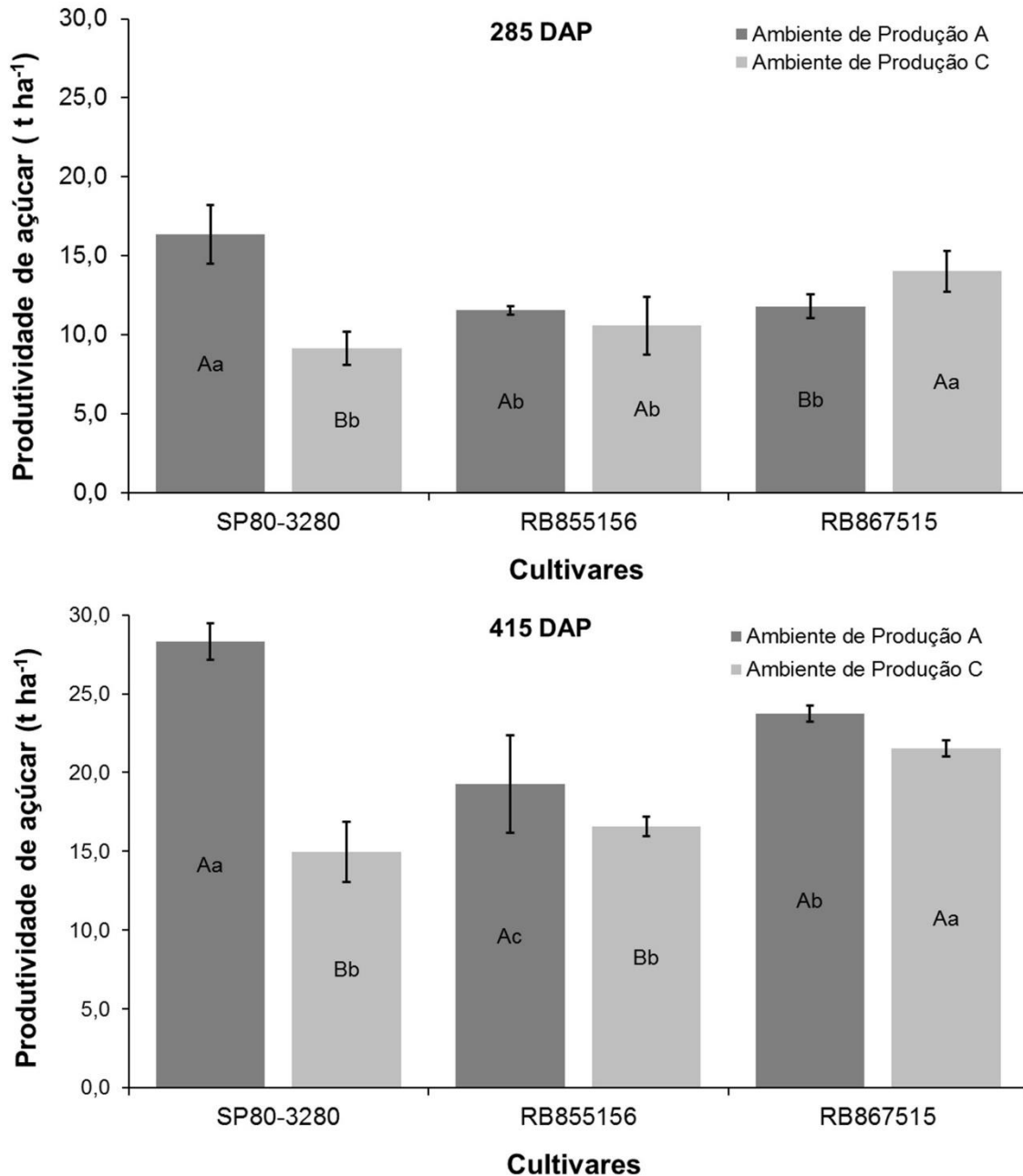


Figura 29. Produtividade de açúcar por hectare (t colmos ha⁻¹, TAH) de três cultivares de cana-de-açúcar em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) na cana-planta aos 285 e 415 dias após o plantio (DAP). Letras maiúsculas comparam ambientes de produção; letras minúsculas comparam cultivares; Teste de Tukey p<0,05.



Houve efeitos significativos do ambiente de produção e das cultivares sobre a produtividade de massa seca das plantas (Tabela 7). Aos 150 DAP, a produtividade de massa seca da parte aérea (MS_{PA}) das três cultivares foi maior no ambiente de produção C do que no ambiente de produção A, sendo que as produtividades foram 110, 201 e 407% maiores nas cultivares SP80-3280, RB855156 e RB867515. No ambiente de produção A, a maior produtividade de MS_{PA} foi obtida pela cultivar SP80-3280 (2,4 t ha⁻¹). No ambiente de produção C, a maior produtividade foi obtida pela cultivar RB867515 (8,5 t ha⁻¹).

Aos 285 DAP não houve diferença na MS_{PA} entre os ambientes de produção, ocorrendo apenas diferenças entre as cultivares. No ambiente de produção A, a cultivar SP80-3280 teve produtividade de MS_{PA} superior às demais cultivares, já no ambiente de produção C, a maior MS_{PA} foi alcançada pela cultivar RB867515. Assim como aos 285 DAP, aos 415 DAP não houve diferença na MS_{PA} entre os ambientes de produção, a produtividade média geral foi de 72,9 t ha⁻¹. No ambiente de produção A não houve diferença entre as cultivares. A MS_{PA} foi de 83,33, 71,2 e 76,0 t ha⁻¹ nas cultivares SP80-3280, RB855156 e RB867515, respectivamente. Já no ambiente de produção C, a maior MS_{PA} foi observada na cultivar RB867515 (81,1 t ha⁻¹), seguida pelas cultivares RB855156 (63,9 t ha⁻¹) e SP80-3280 (62,2 t ha⁻¹).

Tabela 7 - Biomassa ($t\ ha^{-1}$) de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) aos 150, 285 e 415 dias após o plantio (DAP). Cana-Planta: março de 2014 a maio de 2015.

| Partes da Planta | Ambiente A | | | Ambiente C | | |
|------------------------|------------|----------|-----------|------------|----------|-----------|
| | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 |
| 150 DAP | | | | | | |
| <i>MS_P</i> | - | - | - | - | - | - |
| <i>MS_B</i> | 1,03 Ba | 0,43 Ba | 0,77 Ba | 2,01 Ab | 1,30 Ab | 2,99 Aa |
| <i>MS_F</i> | 1,39 Ba | 0,73 Ba | 0,92 Ba | 2,81 Ab | 2,15 Ab | 5,03 Aa |
| <i>MS_C</i> | 0,00 Ba | 0,00 Ba | 0,00 Ba | 0,28 Ab | 0,04 Ac | 0,56 Aa |
| <i>MS_{PA}</i> | 2,42 Ba | 1,16 Ba | 1,69 Ba | 5,10 Ab | 3,50 Ab | 8,59 Aa |
| 285 DAP | | | | | | |
| <i>MS_P</i> | 0,58 Ba | 0,14 Ab | 0,22 Bb | 1,31 Ab | 0,27 Ac | 1,65 Aa |
| <i>MS_B</i> | 3,03 Ab | 4,51 Ba | 5,09 Aa | 5,01 Aa | 5,65 Aa | 5,20 Aa |
| <i>MS_F</i> | 4,90 Bb | 8,32 Aa | 8,98 Aa | 6,67 Ab | 7,35 Aab | 8,30 Aa |
| <i>MS_C</i> | 42,83 Aa | 27,46 Ab | 28,62 Bb | 23,36 Bb | 26,30 Ab | 34,55 Aa |
| <i>MS_{PA}</i> | 51,35 Aa | 40,43 Ab | 42,92 Bb | 36,37 Bb | 39,58 Ab | 49,70 Aa |
| 415 DAP | | | | | | |
| <i>MS_P</i> | 0,58 Ba | 0,14 Ab | 0,22 Bb | 1,31 Ab | 0,27 Ac | 1,65 Aa |
| <i>MS_B</i> | 8,03 Bb | 10,95 Aa | 9,73 Aab | 9,93 Aa | 11,08 Aa | 11,33 Aa |
| <i>MS_F</i> | 13,67 Bb | 17,67 Aa | 17,41 Aa | 16,31 Ab | 20,07 Aa | 19,43 Aab |
| <i>MS_C</i> | 61,04 Aa | 42,37 Ac | 48,66 Ab | 34,71 Ab | 32,61 Bb | 48,71 Aa |
| <i>MS_{PA}</i> | 83,33 Aa | 71,27 Ab | 76,04 Aab | 62,28 Bb | 63,91 Bb | 81,14 Aa |

MS_P, Massa seca de perfilhos; *MS_B*, Massa seca de bainha; *MS_F*, Massa seca de folha; *MS_C*, Massa seca de colmo; *MS_{PA}*, Massa seca da parte aérea. Letras maiúsculas comparam os ambientes de produção; Letras minúsculas comparam as cultivares (Teste de Tukey $p < 0,05$).

Em relação ao particionamento da biomassa (Figura 30), no ambiente de produção A aos 150 DAP, como as plantas estavam iniciando a formação dos entrenós, aproximadamente 58,8% era massa seca de folha (MS_F), e o restante, massa seca de bainha (MS_B). Já no ambiente de produção C, nas cultivares SP80-3280 e RB867515, 5 a 6% da MS_{PA} era de massa seca de colmo (MS_C). Aos 415 DAP, de modo geral, a MS_C representava 60% da MS_{PA} , a MS_F 24,2%, a MS_B 17,1 e a MS_P 1,0%. No ambiente de produção A, a MS_C da cultivar SP80-3280 representou 73,3% da MS_{PA} , enquanto que a MS_C das cultivares RB855156 e RB867515 foi de 59,2 e 64,0%, respectivamente. No ambiente de produção C, a MS_C foi de 60,0, 55,6 e 51,1% da MS_{PA} nas cultivares RB867515, SP80-3280 e RB855156, respectivamente.

Com respeito a $MS_F + MS_B / MS_C$ aos 285 DAP, a relação ficou próxima de 2,1, com exceção da cultivar SP80-3280 no ambiente de produção A, que teve relação de 5,4 (Figura 31). No entanto, aos 415 DAP, essa diferença caiu. No ambiente de produção A, a relação $MS_F + MS_B / MS_C$, foi de 2,8, 1,5 e 1,8 nas cultivares SP80-3280, RB855156 e RB867515, respectivamente. Já no ambiente de produção C, os valores da relação foram de 1,3, 1,0 e 1,6, respectivamente, para as cultivares SP80-3280, RB855156 e RB867515.

Figura 30. Particionamento (%) da massa seca de três cultivares de cana-de-açúcar em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) na cana-planta aos 150, 285 e 415 dias após o plantio (DAP).

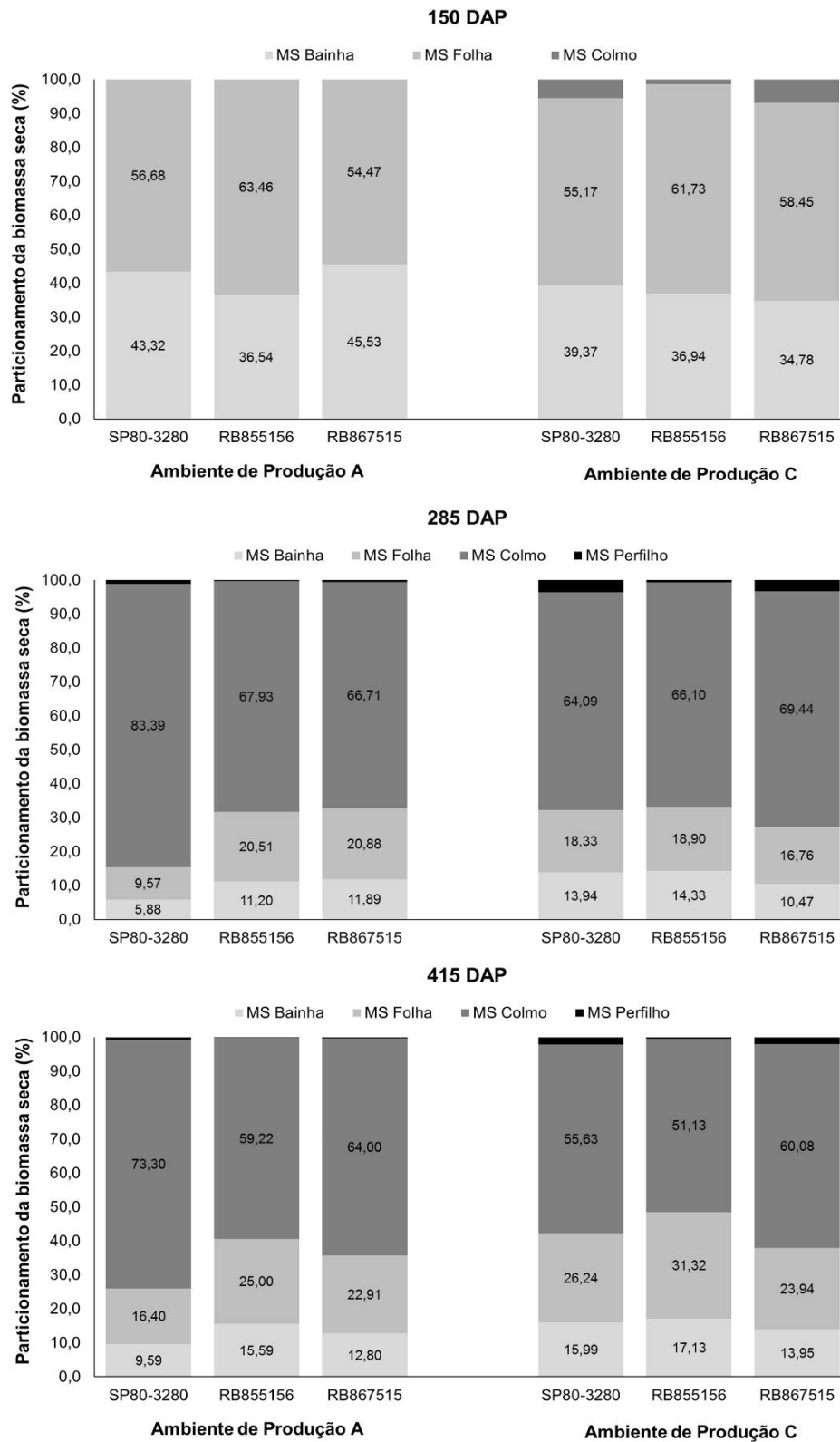
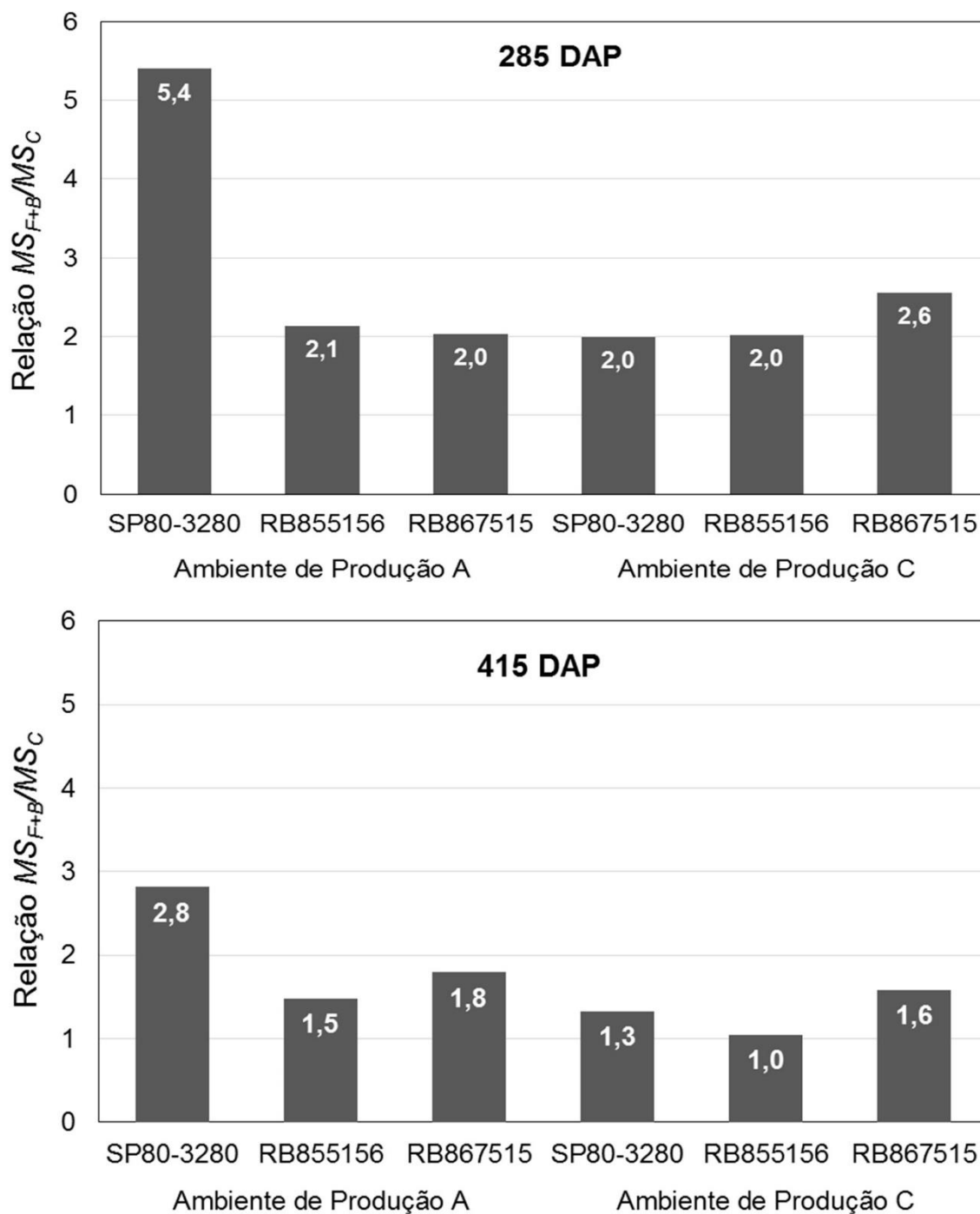


Figura 31 - Relação massa seca foliar (MS_F) + massa seca de bainha (MS_B) / massa seca de colmo (MS_C) de três cultivares de cana-de-açúcar em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) na cana-planta aos 285 e 415 dias após o plantio DAP).



4.2.2 Cana-Soca

Houve efeito do ambiente de produção e das cultivares no peso de 10 colmos aos 280 e 380 dias após a colheita (DAC) no segundo ciclo de cultivo (Figura 32). Aos 280 DAC, no ambiente de produção A, os maiores valores foram alcançados pelas cultivares SP80-3280 (12,9 kg) e RB867515 (11,8 kg), sendo superiores à cultivar RB855156 (9,1 kg). No ambiente de produção C, o maior peso de 10 colmos foi constatado na cultivar RB867515 (10,42 kg), seguida pelas cultivares SP80-3280 (8,18 kg) e RB855156 (5,92 kg). As três cultivares estudadas no trabalho tiveram maior peso de 10 colmos no ambiente de produção A aos 280 DAC. Já aos 380 DAC, os pesos de 10 colmos das cultivares SP80-3280 e RB867515 foram superiores no ambiente de produção A, e para o peso de 10 colmos da cultivar RB855156 não foi verificada diferença entre os ambientes de produção. No ambiente de produção A, as cultivares SP80-3280 e RB867515 tiveram pesos de 10 colmos superiores ao da cultivar RB855156. No ambiente de produção C, o maior peso de 10 colmos foi observado na cultivar RB867515 (15,4 kg), seguido pelas cultivares SP80-3280 (11,7 kg) e RB855156 (9,8 kg). O peso médio de 10 colmos das três cultivares foi de 15,5 e 12,3 kg nos ambientes de produção A e C, respectivamente.

Em relação à produtividade de colmos (TCH), aos 280 DAC as médias das três cultivares foram de 92,6 e 64,3 t ha⁻¹ nos ambientes de produção A e C, respectivamente (Figura 33). Nessa época, as produtividades de todas as cultivares foram maiores no ambiente de produção A. Em relação às cultivares, no ambiente de produção A, a maior produtividade de colmos foi alcançada pela cultivar SP80-3280 (107,1 t ha⁻¹), sendo superior às cultivares RB867515 (89,2 t ha⁻¹) e RB855156 (59,6 t ha⁻¹). No ambiente de produção C, a maior produtividade de colmos foi constatada na RB867515 (75,4 t ha⁻¹), sendo superior às cultivares RB855156 (59,6 t ha⁻¹) e SP80-3280 (58,0 t ha⁻¹). Aos 380 DAC, as cultivares SP80-3280 e RB867515 tiveram maior produtividade de colmos no ambiente de produção A. No ambiente de produção A, as maiores produtividades de colmos foram das cultivares SP80-3280 (147,0 t ha⁻¹) e RB867515 (133,5 t ha⁻¹), sendo superiores a cultivar RB855156 (99,0 t ha⁻¹). No ambiente de produção C, as maiores produtividades de colmos foram apuradas na seguinte sequência decrescente: RB867515 (111,5 t ha⁻¹

¹⁾, RB855156 (99,4 t ha⁻¹) e SP80-3280 (83,5 t ha⁻¹). As produtividades médias foram de 126,5 e 98,1 t ha⁻¹ nos ambientes de produção A e C, respectivamente.

Figura 32 - Peso de 10 colmos frescos (kg) de três cultivares de cana-de-açúcar na cana-soca nos ambientes de produção A (Prado Ferreira-PR) e C (Presidente Bernardes-SP) aos 280 e 380 dias após a colheita (DAC). Letras maiúsculas comparam ambientes de produção; letras minúsculas comparam cultivares; Teste de Tukey p<0,05.

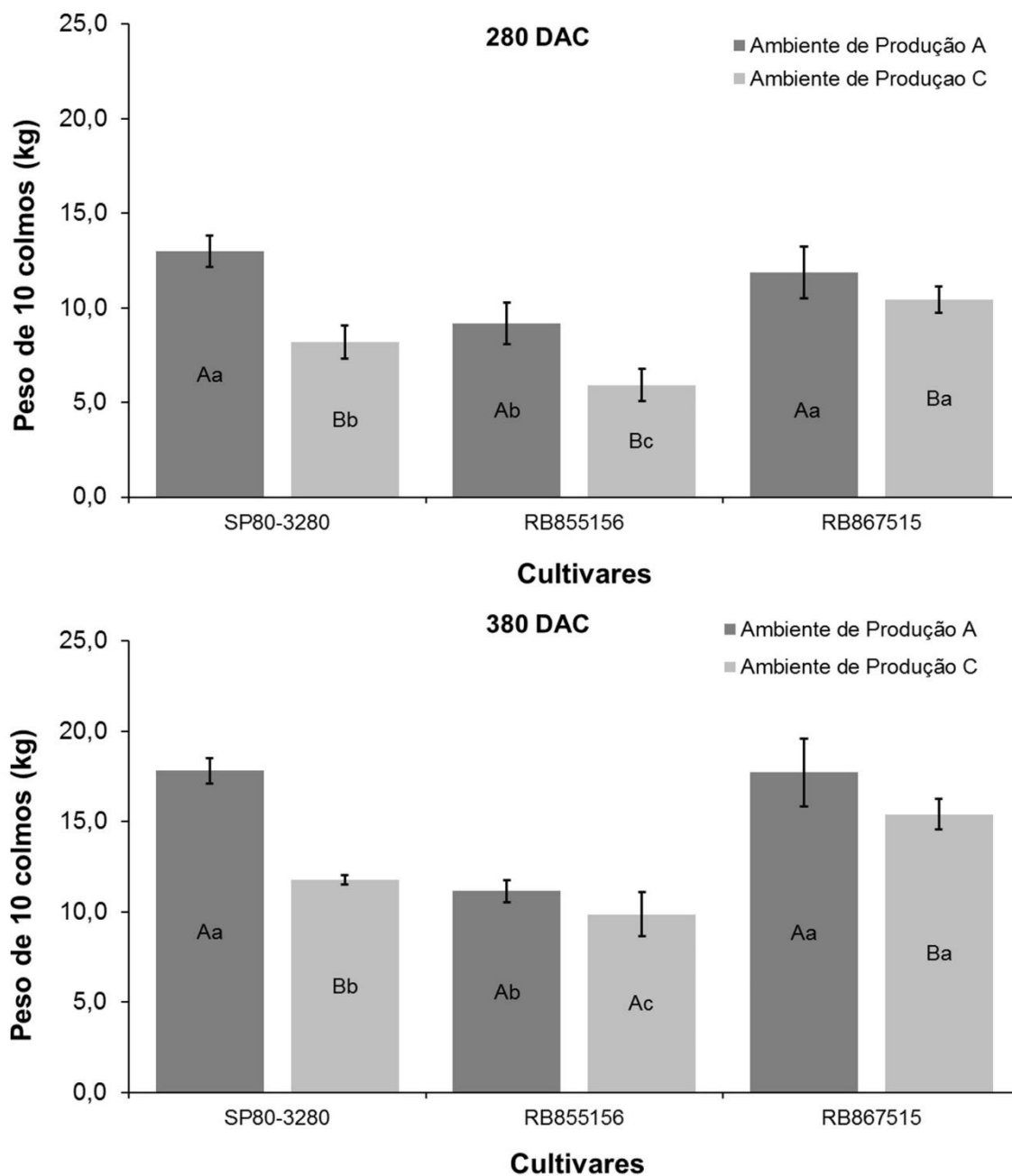
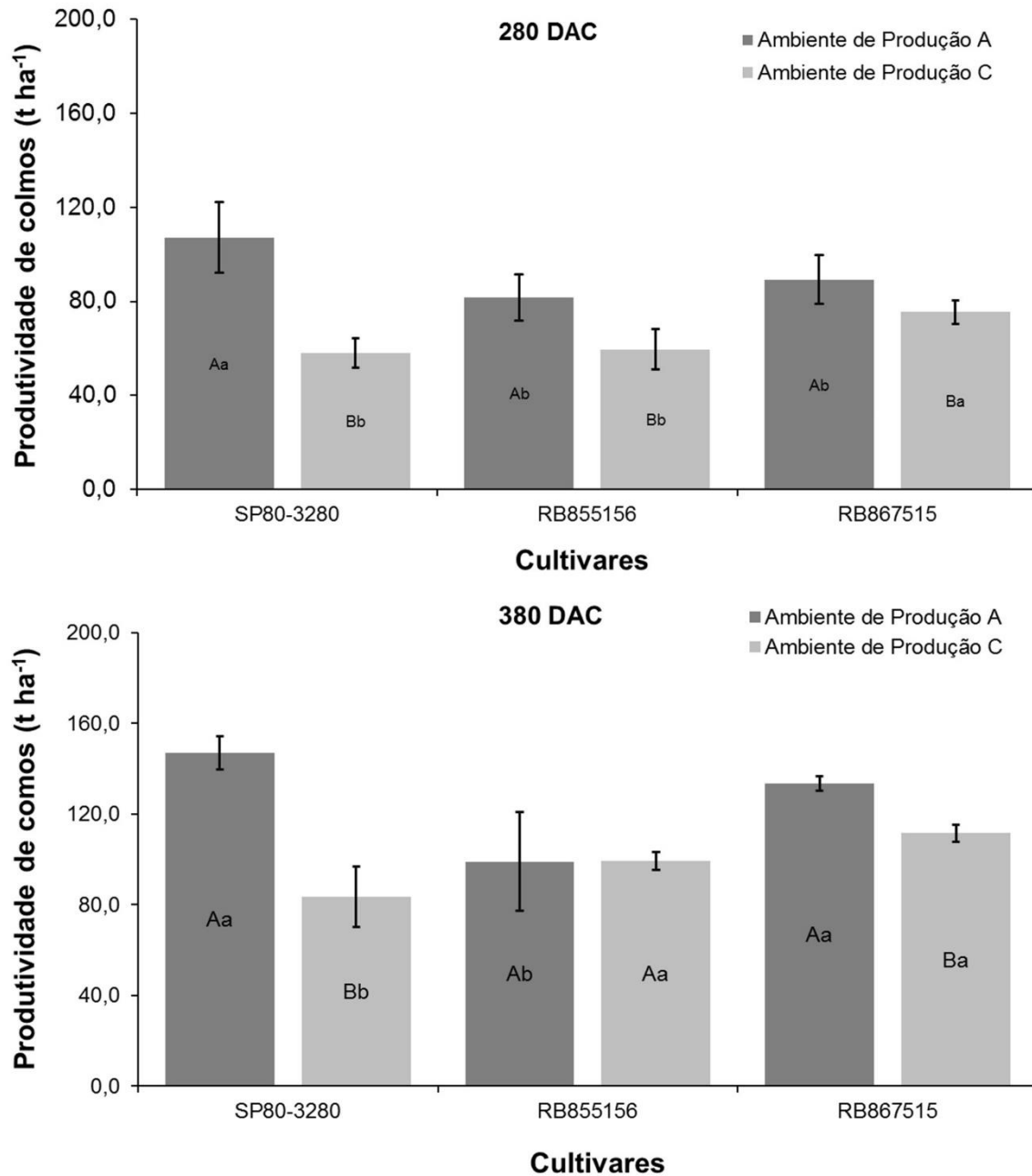


Figura 33 - Produtividade de colmos por hectare ($t \text{ colmos ha}^{-1}$, TCH) de três cultivares de cana-de-açúcar em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) na cana-soca aos 280 e 380 dias após a colheita (DAC). Letras maiúsculas comparam ambientes de produção; letras minúsculas comparam cultivares; Teste de Tukey $p < 0,05$.



A produtividade de açúcar (TAH) foi influenciada pelo ambiente de produção e pelas cultivares (Figura 34). Aos 280 DAC, as cultivares SP80-3280 e RB855156 tiveram maior produtividade de açúcar no ambiente de produção A,

enquanto não foi observada diferença na produtividade de açúcar da cultivar RB867515 entre os ambientes. No ambiente de produção A, a maior produtividade de açúcar foi constatada na cultivar SP80-3280; já no ambiente de produção C, nas cultivares RB867515 e RB855156. Aos 380 DAC as maiores produtividades de açúcar foram observadas nas cultivares SP80-3280 e RB867515 no ambiente de produção A, não havendo diferença entre os ambientes de produção na cultivar RB855156. No ambiente de produção A, houve diferença significativa entre as três cultivares, em que a produtividade de açúcar seguiu a seguinte ordem decrescente: SP80-3280 (21,8 t ha⁻¹), RB867515 (17,3 t ha⁻¹) e RB855156 (14,3 t ha⁻¹). No ambiente de produção C, as produtividades de açúcar das cultivares RB867515 (14,8 t ha⁻¹) e RB855156 (13,3 t ha⁻¹) foram superiores à cultivar SP80-3280 (11,2 t ha⁻¹).

A produtividade média da massa seca da parte aérea (MS_{PA}) das cultivares e dos ambientes de produção aos 150 DAC foi de 7,9 t ha⁻¹, sendo que em relação aos ambientes de produção houve diferença somente na cultivar SP80-3280, que teve maior MS_{PA} no ambiente de produção A (Tabela 8). Dentro de cada ambiente de produção, foi observado maior MS_{PA} da cultivar SP80-3280 e menor da RB855156 no ambiente de produção A. Não houve diferença no ambiente de produção C. Aos 280 DAP, os resultados continuaram similares, quando a cultivar SP80-3280 teve maior MS_{PA} no ambiente de produção A e também foi a cultivar com maior MS_{PA} no ambiente de produção A. Aos 380 DAC, as MS_{PA} das cultivares SP80-3280 e RB867515 foram maiores no ambiente de produção A, não tendo diferença entre ambientes na cultivar RB855156. No ambiente de produção A, as maiores MS_{PA} foram das cultivares SP80-3280 (63,2 t ha⁻¹) e RB867515 (58,4 t ha⁻¹), sendo essas cultivares superiores à RB855156 (43,9 t ha⁻¹). No ambiente de produção C, a maior MS_{PA} foi verificada na cultivar RB867515 (51,5 t ha⁻¹), sendo essa cultivar superior às cultivares RB855156 (44,7 t ha⁻¹) e SP80-3280 (39,4 t ha⁻¹).

Aos 150 DAC, a MS_C , na média geral, representava 47,0% da MS_{PA} , e a massa seca de folha (MS_F) e massa seca de bainha (MS_B) representavam 31,3 e 21,7%, respectivamente (Figura 35). Aos 280 DAC, a MS_C representava 75,7% da MS_{PA} no ambiente de produção A e 67,0% no ambiente de produção C. Aos 380 DAC, a MS_{PA} era composta de 67,3 e 66,2% da MS_C nos ambientes de produção

A e C, respectivamente. Sendo que no ambiente de produção A, as porcentagens da MS_F e da MS_B foram de 20,9 e 9,6%, respectivamente. Já no ambiente de produção A, a MS_F e a MS_B representavam 20,4 e 11,2% da MS_{PA} , respectivamente. A massa seca de perfilho (MS_P) representou, aproximadamente, 2,0% da MS_{PA} .

Figura 34 - Produtividade de açúcar por hectare ($t\ colmos\ ha^{-1}$, TAH) de três cultivares de cana-de-açúcar em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) na cana-soca aos 280 e 380 dias após a colheita (DAC). Letras maiúsculas comparam ambientes de produção; letras minúsculas comparam cultivares; Teste de Tukey $p < 0,05$.

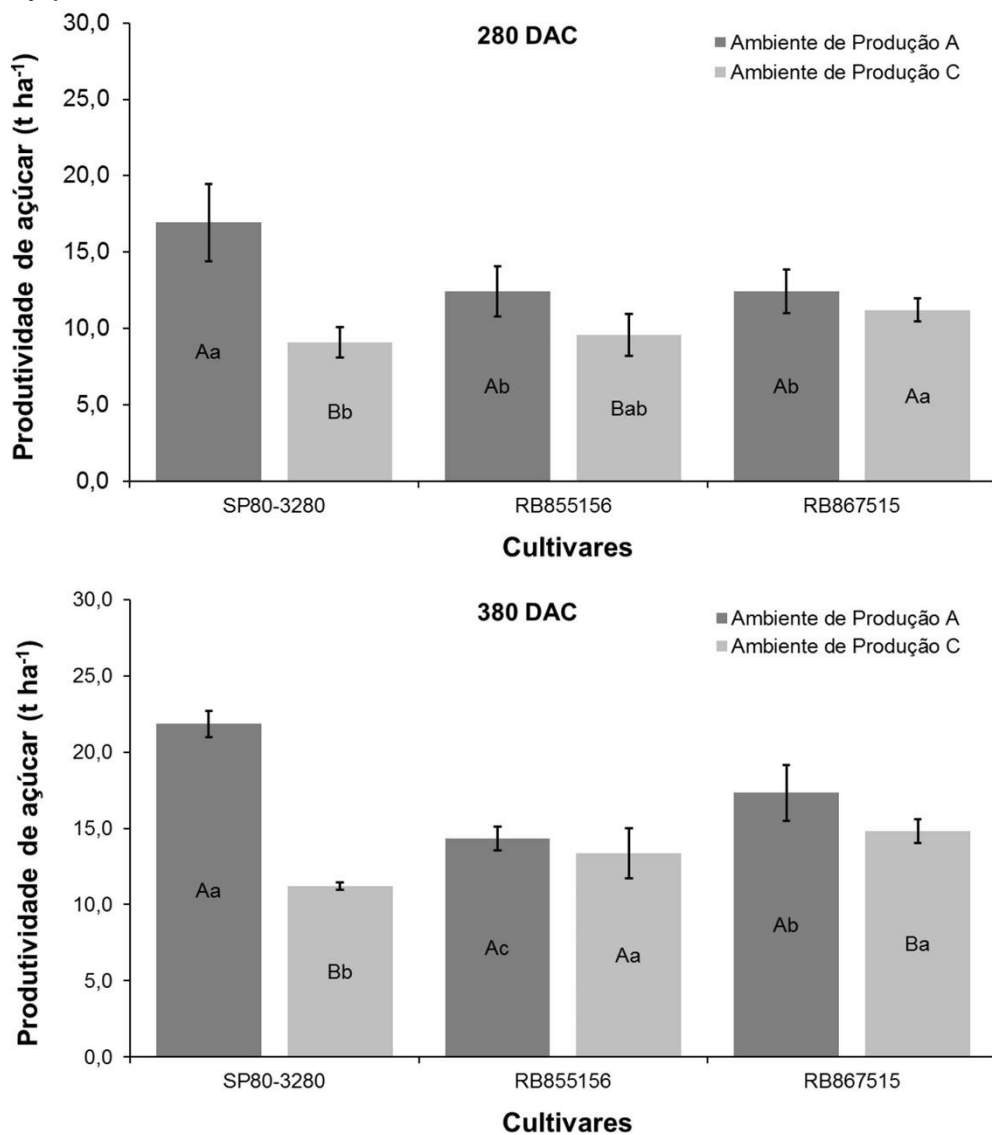
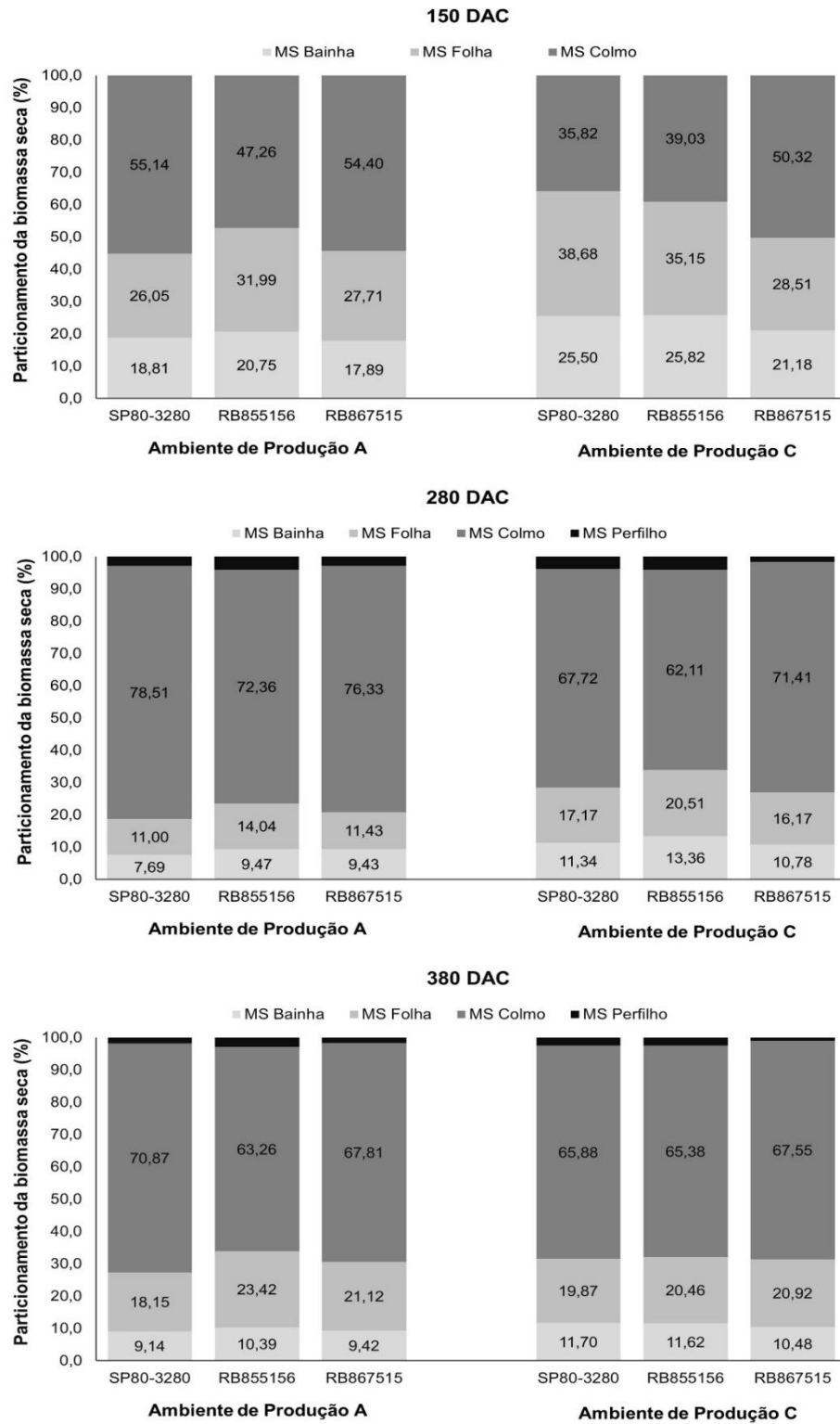


Tabela 8 - Biomassa ($t\ ha^{-1}$) de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) aos 150, 280 e 380 dias após a colheita (DAC). Cana-Soca: maio de 2015 a maio 2016.

| Partes da Planta | Ambiente A | | | Ambiente C | | |
|------------------------|------------|----------|----------|------------|-----------|----------|
| | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 |
| 150 DAP | | | | | | |
| <i>MS_P</i> | - | - | - | - | - | - |
| <i>MS_B</i> | 1,73 Aa | 1,56 Aab | 1,48 Ab | 1,83 Aa | 2,03 Baa | 1,57 Ab |
| <i>MS_F</i> | 2,40 Ba | 2,40 Aa | 2,31 Aa | 2,78 Aa | 2,79 Ba | 2,12 Ab |
| <i>MS_C</i> | 5,09 Aa | 3,55 Ac | 4,55 Ab | 2,57 Bb | 3,09 Ba | 3,74 Ba |
| <i>MS_{PA}</i> | 9,24 Aa | 7,51 Ac | 8,35 Ab | 7,20 Ba | 7,92 Aa | 7,43 Aa |
| 280 DAP | | | | | | |
| <i>MS_P</i> | 1,21 Aa | 1,37 Aa | 0,99 Aa | 1,06 Aa | 1,19 Aa | 0,55 Bb |
| <i>MS_B</i> | 3,31 Aa | 3,16 Ba | 3,35 Aa | 3,16 Ab | 3,93 Aa | 3,62 Aab |
| <i>MS_F</i> | 4,73 Aa | 4,65 Ba | 4,17 Ba | 4,79 Aa | 6,06 Aa | 5,43 Aa |
| <i>MS_C</i> | 33,90 Aa | 24,30 Ab | 27,48 Ab | 19,04 Bb | 18,49 Bb | 24,07 Aa |
| <i>MS_{PA}</i> | 43,17 Aa | 33,49 Ab | 36,00 Ab | 28,06 Bb | 29,68 Bab | 33,68 Aa |
| 380 DAP | | | | | | |
| <i>MS_P</i> | 1,21 Aa | 1,37 Aa | 0,99 Aa | 1,06 Aa | 1,19 Aa | 0,55 Bb |
| <i>MS_B</i> | 6,03 A | 4,85 A | 5,69 A | 4,86 B | 5,46 A | 5,52 A |
| <i>MS_F</i> | 11,88 Aab | 10,94 Ab | 12,75 Aa | 8,28 Bb | 9,60 Aab | 11,00 Ba |
| <i>MS_C</i> | 46,52 Aa | 29,49 Ac | 41,10 Ab | 27,37 Bb | 30,86 Ab | 35,59 Ba |
| <i>MS_{PA}</i> | 63,22 Aa | 43,90 Ab | 58,42 Aa | 39,45 Bb | 44,73 Ab | 51,57 Ba |

MS_P, Massa seca de perfilhos; *MS_B*, Massa seca de bainha; *MS_F*, Massa seca de folha; *MS_C*, Massa seca de colmo; *MS_{PA}*, Massa seca da parte aérea. Letras maiúsculas comparam os ambientes de produção; Letras minúsculas comparam as cultivares (Teste de Tukey $p < 0,05$).

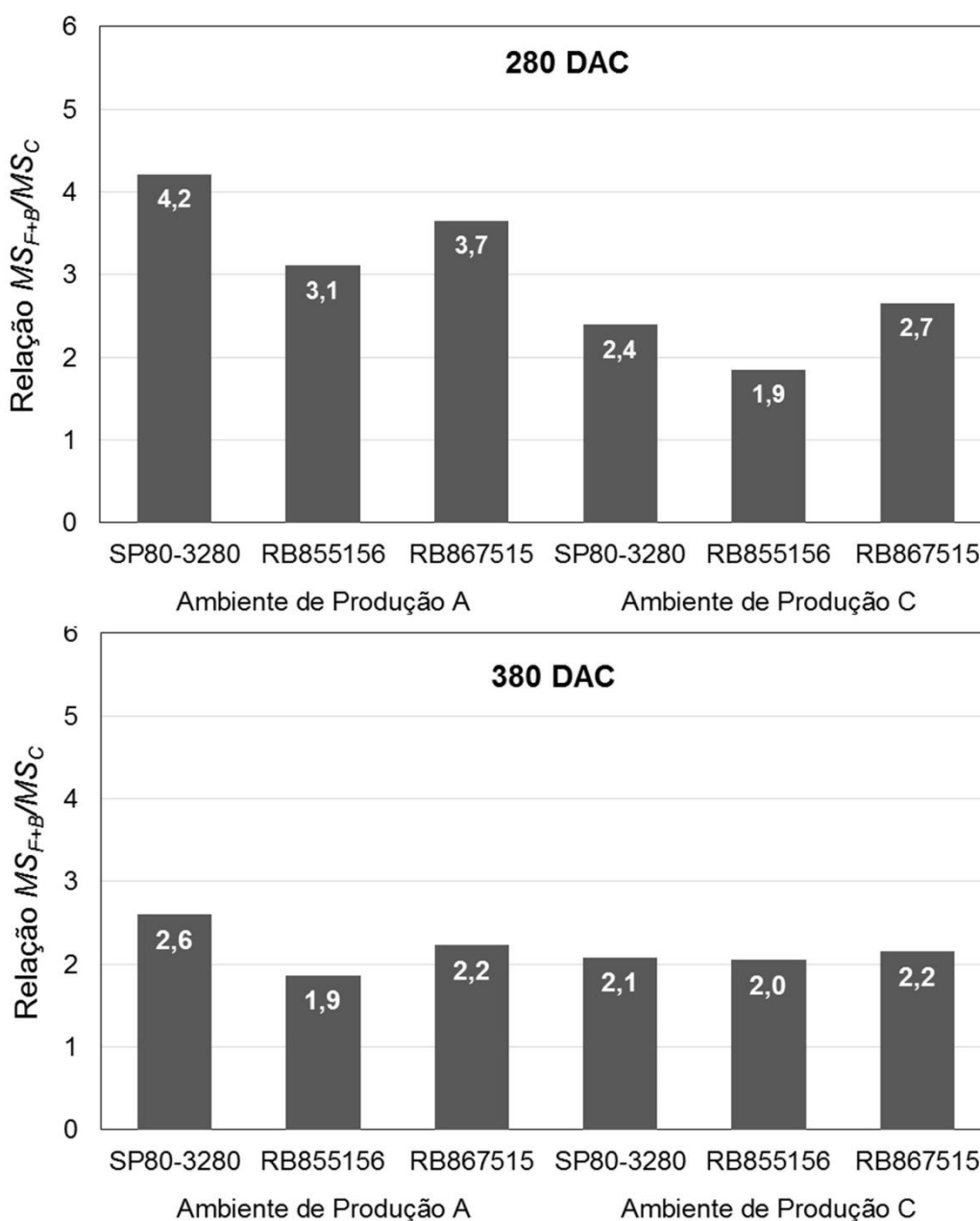
Figura 35 - Particionamento (%) da massa seca de três cultivares de cana-de-açúcar em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) na cana-soca aos 150, 280 e 380 dias após a colheita (DAC).



Com respeito à $MS_F + MS_B / MS_C$, a relação média das cultivares foi de 3,6 no ambiente de produção A aos 285 DAP, e no ambiente de produção C foi de 2,3.

Aos 380 DAC houve menor diferença na relação $MS_F + MS_B / MS_C$, em que os valores médios das cultivares foram de 2,2 e 2,1 nos ambientes de produção A e C, respectivamente (Figura 36).

Figura 36 - Relação massa seca foliar (MS_F) + massa seca de bainha (MS_B) / massa seca de colmo (MS_C) de três cultivares de cana-de-açúcar em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) na cana-soca aos 280 e 380 dias após a colheita (DAC).



4.3 Eficiência da conversão de energia solar

4.3.1 Cana-planta

A radiação total disponível no primeiro ciclo de cultivo foi de 5.715 MJ m⁻² no ambiente de produção A e de 6.033 MJ m⁻² no ambiente de produção C (Tabela 9). Em relação à interceptação da radiação solar pelas folhas da cana-de-açúcar, foi observado que a interceptação média geral dos dois ambientes de produção e das cultivares durante o primeiro ciclo de cultivo foi de 59,52%, sendo a média de 57,79% no ambiente de produção A e de 61,25% no ambiente de produção C (Figura 37). O desenvolvimento foliar das cultivares do ambiente de produção C foi mais rápido do que o do ambiente de produção A. No ambiente de produção C, a interceptação de 50% da radiação solar aconteceu aos 109 DAP, diferença de 28 dias para as cultivares do ambiente de produção A, que só alcançaram aos 137 DAP. No ambiente de produção A, a cultivar SP80-3280 alcançou 50% de interceptação da radiação aos 128 DAP, seguida as cultivares RB867515 (137 DAP) e RB855156 (146 DAP). No ambiente de produção C, a cultivar RB867515 alcançou 50% da interceptação da radiação aos 92 DAP, seguida pelas cultivares SP80-3280 (109 DAP) e RB855156 (128 DAP).

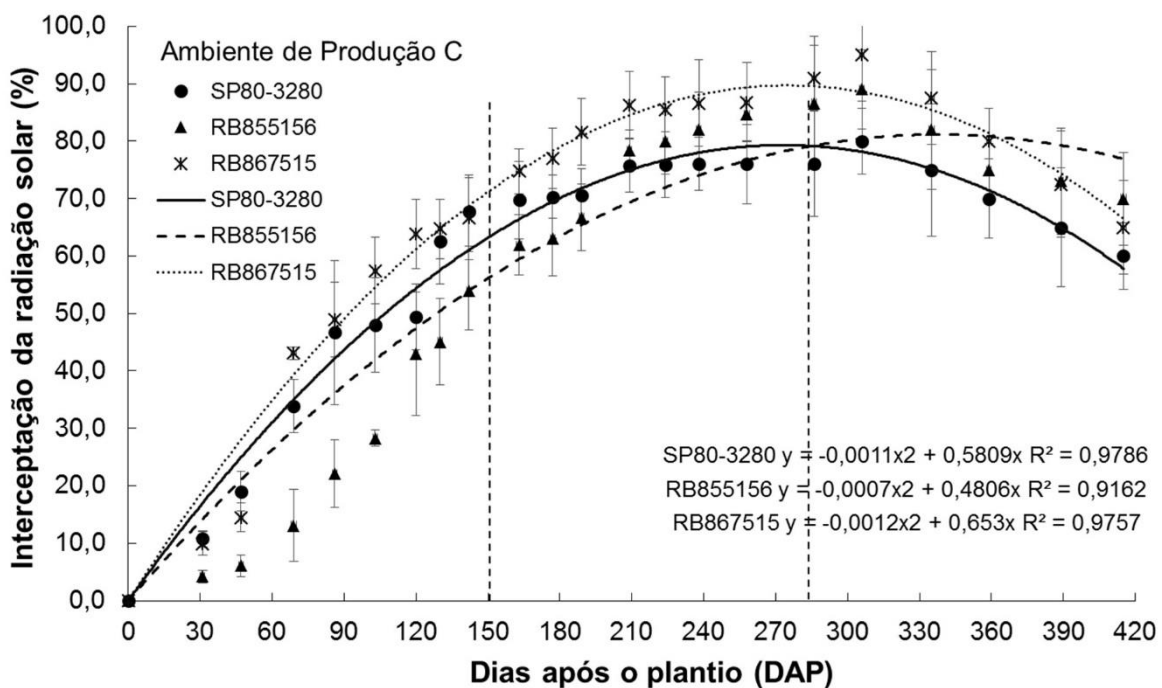
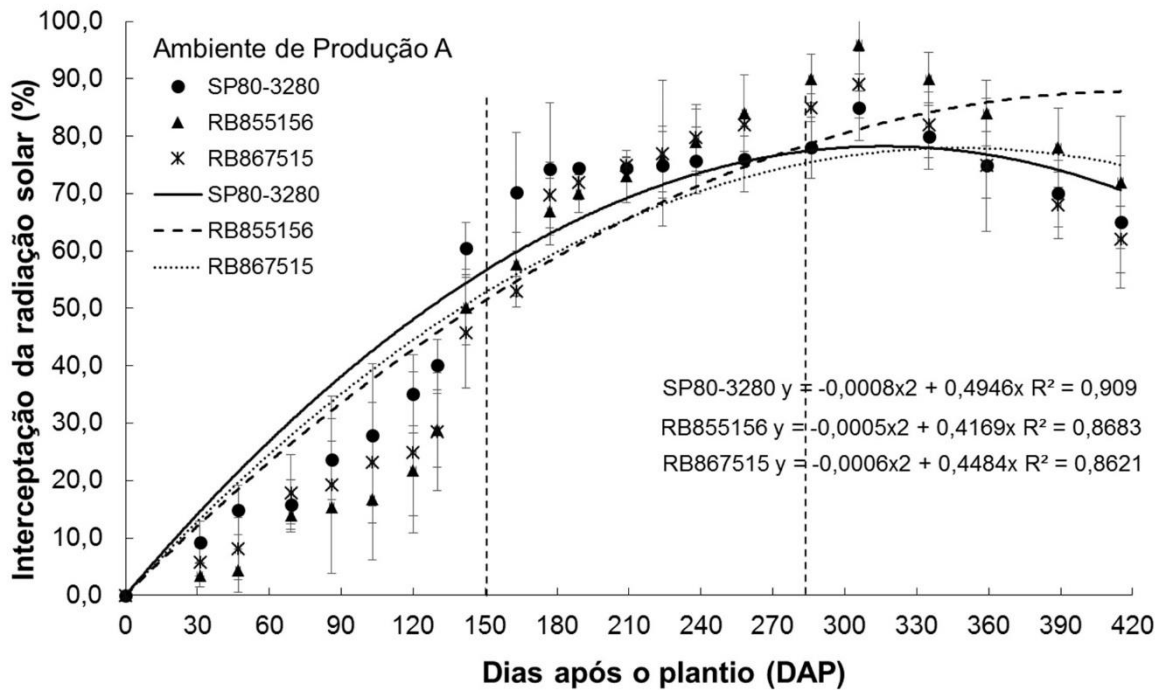
Aos 150 DAP a radiação média interceptada pelas cultivares foi de 505,52 MJ m⁻² e de 557,64 MJ m⁻² nos ambientes de produção A e C, respectivamente, sendo que esses valores representam, aproximadamente, 14% da radiação total interceptada total do ciclo. Aos 285 DAP, a interceptação média da radiação solar foi de 1.982,24 e 2.360,82 MJ m⁻² nos ambientes de produção A e C, valores que correspondem a 57 e 60% da radiação total interceptada nos ambientes de produção A e C, respectivamente. No final do ciclo, as radiações totais interceptadas médias das cultivares foi de 3.448,85 e de 3.880,52 MJ m⁻² nos ambientes de produção A e C, respectivamente. Dessa maneira, no ambiente de produção C a interceptação da radiação solar foi 12% superior a do ambiente de produção A aos 415 DAP.

Tabela 9 - Radiação global disponível e radiação global interceptada (MJ m^{-2}) pelas folhas de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção, Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP), no período de março de 2014 a maio de 2015 (cana-planta).

| Meses | Radiação global disponível | | Radiação global interceptada | | | | | |
|----------------|----------------------------|------------|------------------------------|----------|----------|------------------------|----------|----------|
| | Ambiente A | Ambiente C | Ambiente de produção A | | | Ambiente de produção C | | |
| | | | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 |
| Março | 48,85 | 48,85 | 0,58 | 0,49 | 0,53 | 0,68 | 0,56 | 0,77 |
| Abril | 387,74 | 501,78 | 35,21 | 29,98 | 32,14 | 53,42 | 44,66 | 60,13 |
| Maio | 312,24 | 283,16 | 69,18 | 59,65 | 63,68 | 73,36 | 62,19 | 82,72 |
| Junho | 281,13 | 272,74 | 97,58 | 85,49 | 90,79 | 108,31 | 93,40 | 122,42 |
| Julho | 348,51 | 280,54 | 156,89 | 139,80 | 147,67 | 142,68 | 125,36 | 161,66 |
| Agosto | 432,36 | 391,60 | 233,88 | 212,44 | 223,03 | 236,32 | 212,28 | 268,57 |
| Setembro | 417,20 | 442,48 | 255,24 | 236,51 | 246,76 | 297,86 | 274,04 | 339,63 |
| Outubro | 575,54 | 637,24 | 387,56 | 368,01 | 381,07 | 461,58 | 436,86 | 528,43 |
| Novembro | 478,30 | 520,08 | 343,28 | 334,72 | 343,82 | 393,08 | 384,77 | 452,23 |
| Dezembro | 504,03 | 562,11 | 376,73 | 378,79 | 385,55 | 430,59 | 438,72 | 498,37 |
| Janeiro | 544,51 | 636,63 | 414,99 | 432,07 | 435,35 | 481,34 | 514,15 | 561,24 |
| Fevereiro | 384,13 | 462,35 | 292,75 | 317,14 | 315,98 | 335,70 | 380,01 | 395,15 |
| Março | 406,89 | 447,85 | 304,19 | 345,42 | 339,75 | 303,53 | 368,85 | 361,68 |
| Abril | 416,79 | 381,03 | 299,64 | 359,78 | 348,70 | 231,86 | 309,76 | 281,14 |
| Maio | 177,52 | 165,23 | 122,03 | 154,17 | 147,51 | 89,43 | 131,56 | 110,54 |
| 150 DAP | 1.711,95 | 1.687,19 | 536,80 | 476,12 | 503,65 | 556,76 | 485,90 | 630,26 |
| 285 DAP | 3.336,59 | 4.061,82 | 2.031,08 | 1.922,79 | 1.992,84 | 2.290,37 | 2.169,66 | 2.622,42 |
| 415 DAP | 5.715,74 | 6.033,67 | 3.389,74 | 3.454,48 | 3.502,32 | 3.639,73 | 3.777,15 | 4.224,66 |

Total acumulado de radiação global disponível e interceptada em três épocas: 150, 285 e 415 dias após o plantio (DAP)

Figura 37 - Intercepção da radiação solar pelas folhas de três cultivares de cana-de-açúcar em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) na cana-planta (março de 2014 a maio de 2015).



O poder calorífico superior (*PCS*) aos 150 DAP foi maior em todas as cultivares no ambiente de produção C, diferença de 225% em relação ao ambiente de produção A (Tabela 10). No ambiente de produção A não houve diferenças entre as cultivares, já no ambiente de produção C, o *PCS* foi maior na RB867515. Aos 285 DAP, a diferença entre os ambientes de produção reduziu, sendo que a SP80-3280 teve maior *PCS* no ambiente de produção A. No ambiente de produção C, o maior *PCS* foi constatado na cultivar RB867515. Aos 415 DAP, houve diferença entre os ambientes de produção apenas na cultivar SP80-3280, que teve *PCS* 32% maior no ambiente de produção C. Em relação as cultivares em cada ambiente de produção, o *PCS* da SP80-3280 foi 9,1 e 16% maior do que as cultivares RB867515 e RB855156, respectivamente, no ambiente A. No ambiente de produção C, a cultivar RB867515 teve *PCS* superior às demais cultivares, tendo *PCS* 26,4 e 30,0% maior ao das cultivares RB855156 e SP80-3280, respectivamente.

A eficiência do uso da radiação variou entre os ambientes de produção e também em relação às cultivares (Tabela 11). Na cana-planta, aos 150 DAP, a maior *EUR* foi aferida no ambiente de produção C, em que a *EUR* média foi de 0,9 g MJ m⁻², enquanto que a *EUR* média no ambiente de produção A foi de 0,3 g MJ m⁻². No entanto, após essa primeira fase de crescimento, as *EUR* das três cultivares foram maiores no ambiente de produção A, em que as médias da *EUR* foram de 2,2 e 2,2 g MJ m⁻² aos 285 e 415 DAP, respectivamente, enquanto que no ambiente de produção C, as *EUR* médias foram de 1,7 e 1,7 g MJ m⁻² aos 285 e 415 DAP, respectivamente. Em relação às cultivares, no ambiente de produção A, a maior *EUR* foi observada na cultivar SP80-3280, enquanto que no ambiente de produção C não foram observado diferenças significativas.

Tabela 10 - Poder calorífico superior (PCS), em gigajoule (GJ) por hectare, de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de Produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de Produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 285 e 415 dias após o plantio (DAP).

| Parte da Planta | Ambiente A | | | Ambiente C | | |
|-------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 |
| 150 DAP | | | | | | |
| <i>PCS_P</i> | - | - | - | - | - | - |
| <i>PCS_B</i> | 23,74 B | 12,46 B | 15,76 B | 48,04 A | 36,74 A | 85,81 A |
| <i>PCS_F</i> | 17,18 Ba | 7,21 Ba | 12,86 Ba | 33,58 Ab | 21,80 Ab | 50,01 Aa |
| <i>PCS_C</i> | 0,00 Ba | 0,00 Ba | 0,00 Ba | 0,28 Ab | 0,04 Ac | 0,56 Aaa |
| <i>PCS_{PA}</i> | 40,92 Ba | 19,64 Ba | 28,62 Ba | 86,15 Ab | 59,28 Ab | 144,98 Aa |
| 285 DAP | | | | | | |
| <i>PCS_P</i> | 10,00 Ba | 2,41 Ab | 3,77 Bb | 22,37 Ab | 4,66 Ac | 28,04 Aa |
| <i>PCS_B</i> | 50,69 Bb | 75,47 Ba | 85,03 Aa | 83,86 Aa | 94,54 Aa | 86,90 Aa |
| <i>PCS_F</i> | 83,54 Ab | 141,76 Aa | 153,14 Aa | 133,69 Aab | 125,33 Ab | 141,42 Aa |
| <i>PCS_C</i> | 695,64 Aa | 446,25 Ab | 465,13 Bb | 379,64 Ab | 427,40 Ab | 561,51 Aa |
| <i>PCS_{PA}</i> | 840,18 Aa | 665,90 Ab | 707,09 Ab | 599,57 Bb | 651,95 Ab | 817,89 Aa |
| 415 DAP | | | | | | |
| <i>PCS_P</i> | 10,00 Ba | 2,41 Ab | 3,77 Bb | 22,37 Ab | 4,66 Ac | 28,04 Aa |
| <i>PCS_B</i> | 134,13 Bb | 185,17 Aa | 162,64 Aab | 166,07 Aa | 183,03 Aa | 189,42 Aa |
| <i>PCS_F</i> | 233,09 Bb | 301,23 Aa | 296,80 Aa | 277,98 Ab | 342,05 Aa | 331,22 Aab |
| <i>PCS_C</i> | 991,89 Aa | 688,53 Ac | 790,82 Ab | 564,20 Bb | 529,95 Bb | 791,63 Aa |
| <i>PCS_{PA}</i> | 1.369,12 Aa | 1.177,35 Ab | 1.254,05 Aab | 1.030,63 Bb | 1.059,71 Ab | 1.340,32 Aa |

Poder calorífico superior (PCS) do perfilho (P), bainha (B), folha (F), colmo (C) e da parte aérea (PA). Letras maiúsculas comparam os ambientes de produção; Letras minúsculas comparam as cultivares (Teste de Tukey $p < 0,05$).

Houve efeito significativo do ambiente de produção e da genética na eficiência da conversão da energia solar em fito-energia no primeiro ciclo da cultura da cana-de-açúcar (*EC*) (Tabela 11). Aos 150 DAP, a maior *EC* foi verificada no ambiente de produção C, em que a *EC* média das cultivares foi de 1,6%, sendo que a *EC* média no ambiente de produção A foi de 0,5%. No ambiente de produção A não houve diferença na *EC* aos 150 DAP, já no ambiente de produção C, a maior *EC* foi observada na cultivar RB867515 (2,2%), sendo superior às cultivares SP80-3280 (1,5%) e RB855156 (1,2%).

Aos 285 DAP, a maior *EC* das três cultivares estudadas foi verificada no ambiente de produção A, em que a *EC* média das cultivares foi de 3,7%, enquanto

no ambiente de produção C a *EC* média foi de 2,9%. Nessa época, no ambiente de produção A, a maior *EC* ocorreu na cultivar SP80-3280 (4,1%), que foi superior as cultivares RB855156 (3,4%) e RB867515 (3,5%). No ambiente de produção C, a maior *EC* foi observada nas cultivares RB867515 (3,1%) e RB855156 (3,0%), sendo que a menor *EC* no ambiente de produção C foi da cultivar SP80-3280 (2,6%).

No final do ciclo da cana-planta (415 DAP), as três cultivares tiveram maior *EC* no ambiente de produção A, sendo que a maior *EC* foi observada na cultivar SP80-3280 (4,5%). As cultivares RB855156 e RB867515 tiveram *EC* de 3,4 e 3,5% no ambiente A, respectivamente. No ambiente de produção C, aos 415 DAP, não foi observada diferença entre as cultivares, sendo que a sequência decrescente de *EC* foi de 3,1% (RB867515); 2,8% (SP80-3280) e 2,8% (RB855156). A *EC* média das cultivares aos 415 DAP foi de 3,8% no ambiente de produção A e de 2,9% no ambiente C, dessa maneira, a *EC* foi 31% maior no ambiente de produção A.

Tabela 11 - Eficiência do uso da radiação solar (*EUR*) e eficiência da conversão de energia solar em fito-energia (*EC*, %) em três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente A, Prado Ferreira/PR; Ambiente C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 285 e 415 dias após o plantio (DAP).

| Dias após o plantio | Ambiente A | | | Ambiente C | | |
|---|------------|----------|----------|------------|----------|----------|
| | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 |
| <i>EUR (g MJ m⁻²)</i> | | | | | | |
| 150 DAP | 0,45 Ba | 0,24 Ba | 0,33 Ba | 0,91 Ab | 0,72 Ab | 1,36 Aa |
| 285 DAP | 2,52 Aa | 2,10 Ab | 2,15 Ab | 1,58 Bb | 1,82 Bab | 1,89 Ba |
| 415 DAP | 2,45 Aa | 2,06 Ab | 2,17 Ab | 1,71 Ba | 1,69 Ba | 1,92 Ba |
| Média do ciclo | 1,80 | 1,47 | 1,55 | 1,40 | 1,41 | 1,72 |
| <i>EC (%)</i> | | | | | | |
| 150 DAP | 0,76 Ba | 0,41 Ba | 0,56 Ba | 1,54 Ab | 1,22 Ab | 2,29 Aa |
| 285 DAP | 4,13 Aa | 3,46 Ab | 3,55 Ab | 2,61 Bb | 3,00 Bab | 3,12 Ba |
| 415 DAP | 4,54 Aa | 3,40 Ab | 3,58 Ab | 2,83 Ba | 2,80 Ba | 3,17 Ba |

Letras maiúsculas comparam os ambientes de produção; Letras minúsculas comparam as cultivares (Teste de Tukey $p < 0,05$).

4.3.2 Cana-soca

No cultivo da cana-soca a radiação global acumulada aos 380 DAC foi de 4.765,2 MJ m⁻² no ambiente de produção A e de 5.063,2 MJ m⁻² no ambiente de

produção C, diferença de 298,0 MJ m⁻² entre os ambientes de produção (Tabela 12). A interceptação da radiação solar das três cultivares nos dois ambientes de produção foi de 59,9% na cana-soca, sendo que no ambiente de produção A a média foi de 55,8% e no ambiente de produção C de 64,1% (Figura 38). No ambiente de produção A, as plantas demoraram em média 137 dias para alcançarem 50% de interceptação da radiação solar, sendo esse tempo de 96 dias no ambiente de produção C.

Aos 150 DAC, a radiação interceptada média foi de 766,6 MJ m⁻² no ambiente de produção A e 1.101,0 MJ m⁻² no ambiente de produção C. Esses valores corresponde a 27,4 e 31,8% da radiação total interceptada até o final do ciclo nos ambientes A e C, respectivamente. Aos 280 DAC, a radiação acumulada interceptada médias pelas cultivares correspondeu a 51,3 e 70,9% nos ambientes de produção A e C, respectivamente. Em que os valores foram de 1.775,9 MJ m⁻² no ambiente de produção A e de 2.452,8 MJ m⁻² no ambiente de produção C. No final do ciclo, aos 380 DAC, a radiação interceptada total foi de 2.791,9 MJ m⁻² no ambiente de produção A e de 3.459,3 MJ m⁻² no ambiente de C.

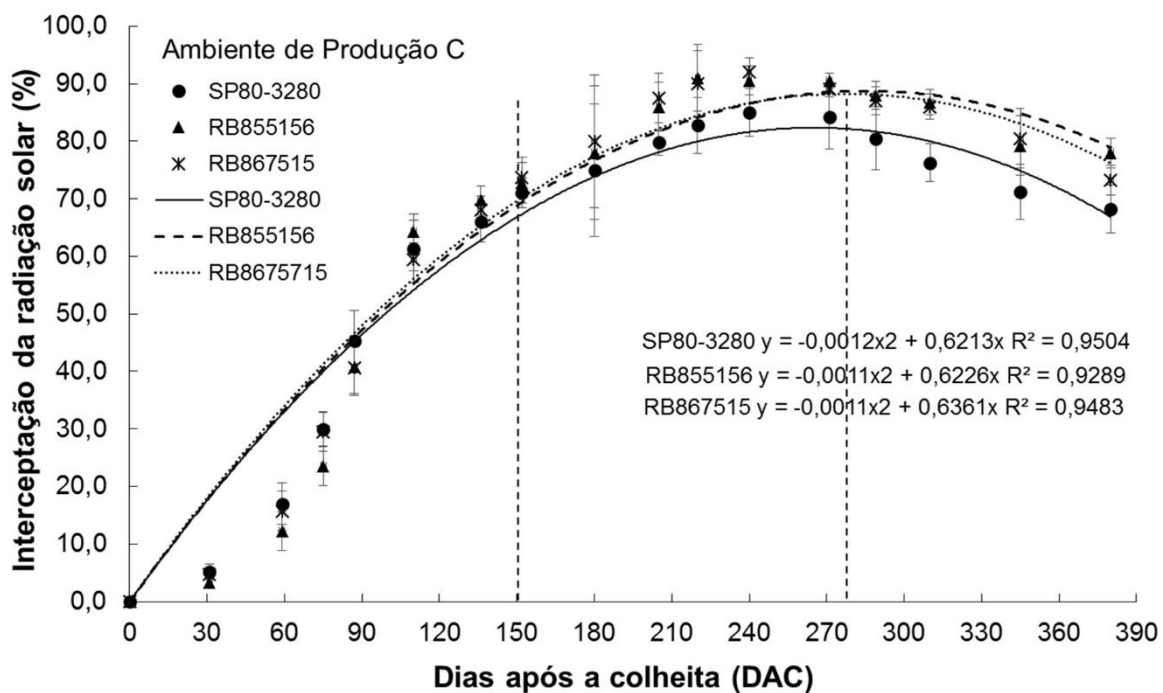
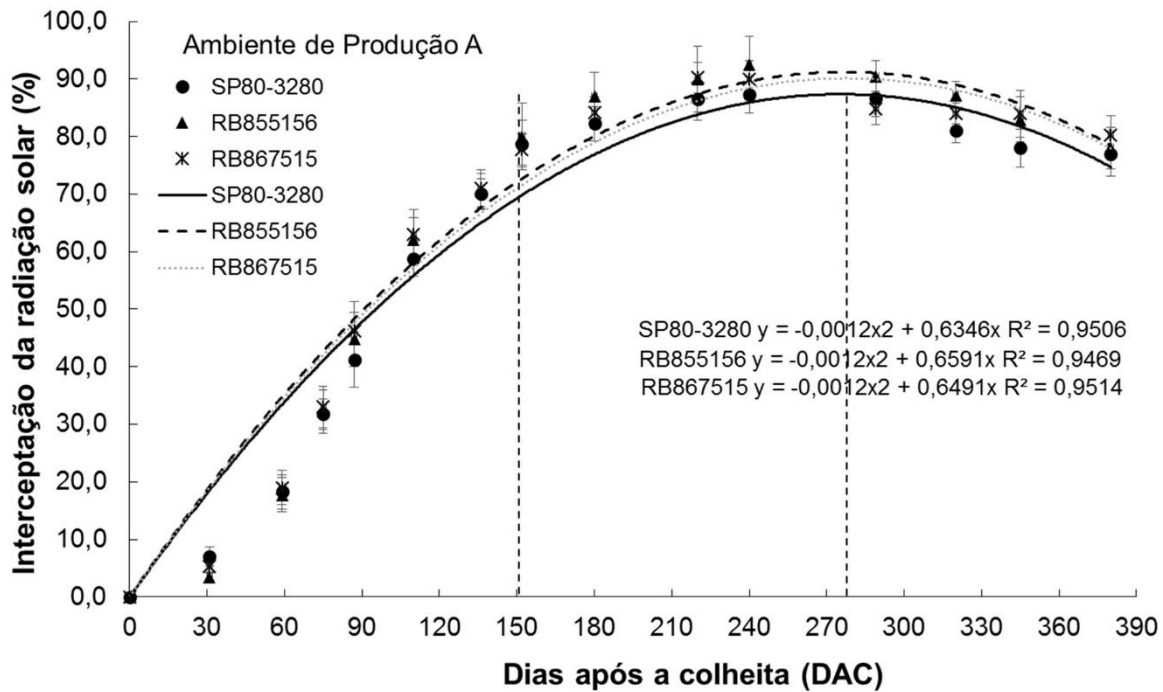
O poder calorífico superior (*PCS*) aos 150 DAC foi influenciado pelos ambientes de produção e cultivares (Tabela 13). As cultivares SP80-3280 e RB867515 tiveram maior *PCS* no ambiente de produção A, não havendo diferença para o ambiente de produção C. No ambiente de produção A, houve diferença no *PCS* entre as três cultivares, em que o maior *PCS* foi observado na cultivar SP80-3280. No ambiente de produção C não houve diferenças entre as cultivares. Aos 280 DAC, os *PCS* das cultivares SP80-3280 e RB855156 foram maiores no ambiente de produção A. No ambiente de produção A, o maior *PCS* foi constatado na cultivar SP80-3280 e no ambiente de produção C na cultivar RB867515. No final do ciclo de cultivo da cana-soca, aos 380 DAC, os *PCS* médios foram de 949,0 e de 776,6 GJ ha⁻¹ nos ambientes A e C, respectivamente. Os *PCS* das cultivares SP80-3280 e RB867515 foram maiores no ambiente de produção A, não havendo diferença entre os ambientes para a cultivar RB855156. No ambiente de produção A, a cultivar SP80-3280 (1079,9 GJ ha⁻¹) e a RB867515 (997,2 GJ ha⁻¹) tiveram *PCS* superior à cultivar RB855156 (769,9 GJ ha⁻¹). Já no ambiente de produção C, os *PCS* verificados foram 867,6 GJ ha⁻¹ para a RB867515, 776,7 GJ ha⁻¹ para a RB855156 e 685,3 GJ ha⁻¹ para a SP80-3280.

Tabela 12. Radiação global disponível e radiação global interceptada (MJ m^{-2}) pelas folhas de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção, Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP), no período de maio de 2015 a maio de 2016 (cana-soca).

| Meses | Radiação global disponível | | Radiação global interceptada | | | | | |
|-----------|----------------------------|------------|------------------------------|----------|----------|------------------------|----------|----------|
| | Ambiente A | Ambiente C | Ambiente de produção A | | | Ambiente de produção C | | |
| | | | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 |
| Maio | 151,27 | 129,14 | 5,96 | 5,05 | 5,42 | 6,22 | 6,24 | 6,54 |
| Junho | 272,18 | 282,86 | 39,13 | 33,46 | 35,82 | 52,45 | 52,88 | 55,32 |
| Julho | 276,31 | 261,88 | 79,39 | 68,99 | 73,46 | 91,87 | 93,21 | 97,24 |
| Agosto | 411,90 | 392,67 | 160,35 | 141,40 | 149,85 | 186,15 | 190,07 | 197,76 |
| Setembro | 363,25 | 406,51 | 177,69 | 159,53 | 168,10 | 237,88 | 244,82 | 253,86 |
| Outubro | 433,79 | 521,79 | 247,70 | 226,75 | 237,47 | 349,93 | 363,34 | 375,36 |
| Novembro | 397,26 | 481,07 | 253,53 | 237,13 | 246,69 | 353,71 | 371,10 | 381,70 |
| Dezembro | 405,54 | 516,19 | 280,66 | 269,11 | 277,83 | 402,73 | 428,06 | 437,91 |
| Janeiro | 510,35 | 525,09 | 373,91 | 369,35 | 377,92 | 420,84 | 454,46 | 461,87 |
| Fevereiro | 385,94 | 424,40 | 291,20 | 296,30 | 300,54 | 339,67 | 373,25 | 376,63 |
| Março | 476,15 | 449,16 | 363,67 | 384,30 | 385,58 | 348,79 | 392,69 | 392,37 |
| Abril | 416,11 | 389,14 | 315,51 | 347,74 | 344,82 | 285,29 | 330,78 | 326,66 |
| Maio | 265,21 | 283,39 | 195,65 | 226,96 | 221,96 | 188,72 | 228,03 | 221,59 |
| 150 DAC | 2.066,76 | 2.191,88 | 808,39 | 726,39 | 765,21 | 1.066,37 | 1.098,93 | 1.138,89 |
| 280 DAC | 3.495,57 | 3.822,82 | 1.824,23 | 1.719,28 | 1.784,35 | 2.346,91 | 2.472,78 | 2.538,90 |
| 380 DAC | 4.765,26 | 5.063,29 | 2.784,36 | 2.766,07 | 2.825,47 | 3.264,25 | 3.528,93 | 3.584,80 |

Total acumulado de radiação global disponível e interceptada em três épocas: 150, 280 e 380 dias após a colheita (DAC).

Figura 38 - Intercepção da radiação solar pelas folhas de três cultivares de cana-de-açúcar em dois ambientes de produção: Ambiente de Produção A (Prado Ferreira-PR) e Ambiente de Produção C (Presidente Bernardes-SP) na cana-soca (maio de 2015 a maio de 2016).



O poder calorífico superior (*PCS*) aos 150 DAP foi maior em todas as cultivares no ambiente de produção C, diferença de 225% em relação ao ambiente de produção A (Tabela 10). No ambiente de produção A não houve diferenças entre as cultivares, já no ambiente de produção C, o *PCS* foi maior na RB867515. Aos 285 DAP, a diferença entre os ambientes de produção reduziu, sendo que a SP80-3280 teve maior *PCS* no ambiente de produção A. No ambiente de produção C, o maior *PCS* foi constatado na cultivar RB867515. Aos 415 DAP, houve diferença entre os ambientes de produção apenas na cultivar SP80-3280, que teve *PCS* 32% maior no ambiente de produção C. Em relação as cultivares em cada ambiente de produção, o *PCS* da SP80-3280 foi 9,1 e 16% maior do que as cultivares RB867515 e RB855156, respectivamente, no ambiente A. No ambiente de produção C, a cultivar RB867515 teve *PCS* superior às demais cultivares, tendo *PCS* 26,4 e 30,0% maior ao das cultivares RB855156 e SP80-3280, respectivamente.

A eficiência do uso da radiação variou entre os ambientes de produção e também em relação às cultivares (Tabela 11). Na cana-planta, aos 150 DAP, a maior *EUR* foi aferida no ambiente de produção C, em que a *EUR* média foi de 0,9 g MJ m⁻², enquanto que a *EUR* média no ambiente de produção A foi de 0,3 g MJ m⁻². No entanto, após essa primeira fase de crescimento, as *EUR* das três cultivares foram maiores no ambiente de produção A, em que as médias da *EUR* foram de 2,2 e 2,2 g MJ m⁻² aos 285 e 415 DAP, respectivamente, enquanto que no ambiente de produção C, as *EUR* médias foram de 1,7 e 1,7 g MJ m⁻² aos 285 e 415 DAP, respectivamente. Em relação às cultivares, no ambiente de produção A, a maior *EUR* foi observada na cultivar SP80-3280, enquanto que no ambiente de produção C não foram observadas diferenças significativas.

Tabela 13 - Poder calorífico superior (PCS), em gigajoule (GJ), por hectare de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de Produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de Produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 280 e 380 dias após a colheita (DAC).

| Parte da Planta | Ambiente A | | | Ambiente C | | |
|-------------------------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|
| | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 |
| 150 DAC | | | | | | |
| <i>PCS_P</i> | | | | | | |
| <i>PCS_B</i> | 29,03 Aa | 26,03 Aab | 24,89 Ab | 30,66a | 34,09 Aa | 26,32 Ab |
| <i>PCS_F</i> | 41,06 Aa | 40,98 Ba | 39,36 Aa | 47,47 Ba | 47,50 Aa | 36,11 Ab |
| <i>PCS_C</i> | 82,72 Aa | 57,69 Ac | 73,93 Ab | 41,88 Bb | 50,24 Ba | 60,77 Ba |
| <i>PCS_{PA}</i> | 152,81 Aa | 124,71 Ac | 139,19 Ab | 120,01 Ba | 131,84 Aa | 123,21 Ba |
| 280 DAC | | | | | | |
| <i>PCS_P</i> | 20,60 Aa | 23,29 Aa | 16,97 Aa | 18,13 Aa | 20,23 Aa | 9,36 Bb |
| <i>PCS_B</i> | 55,43 Aa | 52,84 Ba | 56,06 Aa | 52,93 Ab | 65,79 Aa | 60,35 Aab |
| <i>PCS_F</i> | 80,75 Aa | 79,25 Ba | 71,03 Ba | 81,61 Aa | 103,22 Aa | 92,61 Aa |
| <i>PCS_C</i> | 550,98 Aa | 394,99 Ab | 446,62 Ab | 309,42 Bb | 300,47 Bb | 391,22 Ba |
| <i>PCS_{PA}</i> | 707,77 Aa | 550,38 Ab | 590,70 Ab | 462,11 Bb | 489,79 Bab | 553,73 Aa |
| 380 DAC | | | | | | |
| <i>PCS_P</i> | 20,60 Aa | 23,29 Aa | 16,97 Aa | 18,13 Aa | 20,23 Aa | 9,36 Bb |
| <i>PCS_B</i> | 100,74 A | 81,01 A | 95,06 A | 81,25 B | 91,25 A | 92,34 A |
| <i>PCS_F</i> | 202,41 Aab | 186,42 Ab | 217,27 Aa | 141,17 Bb | 163,75 Aab | 187,52 Ba |
| <i>PCS_C</i> | 756,06 Aa | 479,20 Ac | 667,96 Ab | 444,83 Bb | 501,47 Ab | 578,40 Ba |
| <i>PCS_{PA}</i> | 1.079,92 Aa | 769,93 Ab | 997,26 Aa | 685,39 Bb | 776,77 Aab | 867,68 Ba |

Poder calorífico superior (PCS) do perfilho (P), bainha (B), folha (F), colmo (C) e da parte aérea (PA). Letras maiúsculas comparam os ambientes de produção; Letras minúsculas comparam as variedades (Teste de Tukey $p < 0,05$).

A eficiência do uso da radiação na cana-soca foi sempre superior no ambiente de produção A, sendo que as *EUR* médias das cultivares foi de 1,08, 2,10 e 1,97 g MJ m⁻² aos 150, 280 e 380 DAC, respectivamente (Tabela 14). No ambiente de produção C, as *EUR* médias foram de 0,68, 1,23 e 1,29 g MJ m⁻², respectivamente. A *EUR* média do ciclo também foi maior no ambiente de produção A (1,71 g MJ m⁻²) do que no ambiente de produção C (1,07 g MJ m⁻²). Em relação às cultivares, no ambiente de produção A, a maior *EUR* foi verificada na cultivar SP-803280, enquanto que no ambiente de produção C, a maior *EUR* foi resultante da cultivar RB867515.

Aos 150 DAC, a eficiência da conversão de energia solar em fito-energia (*EC*) foi influenciada pelo ambiente de produção e pelas cultivares (Tabela 14). Nessa época, as três cultivares tiveram maior *EC* no ambiente de produção A, valores que foram de 1,8% no ambiente de produção A e de 1,1% no ambiente de produção C. No ambiente de produção A, a maior *EC* foi observada na cultivar SP80-3280 (1,89%), seguida pelas cultivares RB867515 (1,80%) e RB855156 (1,71%). No ambiente de produção C não houve diferenças entre as cultivares.

Aos 280 DAC, a *EC* seguiu o mesmo padrão observado aos 150 DAC, no sentido que a *EC* foi maior no ambiente de produção A, e neste ambiente, a cultivar SP80-3280 teve maior *EC* do que as demais cultivares. Não ocorreram diferenças no ambiente de produção C. Nessa época, as *EC* médias foram de 3,46 e 2,04% nos ambientes de produção A e C, respectivamente. Aos 380 DAC, a *EC* média das três cultivares foi de 3,39% no ambiente de produção A e de 2,24% no ambiente de produção C. Dessa maneira, a *EC* média foi 51% maior no ambiente de produção A, e ainda, a redução da *EC* da cultivar SP80-3280 foi de 45% no ambiente de produção C. No ambiente de produção A houve diferença entre as três cultivares, sendo que a maior *EC* foi verificada na cultivar SP80-3280 (3,87%), seguida pela cultivares RB867515 (3,52%) e RB855156 (2,78%). No ambiente de produção C a maior *EC* foi constatada na cultivar RB867515 (2,42%), sendo igual à cultivar RB855156 (2,20%) e superior à cultivar SP80-3280 (2,10%).

Tabela 14 - Eficiência do uso da radiação solar (EUR) e eficiência da conversão de energia solar em fito-energia (EC, %) em três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente A, Prado Ferreira/PR; Ambiente C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 280 e 380 dias após a colheita.

| Dias após a colheita | Ambiente A | | | Ambiente C | | |
|----------------------------------|------------|----------|----------|------------|----------|----------|
| | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 |
| EUR (g MJ m⁻²) | | | | | | |
| 150 DAC | 1,14 Aa | 1,03 Ab | 1,09 Aab | 0,67 Ba | 0,72 Ba | 0,65 Ba |
| 280 DAC | 2,36 Aa | 1,94 Ab | 2,01 Ab | 1,19 Ba | 1,20 Ba | 1,32 Ba |
| 380 DAC | 2,27 Aa | 1,58 Ac | 2,07 Ab | 1,20 Bb | 1,26 Bab | 1,43 Ba |
| Média do ciclo | 1,92 | 1,51 | 1,72 | 1,02 | 1,06 | 1,13 |
| EC (%) | | | | | | |
| 150 DAC | 1,89 Aa | 1,71 Ab | 1,80 Aab | 1,12 Ba | 1,19 Ba | 1,08 Ba |
| 280 DAC | 3,88 Aa | 3,20 Ab | 3,31 Ab | 1,97 Ba | 1,98 Ba | 2,18 Ba |
| 380 DAC | 3,87 Aa | 2,78 Ac | 3,52 Ab | 2,10 Bb | 2,20 Bab | 2,42 Ba |

Letras maiúsculas comparam os ambientes de produção; Letras minúsculas comparam as cultivares (Teste de Tukey $p < 0,05$).

5 DISCUSSÃO

5.1 Variáveis biométricas

Em relação às variáveis biométricas da cana-de-açúcar foi observado que o desenvolvimento das plantas ocorreu de maneira diferente nos dois ciclos de cultivo, sendo que na cana-planta houve maior efeito dos ambientes de produção e das cultivares, enquanto que na cana-soca, foram observados menores efeitos dos tratamentos, em que o desenvolvimento biométrico foi mais uniforme durante o período (Tabelas 5 e 6). De maneira geral, a altura das plantas, o número de entrenós e o perfilhamento foram as variáveis que tiveram maior variação ao longo do experimento.

Na cana-planta as plantas tiveram maior crescimento inicial no ambiente de produção C. Neste ambiente, aos 150 DAP a altura das plantas, o diâmetro do colmo, o número de entrenós, o comprimento e a largura da folha +1 foram maiores no ambiente de produção C praticamente em todas cultivares (Tabela 4). Dessa maneira, as duas primeiras fases de crescimento da cultura da cana-de-açúcar (brotação e perfilhamento) foram mais intensas no ambiente de produção C.

O baixo desenvolvimento inicial das plantas no ambiente de produção A até os 150 DAP ocorreu por dois fatores: baixa temperatura do ar e textura do solo. Em relação a baixa temperatura do ar, a instalação dos experimentos ocorreu no final de março, período em que se inicia a redução da temperatura média do ar nas duas localidades, no entanto, o ambiente de produção A por estar situado na região Sul do Brasil, a redução da temperatura nessa época do ano ocorre de maneira mais intensa. No período de abril a agosto de 2014, que compreendeu a fase de brotação e perfilhamento da cultura, as temperaturas médias do ar foram de 19,4 e 21,8°C nos ambientes de produção A e C, respectivamente, ou seja, 2,4°C maior no ambiente de produção C (Figura 4).

Jain et al. (2007) avaliaram o efeito da baixa temperatura na brotação da cana-de-açúcar e observaram que a brotação dos toletes foi reduzida conforme se reduziu a temperatura média do ar. Na temperatura de 25°C, a brotação dos toletes foi de 80%, quando ocorreu a redução da temperatura para 15°C, a brotação média foi de 56%, e na temperatura média de 6°C, ocorreu apenas 23% de brotação dos toletes. Christoffoleti (1986) cita que, em temperaturas inferiores a 21°C, a brotação é muito lenta, e acima disso, ela aumenta progressivamente, até atingir um ponto ótimo, entre 27 e 32°C. A temperatura interfere na velocidade das reações bioquímicas e na ação de enzimas envolvidas na divisão, diferenciação e crescimento celular, e portanto, é um dos fatores que mais influem na brotação (CASAGRANDE; VASCONCELOS, 2010). Inman-Bamber (2004) também observou efeito da temperatura do ar em estudo com cana-de-açúcar. O autor comenta que a taxa média de expansão foliar em condições de temperatura favorável foi de 4,6 mm h⁻¹, no entanto, o autor observou que quando a temperatura do ar diminuiu, a taxa de expansão foliar foi de 1,9 mm h⁻¹.

Em relação a textura do solo, a brotação da cana-de-açúcar é prejudicada nos solos argilosos por dois motivos. O primeiro refere-se ao melhor contato que ocorre do solo com o colmo nos solos arenosos, enquanto que nos solos argilosos, devido à presença de torrões, formam-se bolsões de ar, evitando o contato do solo com o colmo, prejudicando a brotação da cana-de-açúcar (PRADO; VITTI, 2013). E o segundo, refere-se a maior resistência da camada superficial dos solos argilosos, segundo Casagrande e Vasconcelos (2010), em solos argilosos os brotos primários do tolete não conseguem romper essa camada. Nos solos argilosos é mais comum a formação de uma dura camada superficial de solo com crostas de alta resistência, prejudicando a brotação da cana-de-açúcar.

Após a brotação, o perfilhamento e o desenvolvimento foliar das plantas também foi afetado pela temperatura do ar, sendo que em média, as plantas do ambiente de produção C tinham 0,55 m de altura, enquanto que as do ambiente de produção C, tinham 0,28 m. Como a brotação, o perfilhamento também é influenciado pela temperatura do ar. Após a luminosidade, a temperatura é um dos fatores mais importante para o perfilhamento (DILLEWIJN, 1952), sendo que o perfilhamento aumenta à medida que a temperatura se eleva até um máximo de 30°C e temperaturas abaixo de 20°C retarda o perfilhamento da cana-de-açúcar.

Guerra et al. (2013) avaliaram o desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar em três temperaturas (19°C diurna e 13°C noturna; 29°C diurna e 23°C noturna; e 33°C diurna e 27°C noturna) e observaram que a altura das plantas aos 150 DAP foi de 0,44 m sob baixas temperaturas e de e de 1,25 m sob alta temperatura.

O maior desenvolvimento das plantas no ambiente de produção C ainda pôde ser observado aos 285 DAP, devido à maior altura das plantas e, principalmente, ao maior número de entrenós por planta, sendo que no ambiente de produção C as plantas tinham praticamente o dobro de entrenós do que as plantas do ambiente de produção A (Tabela 4). Aos 150 DAP as plantas do ambiente de produção C já tinham entrenós, e diferentemente das plantas do ambiente de produção A que ainda não tinham iniciado a sua formação. Campbell et al. (1998) relataram que a taxa de formação de entrenós é altamente dependente da temperatura, sendo que na temperatura de 26°C, ocorre a formação de 0,15 entrenós por dia, enquanto na temperatura de 14°C, ocorre redução para 0,05 entrenós por dia, como também, os autores observaram que a taxa de formação de entrenós pode variar entre as cultivares de cana-de-açúcar, efeito este que foi observado no ambiente de produção C, aos 150 DAP.

No entanto, a partir dos 285 DAP foi observado redução no desenvolvimento das plantas no ambiente de produção C, principalmente em relação à altura das plantas, diâmetro do colmo e número de entrenós, sendo que na média das três cultivares, dos 285 aos 415 DAP, ocorreu a formação de 14,7 novos entrenós por planta no ambiente de produção A e de 10,8 no ambiente de produção C até a colheita. A redução no desenvolvimento das plantas no ambiente de produção C a partir dos 285 DAP pode estar relacionada a baixa disponibilidade de água no solo a partir desse período, sendo que entre 285 DAP a 415 DAP observou-se deficiência de 122 mm de água no solo, enquanto que no ambiente de produção A, para o mesmo período, a deficiência de água foi apenas de 8 mm.

Esse período de maior evapotranspiração coincidiu com o período de maior IAF das plantas, intensificando ainda mais o efeito da falta de água no solo. Silva et al. (2014) estudaram a necessidade hídrica da cultura da cana-de-açúcar em cultivos de clima tropical, e observaram que a fase intermediária da cultura é o período que ocorre a maior evapotranspiração, podendo chegar a 6,38 mm dia⁻¹. Inman-Bamber e Smith (2005) relataram que quando as plantas de cana-de-açúcar

estão sob baixa disponibilidade de água no solo, ocorre forte redução na taxa de alongamento do colmo. Os autores ainda relataram que, quando o solo apresenta deficiência de 20 mm de água, já ocorre redução na taxa de alongamento do colmo, e se a deficiência de água no solo chegar a 150 mm em 1,5 m de profundidade não ocorre mais o alongamento do colmo.

Em relação ao potencial de água na folha, diversos estudos demonstraram que com valores entre -1,3 a -1,5 MPa, o alongamento celular é praticamente nulo. A taxa diária de expansão foliar de duas cultivares de cana-de-açúcar foi de aproximadamente 40 mm dia⁻¹ quando o potencial hídrico era de -0,5 MPa, no entanto, quando o potencial hídrico foi de -1,5 MPa, a taxa de expansão reduziu praticamente a zero (INMAN-BAMBER; JAGER, 1986). Na cultura da cana-de-açúcar, o alongamento do colmo é muito mais sensível do que o alongamento foliar em condições de deficiência hídrica, ou seja, antes de ocorrer a redução da área foliar, a planta reduz a formação e o alongamento de novos entrenós (BATCHELOR et al., 1992; INMAN-BAMBER, 2004; INMAN-BAMBER; SMITH, 2005). Portanto, em determinadas condições de umidade do solo, a planta pode ter desenvolvimento foliar sem desenvolvimento do colmo.

Além do efeito da água no desenvolvimento das plantas, há também o efeito da fertilidade do solo. O solo do ambiente de produção A, classificado como Nitossolo Vermelho, possui melhor fertilidade do que o solo do ambiente de produção C, classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (Tabela 4). Dessa maneira, o solo do ambiente de produção A, tem maior capacidade de reter e disponibilizar nutrientes para as plantas, principalmente na camada de 0 – 0,4 m de profundidade. No ambiente de produção A, os valores de matéria orgânica, fósforo, potássio e de cálcio foi superior aos do ambiente de produção C, sendo que esses valores foram no mínimo, duas vezes mais altos no ambiente de produção A. Portanto, a fertilidade do solo também influenciou no desenvolvimento biométrico das plantas.

Segundo Landell et al. (2003), a condição química do horizonte subsuperficial é determinante da produtividade da cana-de-açúcar. De acordo com Orlando Filho (1993), o K é o nutriente mais extraído na cultura da cana-de-açúcar, seguido pelo N, Ca, Mg, S e P. Em estudo mais recente com onze cultivares de cana-de-açúcar, Oliveira et al. (2011) observaram que o colmo é o órgão da planta que possui maior

demanda por nutrientes aos 360 DAP, sendo que aproximadamente 51,3; 59,2; 57,9; 82,4 e 75,9% do N, P, K, Ca e Mg estão no colmo, respectivamente. Sendo que a sequência da extração de nutrientes deu-se da seguinte maneira: K (325,3 kg ha⁻¹) > Ca (226,5 kg ha⁻¹) > N (179,0 kg ha⁻¹) > Mg (86,9 kg ha⁻¹) > P (25,4 kg ha⁻¹).

Bonassi et al. (2012) realizaram a marcha de absorção do N, P e K na cana-de-açúcar, e observaram que o período de maior exigência desses nutrientes ocorre em média a partir dos 250 DAP. Esses dados corroboram com os observados por Silva et al. (2012), em que o período de maior exigência de Ca, Mg e S na cana-de-açúcar se dá entre os 250 a 300 DAP. Diversos estudos já demonstram que o desenvolvimento biométrico da cana-de-açúcar é influenciado pela fertilidade do solo. Dantas Neto et al. (2006) observaram que o comprimento do colmo da cana-de-açúcar aumenta na presença de maiores quantidades de N e K. Resultados similares foram obtidos por Shukla et al. (2009), em que o K aumentou o comprimento e diâmetro do colmo. De acordo com Zambrosi et al. (2014) relataram em um estudo com seis cultivares de cana-de-açúcar sob deficiência de P, significativa redução na área foliar e no perfilhamento das plantas.

Em relação ao ciclo da cana-soca, de maneira geral, não houve diferenças significativas nas variáveis biométricas das plantas na cana-soca, como os observados na cana-planta (Tabela 5). O desenvolvimento inicial das plantas ocorreu de maneira mais uniforme na cana-soca, sendo que a brotação foi similar entre as cultivares e os ambientes de produção. O perfilhamento máximo na cana-soca ocorreu mais cedo do que na cana-planta. Aos 280 DAC, observou-se que as plantas estavam maiores no ambiente de produção A, com média de 2,72 m, enquanto que no ambiente de produção C, a altura médias das cultivares era de 2,4 m. Aos 280 DAC observou-se no ambiente de produção C redução significativa no número de folhas verdes por planta e pequena redução no IAF das três cultivares.

O desenvolvimento inicial da soqueira da cana-de-açúcar é mais rápido do que na cana-planta, porque mais brotos estão disponíveis para produzir mais brotos primários e os brotos estão mais próximos da superfície do que na cana-planta, sendo assim, a emergência dos perfilhos primários é, portanto, mais rápido na soca do que após o plantio (THOMPSON, 1998; ROBERTSON et al., 1996).

Em ambos os ciclos de cultivo, observou-se um intenso perfilhamento das três cultivares até aproximadamente 150 a 180 DAP na cana-planta e de 120 a 150 DAC na cana-soca, sendo que após esse período, ocorreu redução no perfilhamento das três cultivares. Inman-Bamber (1994) sugeriu que o perfilhamento reduz substancialmente quando a incidência da radiação solar reduz em 70% na base da touceira. No entanto, de acordo com Bell e Garside (2005), a redução do perfilhamento ocorreu quando a interceptação da radiação solar foi de 45 a 50% menor no dossel inferior da planta, igual ao observado neste trabalho. Conforme Vasantha et al. (2012), em um estudo com quatro genótipos de cana-de-açúcar, observaram que 90% do perfilhos formados até 90 DAP se tornarão colmos produtivos, e que os perfilhos formados após esse período não contribuirão com a produtividade de colmos da cultura. Os autores ainda relataram que na média, 38,8% dos perfilhos produzidos pela planta não senescem até o momento da colheita.

A maior uniformidade no desenvolvimento das plantas na cana-soca, ocorreu devido à menor deficiência de água no solo no período de grande crescimento da cultura. Na cana-planta, no período de outubro de 2014 a março de 2015, observou-se deficiência de 178 mm no ambiente de produção C. Já na cana-soca, no mesmo período, a deficiência de água no solo foi de apenas 31 mm. Fato esse que ocorreu devido a maior quantidade de chuvas registradas no período, devido ao fenômeno climático El Niño. Na cana-planta, no ambiente de produção C, de outubro de 2014 a março de 2015, foi registrado o total acumulado de chuva de 1.183 mm, enquanto que de outubro de 2015 a março de 2016, foi registrado 1.665 mm, aumento correspondente a 40,7%.

Em relação a redução no número de folhas verdes no final do ciclo da cultura, deve-se ao fato de que no mês de abril de 2016, nos dois ambientes de produção, não houve registro de chuvas durante 27 dias. Porém, como a textura do solo do ambiente de produção A é argilosa, há maior capacidade de armazenar água, sendo que a deficiência de água para as plantas nesse período foi de 27 mm, enquanto que no ambiente de produção C, que tem solo de textura arenosa, a deficiência de água foi de 71 mm. Solos de textura argilosa, que possuem alta água disponível no solo, podem fornecer água para as plantas por um período de 20 a 25 dias, enquanto que solos de textura arenosa, que possuem baixa água

disponível no solo, podem fornecer água para as plantas por um período de 05 a 15 dias, dependendo da evapotranspiração diária do ambiente (PRADO et al., 2016). E ainda, no ambiente de produção, a água ocupa posição de maior destaque, pois, quando há adequada disponibilidade de água no solo, a água desloca o ambiente de produção favoravelmente até mesmo nos solos com menor potencial química em subsuperfície (PRADO, 2005).

Um das estratégias da cana-de-açúcar em condições de baixa disponibilidade de água no solo, é reduzir a área foliar da planta de modo a evitar ou retardar a ocorrência do estresse hídrico nas plantas. Sendo que a senescência das folhas verdes, e a consequente redução da área foliar contribui para a redução no uso da água pelas plantas durante períodos de deficiência hídrica (INMAN-BAMBER, 2005). Machado et al. (2009) observaram que o número de folhas verdes da cultura da cana-de-açúcar diminuiu em dois genótipos de cana-de-açúcar quando submetidos à deficiência hídrica. A redução da área foliar da cana-de-açúcar em condições de baixa disponibilidade de água no solo foi observada em diversos estudos, em diferentes condições de ambiente, solo e genótipos (SMIT; SINGELS, 2006; SATO et al., 2010; ZHAO et al., 2013; HOLANDA et al., 2014; BARBOSA et al., 2015).

Na cana-planta o índice de área foliar (IAF) médio das três cultivares foi de 3,7 e 3,6 nos ambientes de produção A e C aos 285 DAP, respectivamente. No final do primeiro ciclo de cultivo, o IAF médio foi de 3,8 no ambiente de produção A e de 3,6 no ambiente de produção C. Na cana-soca, aos 280 DAC, o IAF médio das cultivares foi de 4,0 e 3,9 nos ambientes de produção A e C, respectivamente. Já aos 380 DAC, o IAF foi de 3,7 no ambiente de produção A e 3,2 no ambiente de produção C.

Oliveira et al. (2007), em um estudo com três genótipos de cana-de-açúcar, também observaram que o IAF médio das cultivares foi maior no período de dezembro a abril, sendo que o IAF para este período foi de 4,0. O IAF da cultivar RB867515 foi de 2,2 quando cultivada em condições de sequeiro e de 4,8 quando cultivada com irrigação (VIEIRA et al., 2014). Conforme observações de Ferreira Júnior et al. (2012), em nove cultivares de cana-de-açúcar irrigadas, observou-se que o IAF médio foi de 2,9. No entanto, Ferreira Júnior et al., (2014) observaram

valores maiores do IAF para a cultivar RB89710 da cana-de-açúcar, podendo atingir valores próximos a 6,5. Valores, também observados por Smit e Singels (2006).

Diversos fatores fitotécnicos, genéticos e ambientais podem alterar o IAF da cultura da cana-de-açúcar, como por exemplo a disponibilidade de água no solo (SILVA; COSTA, 2012; FERREIRA JÚNIOR et al., 2014), a época de plantio (SINGELS et al., 2005), genótipo (RAMBURAN, 2014); a adubação (WIEDENFELD; ENCISO, 2008), entre outros. No entanto, de acordo com os trabalhos citados acima, o IAF máximo da cana-de-açúcar ocorreu entre 250 a 350 DAP. Portanto, o IAF máximo da cultura da cana-de-açúcar ocorre quando as plantas estão na fase de pleno crescimento vegetativo associadas com condições favoráveis do ambiente, como por exemplo, alta luminosidade, temperatura do ar e boa disponibilidade hídrica (JADOSKI et al., 2010). Por fim, segundo Machado et al. (2012), o IAF ótimo da cultura da cana-de-açúcar estaria próximo a 4,0, o que já seria o suficiente para interceptar aproximadamente 95% da radiação solar.

O diâmetro do colmo é um importante parâmetro biométrico da cultura da cana-de-açúcar, tanto é, que segundo a metodologia de Landell et al. (2005) o diâmetro do colmo, ao lado da altura do colmo e do número de plantas, faz parte dos componentes de produção da cultura da cana-de-açúcar. Conforme os resultados obtidos, na cana-planta, as cultivares SP80-3280 e RB855156 tiveram maior diâmetro de colmo no ambiente de produção A aos 415 DAP. Já na cana-soca, não se observou efeito do ambiente de produção sobre este parâmetro aos 280 e 380 DAC.

Como as demais variáveis biométricas, diversos fatores podem influenciar o diâmetro do colmo, tais como: genótipo (SILVA, 2008); Temperatura do ar (GUERRA et al., 2014); déficit hídrico (RAMESH; MAHADEVASWAMY, 2000), manejo fitotécnico, tal como o espaçamento (KANWAR; SHARMA, 1974), entre outros. Dessa maneira, atribui-se que o maior diâmetro do colmo das cultivares SP80-3280 e RB855156 foi em função da melhor disponibilidade hídrica no ambiente de produção A. Resultados que estão de acordos com os obtidos por Pedrosa et al. (2005) e Silva et al. (2015), que observaram aumento no diâmetro de colmo com o aumento da disponibilidade de água. Como na cana-soca, houve uma melhor distribuição de água ao longo do ciclo, não houve efeito no diâmetro do colmo.

Em relação as cultivares da cana-de-açúcar, de acordo com os resultados obtidos, algumas variáveis biométricas mostraram-se característicos de cada cultivar, e corroboram com as informações fornecidas pelas instituições de melhoramento. Em relação a cultivar SP80-3280, observou-se boa brotação nos dois ciclos de cultivo, apresentando bom crescimento inicial. No entanto, observou-se nessa cultivar alta taxa de desfolha (informação visual), sendo que as folhas senescentes se desprendem do colmo mais facilmente do que as demais cultivares estudadas, aumentando a intensidade de ataque de pragas do colmo, como também, principalmente no ambiente de produção C, notou-se maior presença de doenças nas folhas desta cultivar, quando comparadas as outras cultivares estudadas.

A cultivar RB855156 foi a que mais se diferenciou das demais cultivares, essa cultivar tem por característica colmos mais finos, menor altura de plantas (entrenós menores) e folhas mais estreitas. Na cana-planta, a RB855156 apresentou desenvolvimento inicial muito lento (maior tempo de brotação), no entanto na cana-soca, foi a cultivar que teve a brotação mais rápida e intensa. Porém, tanto na cana-planta como na cana-soca, a RB855156, apresentou intenso perfilhamento, sendo a cultivar que teve maior número de plantas no final dos dois ciclos de cultivo, característica essa, destacada pela instituição de melhoramento (RIDESA, 2008).

Na cana-planta, a cultivar RB867515 teve maior desenvolvimento inicial do que as cultivares SP80-3280 e RB855156, principalmente em relação a maior altura de plantas, diâmetro do colmo e maior índice de área foliar (IAF). O maior desenvolvimento inicial observado da cultivar RB867515, está de acordo com a recomendações técnicas da cultivar, que caracterizam a RB867515 como uma cultivar de alta velocidade de crescimento inicial (RIDESA, 2008).

5.2 Produtividade de colmos, açúcar e biomassa

De maneira geral, houve efeito do ambiente de produção e da genética sobre a produtividade de colmos, açúcar e de biomassa da cana-de-açúcar. Em relação ao peso de 10 colmos houve grande influência do ambiente de produção e das cultivares sobre esta variável. Observou-se que tanto na cana-planta como na cana-soca, o maior peso de colmos foi verificado no ambiente de produção A

(Figuras 27 e 32). Sendo significativamente estatístico para as cultivares SP80-3280 e RB855156 na cana-planta e para as cultivares SP80-3280 e RB867515 na cana-soca. Dentro de cada ambiente de produção, houve diferença entre as cultivares no final do ciclo. No ambiente de produção A, nos dois ciclos de cultivo o maior peso de 10 colmos foi obtido com as cultivares SP80-3280 e RB867515. No ambiente de produção C aos 380 DAC, o maior peso de 10 colmos foi obtido pela cultivar RB867515, sendo superior as cultivares SP80-3280 e RB855156, sendo que, a cultivar SP80-3280 foi superior a cultivar RB855156.

No final do ciclo de cultivo na cana-planta, o peso médio de 10 colmos foi de 19,8 kg no ambiente de produção A e de 16,5 kg no ambiente C. Na cana-soca, o peso de 10 colmos foi de 15,5 e 12,3 kg nos ambientes de produção A e C, respectivamente. O maior desenvolvimento dos colmos no ambiente de produção A está relacionado a maior disponibilidade de água no ambiente de produção A. A fase de alongamento e desenvolvimento do colmo é a fase de maior demanda de água da cultura da cana-de-açúcar.

O peso de colmo é afeto pela disponibilidade de água no solo e pelo genótipo. Silva e Costa (2004) relataram redução no peso de colmos de cana-de-açúcar em um estudo com oito genótipos. Resultados que corroboram com os de Silva et al. (2008) que avaliaram a influência da água nos componentes de produção de oitenta genótipos de cana-de-açúcar. Os autores observaram efeitos negativos do déficit hídrico moderado sobre o peso de colmos, como também, efeito dos genótipos sobre este parâmetro, sendo que há relação linear entre o peso dos colmos com a produtividade de colmos da cultura.

Em relação a produtividade de colmos (*TCH*), na cana-planta as maiores diferenças foram observadas aos 415 DAP. O *TCH* das cultivares SP80-3280 e RB855156 foram 75,8 e 29,9% maiores no ambiente de produção A e C, respectivamente, não havendo diferença na cultivar RB867515. Na cana-soca, aos 280 DAC, o *TCH* de todas cultivares foram maiores no ambiente de produção A, já aos 380 DAC, o *TCH* das cultivares SP80-3280 e RB867515 foram 76,0 e 19,7% no ambiente de produção A, respectivamente, não havendo diferença para cultivar RB855156 (Figura 28).

Dessa maneira, nota-se, que o *TCH* é fortemente influenciado pelo peso de 10 colmos. Nas duas épocas de cultivo, nas três cultivares e nas duas épocas de

avaliação, todo o padrão de resposta obtido para o peso de 10 colmos, manteve-se na produtividade de colmos, havendo pequenas variações, mas não a níveis significativos. Essas pequenas variações se deram em função da variação do número de plantas entre os ambientes de produção. Por exemplo, aos 285 DAP, observou-se que o peso de colmos da cultivar RB867515 foi menor no ambiente de produção C, entretanto, a produtividade de colmos foi maior, fato esse que deve-se ao maior número de plantas por metro que tinha no ambiente de produção C (11,3) do que no ambiente de produção A (10,7).

A disponibilidade de água e a fertilidade do solo foram os principais fatores responsáveis pelo maior peso de colmos no ambiente de produção A. No entanto, dentre esses dois fatores, a água destaca-se como o de maior importância. Segundo Prado (2005), a água ocupa posição de maior destaque no ambiente de produção pois, quando limitante, reduz significativamente a produtividade de colmos da cana-de-açúcar até mesmo em solos mais férteis, e quando adequada, desloca o ambiente de produção favoravelmente até mesmo nos solos com menor potencial químico em subsuperfície. Em um estudo realizado por Vitti e Prado (2012), em dois solos semelhantes na textura e diferentes na química e morfologia (Nitossolo Vermelho eutrófico textura muito argilosa e Latossolo Vermelho distrófico textura muito argilosa), os autores observaram que no Nitossolo, a produtividade de colmos foi 18 t ha^{-1} maior do que no Latossolo, sendo que essa diferença foi relacionada a maior disponibilidade de água no Nitossolo, em que os mesmos constataram que o Horizonte B do Nitossolo apresentava estrutura do tipo prismático e subangular, ao contrário do Latossolo que apresentava estrutura granular. Essa diferença na estrutura, faz com que a drenagem da água seja mais acentuada no Latossolo, reduzindo a disponibilidade de água, ressecando-se mais rapidamente.

Em relação a classificação das cultivares quanto aos ambientes de produção, observou-se que o *TCH* das cultivares na maioria dos resultados estão de acordo com a recomendação das cultivares. A cultivar SP80-3280 que é recomendada para ambientes mais férteis (A e B) obteve maiores produtividades no ambiente de produção A, no entanto, quando ela foi cultivada no ambiente de produção C, o qual não é recomendado, houve redução de 43% da produtividade de colmos nos dois ciclos de cultivo. Já a cultivar RB855156, que é recomendada

para ambientes intermediários (B, C e D), teve redução na produtividade de colmos de 22,9% na cana-planta quando cultivada no ambiente de produção C e produtividade similar nos dois ambientes na cana-soca. Já a cultivar RB867515, que é recomendada para ambientes mais desfavoráveis (C, D e E), teve produtividade similar nos dois ambientes de produção na cana-planta e redução de 16,4% na cana-soca, quando cultivada no ambiente de produção C.

Portanto, a cultivar SP80-3280, demonstrou ser altamente responsiva aos ambientes de produção, tendo aumento significativo da produtividade de colmos quando cultivada em um melhor ambiente de produção. Já as cultivares RB855156 e RB867515, foram mais estáveis e menos responsivas, todavia, a cultivar RB867515, obteve maiores produtividades no ambiente de produção C do que a RB855156, demonstrando ser também ser uma cultivar tolerante.

Ainda em relação a produtividade de colmos, na cana-planta, a média das cultivares foi de 157,9 t ha⁻¹ no ambiente de produção A e de 120,8 t ha⁻¹ no ambiente de produção C. Já na cana soca, a média das cultivares foi de 126,5 e 98,1 t ha⁻¹ nos ambientes de produção A e C, respectivamente. O ciclo da cana-soca ocorreu em condições climáticas diferentes do que o ciclo da cana-planta, tanto em relação ao período de brotação da cultura e desenvolvimento da cultura. Ainda, o ciclo da cana-soca foi 35 dias mais curto do que a cana-planta. Em função disso, observou-se redução na produtividade de colmos de 19,8 e 18,7% da cana-soca nos ambientes de produção A e C, respectivamente. De acordo com Bernardes et al. (2008), a queda de produtividade dos canaviais nos sucessivos cortes é normal, sendo essa queda mais afetada pelo manejo da cultura, do que propriamente pela qualidade do ambiente de produção. Rossi e Bernardes (2012) avaliaram o decaimento da produtividade da cana-de-açúcar durante dezessete anos e observaram que a escolha da cultivar, a manutenção da fertilidade do solo e a realização da colheita em período seco são os principais fatores relacionados com o decaimento da produtividade entre os cortes. Recentemente Ramburan et al. (2013), estudaram os efeitos genéticos, ambientais e de manejo na redução da produtividade da cana-soca na cultura da cana-de-açúcar e sugeriram que maior ênfase deve ser dada ao manejo ambiental da cultura do que focar na seleção de cultivares com maior longevidade.

Em relação a produtividade de açúcar (*TAH*), o padrão de resposta foi similar ao observado no *TCH*. Na cana-planta, a média da *TAH* foi de 19,8 e 16,5 t ha⁻¹ nos ambientes de produção A e C, respectivamente. Na cana-soca, a média da *TAH* foi de 17,8 t ha⁻¹ no ambiente de produção A e de 13,1 t ha⁻¹ no ambiente de produção C. Oliveira et al. (2011) observaram que a produtividade média de açúcar de onze cultivares de cana-de-açúcar foi de 12,3 t ha⁻¹ em condições de sequeiro e de 30,7 t ha⁻¹ em cultivo irrigado, incremento de 18,4 t ha⁻¹ (151%) com a irrigação. Ainda, os autores observaram que o incremento obtido na produtividade de açúcar, foi similar ao incremento obtido na produtividade de colmos (145%), que foi de 80,0 t ha⁻¹ no sequeiro e de 196,0 t ha⁻¹ no irrigado. Em estudo realizado por Gava et al. (2011) com três cultivares de cana-de-açúcar em dois regimes de irrigação, a redução da produtividade de açúcar do cultivo irrigado para o sequeiro, foi similar a redução na produtividade de colmos, em que a redução na produtividade de colmos foi de 19,4 e 28% nas safras 2007 e 2008, respectivamente, e a redução na produtividade de açúcar foi de 15,4 e 30,0% nas mesmas safras.

O colmo é o principal órgão de reserva da cultura da cana-de-açúcar, tendo em sua composição de 86 a 92% de caldo, que por sua vez é composto de água (75 a 82%) e de sólidos solúveis (18 a 25%), correspondendo a maior parte aos açúcares, principalmente sacarose, sendo que em determinadas condições a sacarose pode representar até 98% de açúcar total no colmo (CASTRO, 2016). Dessa maneira, qualquer fator que reduza a produtividade de colmos, acarretará também na redução da produtividade de açúcar.

Quanto a produtividade de massa seca, a influência do ambiente de produção e diferença entre as cultivares foram observadas mais na cana-planta do que na cana-soca (Tabelas 7 e 8). Na cana-planta aos 150 DAP, todas cultivares tiveram maior produtividade de massa seca da parte aérea (MS_{PA}) no ambiente de produção C (aumento de 227%). Já aos 285 DAP, a cultivar SP80-3280 teve maior MS_{PA} no ambiente de produção A, enquanto que a RB867515 teve maior MS_{PA} no ambiente de produção C, não havendo diferença para a cultivar RB855156. Já aos 415 DAP, as cultivares SP80-3280 e RB855156 tiveram maior MS_{PA} no ambiente de produção A, enquanto que a RB867515, teve maior produtividade de MS_{PA} no ambiente de produção C.

Esses resultados estão de acordo com os observados quanto ao desenvolvimento biométrico na cana-planta, em que o desenvolvimento inicial das plantas foi maior no ambiente de produção C (altura das plantas, número de entrenós, diâmetro do colmo, etc). Dessa maneira, o maior desenvolvimento das plantas resultou em maior produtividade de massa de bainha (MS_B), massa seca de folha (MS_F), massa seca de colmo (MS_C) resultando em maior produtividade da MS_{PA} aos 150 DAP.

Aos 285 DAP, a produtividade média da MS_{PA} foi de 44,9 e 41,8 t ha⁻¹ nos ambientes de produção A e C, respectivamente. No ambiente de produção A, a maior MS_{PA} foi obtida pela cultivar SP80-3280 (51,3 t ha⁻¹), e no ambiente de produção C pela cultivar RB867515 (49,7 t ha⁻¹). Aos 285 DAP nota-se grande participação da MS_C no particionamento de biomassa, sendo que aos 285 DAP, a MS_C representava 72,6% da MS_{PA} no ambiente de produção A e 66,5% da MS_{PA} no ambiente de produção C. As cultivares que tiveram maior MS_{PA} , foram as cultivares que tiveram maior produtividade de colmo.

Aos 415 DAP, a produtividade média da MS_{PA} foi de 76,8 e 69,0 t ha⁻¹ nos ambientes de produção A e C, respectivamente. Em relação as cultivares, como na produtividade de colmos, no ambiente de produção A a maior MS_{PA} foi obtida pela SP80-3280 (83,3 t ha⁻¹), e no ambiente de produção C a maior MS_{PA} foi da RB867515 (81,1 t ha⁻¹). Nesse período, observou-se nos dois ambientes de produção, redução na porcentagem da MS_C das cultivares SP80-3280 e RB855156, quando comparado ao particionamento aos 285 DAP.

Faz-se importante destacar que a MS_{PA} da cultivar RB867515 no ambiente C (81,14 t ha⁻¹), foi similar com a da SP80-3280 no ambiente de produção A (83,33 t ha⁻¹), diferença de apenas 2,6%. No entanto, em relação a produtividade de colmos, a diferença entres essas cultivares foi de 21,5%, em que a SP80-3280 teve produtividade de 184,9 t ha⁻¹ no ambiente de produção A, enquanto que a cultivar RB867515 produziu 152,2 t ha⁻¹. Portanto, em relação a produtividade de biomassa, observa-se que a maior produtividade de MS_F e MS_B da cultivar RB867515 no ambiente de produção C, compensou a menor MS_C , tendo o ambiente de produção C, grande potencial para produção de biomassa.

Na literatura existem poucos trabalhos em relação a produtividade de massa seca da cultura da cana-de-açúcar, em que normalmente os trabalhos

apresentam apenas produtividade de colmos. No entanto, de acordo com Inmam-Bamber et al. (2002), para as cultivares Q96 e Q117, cultivadas sob diferentes épocas em cana-soca irrigada por um período de dozes meses, a MS_{PA} variou de 50,0 a 68,00 t ha⁻¹. Em um estudo com 34 experimentos de cana-de-açúcar cultivados em diversas condições climáticas, tipos de solo e com diversas cultivares, a produtividade da MS_{PA} variou de 36,3 a 141,4 t ha⁻¹ (PARK et al., 2005). Silva et al. (2014) observaram que a produtividade de massa seca da parte aérea para o ciclo de 385 dias de cana-soca foi de 64,93 t ha⁻¹, sendo que em torno de 76% da massa seca estava alocada no colmo. Por fim, segundo Waclawovsky et al. (2010), os atuais cultivares de cana-de-açúcar tem potencial de acumular 69,0 t ha⁻¹ de massa seca por ano, enquanto que em cultivos experimentais esse valor pode chegar a 98,0 t ha⁻¹ de massa seca por ano, sendo que o potencial teórico de acúmulo de biomassa por ano na cultura da cana-de-açúcar é de 177,0 t ha⁻¹.

No entanto, observou-se que a produtividade de biomassa seca da cana-de-açúcar foi menos impactada do que a produtividade de colmos em função do ambiente de produção. Na cana-planta, a redução na produtividade média de colmos do ambiente de produção A para o C foi de 23,4%, enquanto que a redução da produtividade de biomassa seca de colmos foi de 9,8%. Na cana-soca, a redução na produtividade de colmos foi de 22,4%, enquanto que a de massa seca foi de 17,9%. Efeito esse que se deve principalmente à maior massa seca de bainha e folha, principalmente na cana-planta, pois, como discutido acima, em situação de deficiência hídrica, o desenvolvimento do colmo é mais afetado do que o desenvolvimento foliar.

Na cana-planta aos 150 DAP, a MS_{PA} era composta de folhas e bainhas, tendo pequena MSC no ambiente de produção C. Enquanto que na cana-soca, aos 150 DAC a MS_C representava 52,2 e 41,7% da MS_{PA} nos ambientes de produção A e C, respectivamente. Essa diferença deve-se ao fato de que na cana-soca o desenvolvimento inicial das plantas foi mais rápido do que na cana-planta, principalmente em relação à altura das plantas, perfilhamento e início da formação dos entrenós, em que as plantas na cana-soca já estavam na fase de alongamento de colmos, enquanto que na cana-planta, no mesmo período, as plantas estavam finalizando o perfilhamento e iniciando a formação de entrenós.

A partir dessa fase, a porcentagem da MS_C das três cultivares aumentou e a MS_B e MS_F reduziu nos dois ambientes de produção até 285 DAP e 280 DAC. Observou-se simetria entre os valores de MS_C e de $MS_F + MS_B$. Ou seja, quando um aumenta o outro se reduz. O aumento da MS_C está relacionado a teoria da relação fonte-dreno entre essas duas estruturas (LIU; BULL, 2001). Silva et al. (2014) também observaram esse padrão de resposta, em que a porcentagem da MS_C tem aumento significativo a partir dos 150 DAP, estabilizando-se aos 250 DAP até o fim do ciclo. Mas de maneira geral, no final do ciclo de cultivo, a porcentagem da MS_C em relação a MS_{PA} foi de 65,5 e 58,5% nos ambientes A e C, respectivamente, enquanto que na cana-soca esses valores foram de 67,3 e 66,2% nos ambientes A e C.

Em uma revisão elaborada por Singels et al. (2005) foi observado que a porcentagens da MS_C na MS_{PA} variou de 59 a 91% em nove estudos, em que o valor médio foi de 71%. Segundo Roberson et al. (1996), a porcentagem de MS_C na planta aumenta de acordo com que se aumenta a biomassa da planta, atingindo os máximos valores quando a cultura entra em maturação. A participação da MS_C na MS_{PA} pode variar em função da disponibilidade de água no solo (INMAM-BAMBER et al., 2002), da temperatura (SINGELS; INMAM-BAMBER, 2002) e da cultivar escolhida (INMAM-BAMBER et al., 2002), sendo que, essa variação ocorre principalmente em função da metodologia utilizada para determinação da massa seca total (INMAM-BAMBER et al., 2002).

Um dos prováveis motivos de que no presente estudo, tenham se observado maiores percentuais de massa seca de folha e bainha e menores de massa seca de colmo, está relacionado a metodologia de coleta da massa seca. Enquanto que na maioria dos estudos a coleta se dá em momentos pontuais do desenvolvimento da planta, no presente estudo, as coletas foram realizadas durante todo o ciclo de cultivo, ou seja, enquanto que neste trabalho as folhas já eram coletadas após pouco tempo (máximo dois meses) delas terem senescido, na maioria dos trabalhos, não há um acompanhamento de coleta, e por isso, quando a coleta é realizada, boa parte das folhas senescentes já se desprenderam do colmo ou já entraram em processo de decomposição, reduzindo dessa maneira, a massa seca dessas estruturas.

No entanto, observou-se redução da porcentagem da MS_C aos 415 DAP, quando comparada aos 285 DAP nas cultivares SP80-3280 e RB855156. No ambiente de produção A, 83,3% da MS_{PA} da cultivar SP80-3280 era MS_C , enquanto que aos 415 DAP, a MS_C reduziu para 73,3%. O mesmo efeito também foi observado para cultivar RB855156 no ambiente de produção A, em que aos 285 DAP, a MS_C representava 68,9% da MS_{PA} , enquanto que aos 415 DAP, a MS_C representou 59,2%. No ambiente de produção C, também houve redução na MS_C para as cultivares SP80-3280 e RB855156. No entanto, em relação a cultivar RB867515, a porcentagem da MS_C aos 285 DAP manteve-se estável aos 415 DAP.

A redução da participação da MS_C das cultivares no MS_{PA} pode estar relacionado ao florescimento mais intenso que ocorreu nessas cultivares no primeiro ciclo de cultivo. Na ocasião da colheita, foi possível observar nas cultivares SP80-3280 e RB855156 a presença da folha bandeira e da inflorescência no interior da planta, enquanto que, na cultivar RB867515, observou-se apenas alteração no meristema apical, de vegetativo para reprodutivo, tendo inflorescência menos desenvolvidas. Do ponto de vista industrial, o florescimento é considerado um fenômeno indesejável, porque sua ocorrência acarreta no deslocamento e energia do colmo para a formação da inflorescência e brotações laterais (CAPUTO et al., 2007). Além disso, o florescimento cessa a formação de novos entrenós, ocorrendo a mudança do meristema apical de vegetativo para reprodutivo, após a indução floral ocorre apenas a expansão dos entrenós e das folhas mais novas (MOORE; BERDING, 2014). A intensidade do florescimento pode variar em função do genótipo e do ambiente (AZEVEDO, 1981).

A relação MS_{F+B}/MS_C , demonstra a quantidade de massa seca de colmo (t ha⁻¹) que é produzida com 1 t ha⁻¹ de massa seca de folha+bainha, ou seja, quanto maior for a relação, mais eficiente será a planta na conversão de biomassa de colmo. Na cana-planta, aos 285 DAP observou-se no ambiente de produção A, que a maior relação foi obtida na cultivar SP80-3280 (5,4), ou seja, para cada 1 t ha⁻¹ de massa seca de folha e bainham, foi produzido 5,4 t ha⁻¹ de MS_C , fato esse que deve-se principalmente a grande produtividade de MS_C nesse período. No entanto, quando cultivada no ambiente de produção C, a relação da cultivar SP80-3280 foi 2,0. A relação das demais cultivares variou de 2,0 a 2,6 nos dois ambientes de produção.

Já aos 415 DAP, a relação das três cultivares diminuiu nos dois ambientes de produção, demonstrando, portanto, que a planta passou a acumular menos MS_C ou acumulou mais MS_B e MS_F . No entanto, observa-se que as cultivares que tiveram maior relação em cada ambiente de produção, também foi as cultivares que tiveram maior relação MS_{F+B}/MS_C (SP80-3280 no ambiente de produção A e RB867515 no ambiente de produção C). Na cana-soca, observou-se que aos 280 e aos 380 DAC, a relação foi maior do que a observada na cana-planta. Fato esse que se deve principalmente a maior redução na MS_F e MS_B , do que propriamente ao aumento da MS_C .

5.3 Eficiência da conversão de energia solar

A eficiência da conversão da energia solar em fito-energia (EC) foi influenciada pelo ambiente de produção e pelas cultivares nos dois ciclos de cultivo da cana-de-açúcar (Tabelas 11 e 14). Segundo Castro (2016), existem basicamente duas maneiras de se aumentar a produtividade de biomassa da cana-de-açúcar: aumentando a interceptação da radiação solar ou tornando mais eficiente o uso da radiação solar na fotossíntese.

A interceptação da radiação solar (IRS) está diretamente relacionada com o índice de área foliar da cultura, sendo que, quanto maior for o IAF , maior será a radiação interceptada. Silva e Costa (2012) avaliaram a interceptação da radiação solar em oito cultivares de cana-de-açúcar e observaram grande variação genotípica em relação aos características agrônômicas (IAF e IRS), que podem determinar o rendimento da cana-de-açúcar em determinadas condições ambientais.

Na cana-planta, a IRS atingiu 80% aproximadamente aos 240 DAP no ambiente de produção A, enquanto que no ambiente de produção foi aos 190 DAP. No ambiente de produção A, a primeira cultivar a atingir 80% da IRS foram a RB855156 e RB867515, enquanto que no ambiente de produção C foi a cultivar RB867515. Na cana-soca, a IRS atingiu 80% aos 150 e 180 DAC nos ambientes de produção A e C, respectivamente. No ambiente de produção A, a primeira cultivar a atingir 80% de IRS foi a RB855156, e no ambiente de produção C a RB867515.

Segundo Robertson et al. (1996), a interceptação da radiação da cana-soca é maior do que a cana-planta, bem como, a interceptação da radiação pelas folhas da cana-de-açúcar inicia mais cedo do que na cana-planta, pelo fato de que a brotação das soqueiras é mais rápida do que a brotação da cana-planta. Singels et al. (2006) relataram que a interceptação da radiação pode ser influenciada pela temperatura do ar e pelo genótipo. Os autores observaram que o tempo necessário para as cultivares atingirem 80% da *IRS* foi de 100 dias para a cultivar NCo376 e de 120 dias para a cultivar CP66/1043 quando plantadas em dezembro. Porém, quando o plantio ocorreu em junho, o tempo necessário para atingir 80% da *IRS* foi de 180 e 230 dias para as mesmas cultivares, respectivamente. O maior tempo necessário para atingir 80% da *IRS* foi atribuído a temperatura do ar, sendo que a média para o plantio de dezembro foi de 23,3°C e de 18,0°C para o plantio de junho.

A *IRS* média das cultivares foi de 57,7 e 61,2% nos ambientes de produção A e C, enquanto que na cana-soca a *IRS* média foi de 55,8 e 64,1% nos ambientes A e C, respectivamente. Robertson et al. (1996) observaram que a interceptação da radiação solar média de duas cultivares foi de 69% na cana-planta e de 73% na cana-soca. De acordo com Robertson et al. (2008), a *IRS* média anual pode variar em função da cultivar escolhida e da época de plantio. Em dois experimentos com diferentes épocas de plantio na África do Sul, em latitudes de 27 a 29°S, a *IRS* média anual variou de 62 a 87%, sendo que os maiores os maiores valores da interceptação ocorreram para plantios realizados próximo a dezembro, enquanto que os menores valores foram para plantio realizados em junho.

Não houve diferença no poder calorífico superior (*PCS*) para este estudo, sendo observado apenas uma variação no *PCS* de 15,6 a 17,5 MJ kg⁻¹ em todas as estruturas das plantas, cultivares e ambiente. Por isso, nos cálculos da eficiência da conversão de energia solar em fito-energia, adotou os valores de 16,71 MJ kg⁻¹ para massa seca de bainha, 17,04 MJ kg⁻¹ para massa seca de folha e 17,00 MJ kg⁻¹ para massa seca de colmo e de perfilho. Em função disso, a padrão de resposta do *PCS* para as diversas estruturas da planta seu deu nas mesmas proporções da produtividade de biomassa seca.

Zulauf et al. (1985) observaram variação de 16,67 a 18,07 no *PCS* de folhas de cana-de-açúcar oriundas de diferentes regiões do Estado de São Paulo. Barbosa et al. (2015) também não observaram diferenças no poder calorífico

superior em diversas estruturas da cana-de-açúcar, em que o valor médio observado foi de 16,79 a 17,98 MJ kg⁻¹. Valor similar foi obtido por Lynd et al. (2008), que sugeriram o valor de 17,4 MJ kg⁻¹. De acordo com Silva e Moraes (2008), o *PCS* pode ser alterado em função da umidade do material de amostra, sendo que, quanto maior for a presença de umidade na amostra, menor será o *PCS*.

Na cana-planta, o *PCS* médio das cultivares foi de 1.266,84 GJ ha⁻¹ no ambiente de produção A e de 1.143,55 GJ ha⁻¹ no ambiente de produção C. Já na cana-soca, o *PCS* médio das cultivares foi de 949,03 GJ e 776,61 GJ ha⁻¹ nos ambientes de produção A e C, respectivamente. Pordesimo et al. (2004) observaram que o *PCS* foi de 732,0 GJ ha⁻¹ para uma produtividade de biomassa seca de 42,5 t ha⁻¹. Botha (2009) relatou que para uma produtividade de 35 t ha⁻¹ de massa seca, o *PCS* foi de 551 GJ ha⁻¹. Como o *PCS* é praticamente igual entre as estruturas da planta, o *PCS* total por hectare se dá basicamente em função da produtividade de biomassa, sendo pouco influenciado por manejo, condições climáticas e cultivares.

A eficiência do uso da radiação (*EUR*) é uma análise de crescimento baseada na radiação solar, e não em função do tempo (cronológico), por isso o acúmulo de biomassa é normalizado pelo o somatório da energia solar interceptada no decorrer do tempo de um cultivo. Assim, é possível avaliar e comparar o crescimento vegetal entre cultivos, em ambientes com níveis de radiação solar diferentes. A análise de crescimento em função do tempo gera avaliações confusas devido às diferentes condições meteorológicas (SINCLAIR; MUCHOW, 1999). Como o valor da *EUR* varia pouco quando as condições ambientais não são seriamente limitantes (BONHOMME, 2000), esse índice avalia se a cultura está expressando o seu potencial de produção naquele ambiente radiativo. A *EUR* é potencial (máxima) quando a cultura cresce em condições ótimas (temperatura do ar e do solo, conteúdo de água no solo, fertilidade do solo e fitossanidade) de cultivo (geralmente determinada em experimentos), sendo primordial para calcular a produção máxima de biomassa de uma espécie num determinado ambiente (SOLTANI; SINCLAIR, 2012).

No presente estudo, houve diferença na *EUR* em função dos ambientes de produção e das cultivares. Tanto na cana-planta como na cana-soca, a *EUR* foi menor aos 150 DAP e DAC, no entanto, na cana-planta, a *EUR* foi menor, em que

a *EUR* médias das cultivares foi de 0,34 e 0,99 g MJ⁻¹ nos ambientes de produção A e C, respectivamente, enquanto que na cana-soca a *EUR* médias das cultivares aos 150 DAC foi de 1,08 e 0,68 g MJ⁻¹ nos ambientes de produção A e C, respectivamente.

De maneira geral, a *EUR* foi maior no ambiente de produção A na cana-planta e cana-soca, com exceção da fase inicial de desenvolvimento da cultura (150 DAP) no ambiente de produção C na cana-planta. Na cana-planta a *EUR* média do ciclo foi de 1,60 e 1,51 g MJ⁻¹ nos ambientes A e C respectivamente, enquanto que na cana-soca a *EUR* média do ciclo foi de 1,71 e 1,07 g MJ⁻¹. Segundo Muchow et al. (1997), os valores ideais para cultura da cana-de-açúcar durante todo o ciclo de cultivo estão entre 1,7 a 2,0 g MJ⁻¹. Conforme estudos de Park et al. (2005), em quatorze experimentos com a cultura da cana-de-açúcar, a *EUR* foi de 1,37 g MJ⁻¹ na cana-planta e de 1,19 g MJ⁻¹ na cana-soca.

Portanto, os resultados obtidos neste estudo estão de acordo com os resultados apresentados na literatura para a cultura da cana-de-açúcar. E os valores obtidos da *EUR* em relação as cultivares e aos ambientes de produção estão de acordo com os da produtividade de *MS_{PA}*, sendo que, as cultivares que tiveram maior *EUR*, foram as cultivares que tiveram maior produção de biomassa, no entanto, comparando as respostas da *EUR* com os de produtividade de biomassa, observa-se que a *EUR* teve maior significância no ambiente de produção A do que no ambiente de produção C. Esses valores são em função da maior radiação disponível no ambiente de produção C, pois, a radiação total disponível foi 5,5 e 6,2% maior no ambiente de produção C na cana-planta e cana-soca, respectivamente.

Dessa maneira, no ambiente de produção C, as plantas tiveram menor *EUR* por dois motivos, o primeiro deve-se a fatores ambientais, sendo que a maior radiação solar disponível no ambiente de produção C não foi convertida em biomassa; e o segundo, deve-se a fatores fisiológicos, em que as plantas tiveram menor eficiência em converter a radiação solar em biomassa. De acordo com Silva e Costa (2012), o déficit hídrico pode reduzir a *EUR* na cultura da cana-de-açúcar. Os autores observaram que a *EUR* de plantas irrigadas variou de 1,63 a 2,09 g MJ⁻¹, enquanto que a *EUR* em plantas sob déficit hídrico variou de 0,71 a 1,03 g MJ⁻¹.

Em relação a eficiência da conversão de energia solar em fito-energia, de maneira geral, observou-se diferença entre os ambientes de produção, cultivares, ciclos de cultivo e fase de crescimento da cultura. Observou-se que a *EC* é baixa na fase inicial de desenvolvimento da cultura, não ultrapassando 2,3% na cana-planta e na cana-soca. Particularmente na cana-planta, houve efeito significativo do ambiente de produção nesse período, em que a *EC* média foi de 0,57% no ambiente de produção A e de 1,68% no ambiente de produção C, fato esse que deve-se ao baixo desenvolvimento inicial das três cultivares do ambiente de produção A. No entanto, aos 285 e 415 DAP, a *EC* de todas cultivares foi superior no ambiente de produção A, sendo que entre os 285 aos 415 DAP, houve pequena variação. A *EC* média no ambiente de produção A foi de 3,8% e de 2,93% no ambiente de produção C. Sendo importante ressaltar, que a maior *EC* no ambiente de produção C foi de 3,17 (RB867515), valor 30% menor do que a maior *EC* obtida no ambiente de produção A pela cultivar SP80-3280 (4,54).

Já na cana-planta, a *EC* foi maior no ambiente de produção A em todas épocas de avaliação. Aos 150 DAC, a *EC* foi maior na cana-soca do que na cana-planta, em que a médias foi de 1,80 e de 1,13% nos ambientes de produção A e C, respectivamente. Observou-se ainda, que a *EC* da cana-soca no fim do experimento foi menor do que na cana-planta, em que a *EC* média no ambiente de produção A foi de 3,39% e de 2,42% no ambiente de produção C.

Além da maior disponibilidade de água e maior fertilidade do solo do ambiente de produção A, a maior quantidade de radiação difusa neste ambiente também pode ter contribuído para a maior *EUR* e *EC* das cultivares. Nos dois ciclos de cultivo, principalmente entre outubro a fevereiro houve menor radiação global no ambiente de produção A, fato esse que deve-se principalmente ao maior índice de nebulosidade da região, o que reduz a radiação solar direta e aumenta a radiação solar difusa. De acordo com Sinclair et al. (1992), ambientes em que há maior fração da radiação difusa ocorre aumento na *EUR* das plantas, porque a contribuição do acúmulo de carbono diário das folhas sombreadas (folhas mais baixas do dossel) aumenta quando a fração da radiação difusa aumenta, fato este constatado tanto em espécies C4 como em espécies C3. O aumento da fração da radiação difusa pode aumentar o rendimento final da cultura e eficiência no uso da radiação em até 50% (HEALEY et al., 1998). Essas mesmas constatações foram

realizadas por Elings et al. (2012), que observaram aumento das taxas fotossintéticas com o aumento da fração da radiação difusa, que por sua vez, melhora a distribuição da luz ao longo do dossel da planta aumentando a eficiência da planta na absorção de luz.

Quanto as cultivares, de maneira geral, a SP80-3280 teve maior *EC* no ambiente de produção A nos dois ciclos de cultivo, enquanto que no ambiente de produção C teve menor *EC*. No ambiente de produção C, a maior *EC* foi da cultivar RB867515, tendo sua eficiência aumentada quando cultivada no ambiente de produção A, mas sempre inferior a cultivar SP80-3280. A cultivar RB855156 teve *EC* intermediária nos dois ambientes de produção.

Os primeiros trabalhos que abordaram a eficiência da conversão de energia solar em fito-energia, apontaram valores teóricos de 13%, enquanto que na prática a *EC* seria algo em torno de 8 a 9% (BOLTOL; HALL, 1991). No entanto, de acordo com Long et al. (2006) e Zhao et al. (2008; 2010), considerando condições ideais de desenvolvimento, a máxima conversão da energia solar em biomassa em espécies C4 é de 6,0%. Já Melis (2009) sugeriu que a máxima eficiência da conversão de energia solar em fito-energia está em torno de 8 a 10%. Amthor (2010) relatou que a máxima eficiência teórica da conversão da energia solar em fito-energia é de 5,94%, e que a eficiência real é de 2,2%. Recentemente, Ferreria Júnior et al. (2015) avaliaram a *EC* na cultura da cana-de-açúcar irrigada em dois espaçamentos entrelinhas e observaram que os valores foram de 4,4% no espaçamento simples e de 4,5% no espaçamento combinado.

Dessa maneira, os valores da *EC* obtidos neste trabalho encontram-se dentro da faixa dos valores apresentando acima, sendo que a máxima *EC* foi obtida pela cultivar SP80-3280 no ambiente de produção na cana-planta (4,54%), como também, a menor *EC* foi obtida pela mesma cultivar no ambiente de produção C na cana-soca (2,10%). Demonstrando, portanto, que o ambiente de produção impacta de maneira diferente a *EC* de diferentes genótipos de cana.

Como os valores do *PCS* da cana são relativamente constantes, há duas formas de se aumentar a eficiência da conversão de energia na cultura da cana-de-açúcar. Posicionar a cultura da cana-de-açúcar em regiões com maior disponibilidade de energia, e os segundo, aumentar a eficiência do uso da radiação,

ou seja, aumentar a eficiência da planta em produzir biomassa, sendo este, o fator mais limitante da cultura da cana-de-açúcar.

Segundo Zhao et al. (2008), em condições ideais de desenvolvimento, de toda radiação global que incide na folha, 51,3% é radiação fora do espectro ativo para as plantas (400 a 740 nm); 4,9% é refletida ou transmitida; 6,6% refere-se à ineficiência fotoquímica (perda através de calor); 28,7% é utilizada para síntese de carboidratos e 2,5% é utilizada na respiração. Dessa maneira, qualquer fator que reduza a eficiência deste processo, estará afetando a EC.

De acordo com Beadle e Long (1988), embora existem diversos fatores que possam determinar a produtividade das culturas, a fotossíntese estabelece o limite máximo da eficiência com a qual a energia solar pode ser convertida e armazenada em energia química, isto é, biomassa, sendo a fotossíntese, a fonte final de toda a produção de biomassa. Sendo assim, qualquer fator que reduza a eficiência fotossintética, reduzirá a eficiência da conversão de energia solar em fito-energia.

No presente estudo, observou-se que a menor quantidade de radiação difusa, a deficiência de água e de nutrientes no solo, foram os principais fatores que reduziram a *EUR* e *EC* das cultivares do ambiente de produção C nos dois ciclos de cultivo, quando comparadas as do ambiente de produção A, em que a redução média na *EC* do ambiente de produção A para o C foi de 23,6% na cana-planta e de 33,92% na cana-soca.

Em relação a água, a influência na eficiência da conversão de energia solar em fito-energia na cultura da cana-de-açúcar se dá de maneira direta e indireta. A influência direta está redução e/ou limitação dos processos fisiológicos e bioquímicos da planta, limitando diretamente a eficiência fotossintética da planta (BARBOSA et al., 2015; INMAN-BAMBER et al., 2005; SILVA et al., 2014; BASNAYAKE et al., 2015; GHANNOUM, 2016); e a influência indireta refere-se a redução no desenvolvimento da cultura, principalmente o *IAF*, ocasionando a redução na interceptação da radiação solar pelas da cultura (INMAN-BAMBER et al., 2005; SMIT; SINGELS, 2006; SILVA; COSTA, 2014), no entanto, o *IAF* das plantas é reduzido quando os processos fisiológicos e bioquímicos da planta já foram afetados pela falta d'água, dessa maneira, a redução do *IAF*, é uma maneira da planta evitar a perda de água através da transpiração (INMAN-BAMBER, 2004).

A limitação da fotossíntese das plantas de cana-de-açúcar sob déficit hídrico pode ser de origem estomática ou não-estomática. A limitação de origem estomática está relacionada aos estômatos. Em condições de déficit hídrico, a planta fecha os poros estomáticos de modo a se reduzir a perda de água para a atmosfera, no entanto, o fechamento dos poros estomáticos reduz a entrada de CO₂ para interior da folha, causando redução das taxas fotossintéticas devido à falta de CO₂ intracelular (FARQUHAR; SHARKEY, 1982). Diversos estudos demonstraram redução da condutância estomática e da transpiração foliar de plantas de cana-de-açúcar quando submetidas ao déficit hídrico (GRAÇA et al., 2010), sendo que, quando o potencial de água na folha fica próximo a -1,5 MPa pode ocorrer redução de 80 a 90% na condutância estomática (SMIT; SINGELS, 2006). No entanto, de acordo com Ghannoum (2003; 2009), o fechamento estomático não é o fator limitante em espécies C₄, pois mesmo que a planta feche os estômatos e reduza a entrada de CO₂ para o interior da folha, as taxas fotossintéticas permanecem altas, pois espécies C₄ possuem alterações morfológicas e bioquímicas, que aumentam concentração de CO₂ para Rubisco em até 10 vezes, e que, até que ocorra a redução do CO₂ intercelular, outros fatores já limitam a fotossíntese, por exemplo, a redução da atividade metabólica das enzimas de carboxilação.

Quanto aos fatores não-estomáticos, são os fatores não relacionados aos estômatos, podendo ser de origem fotoquímica ou bioquímica. Os fatores fotoquímicos estão relacionados com a integridade do fotossistema II da fotossíntese, que é responsável pela absorção da energia solar, em que a energia solar absorvida será convertida em energia química (ATP e NADPH), sendo estes, os principais combustíveis da vida no planeta (POKORSKA et al., 2009). No entanto, quando a planta está sob déficit hídrico em condições de intensa luminosidade e presença do O₂, pode ocorrer danos no fotossistema II, fenômeno esse que é conhecido como fotoinibição da fotossíntese (ARAÚJO; DEMINICIS, 2009). Conforme observações de Silva et al. (2014), em um estudo com oitenta genótipos de cana-de-açúcar, observaram que não houve fotoinibição nas cultivares mais tolerantes ao déficit hídrico. A habilidade das plantas em manter maior eficiência do fotossistema II sob estresse, pode ser um indicativo de maior

eficiência no uso da radiação, possibilitando maior assimilação de carbono (SILVA et al., 2007).

De acordo com Ripley et al. (2007) e Ghannoum (2009), não são os fatores fotoquímicos que limitam a fotossíntese das espécies C4, e sim, os fatores de origem bioquímica, através da redução da atividade das enzimas de carboxilação PEPcase e Rubisco, reduzindo dessa maneira, a assimilação líquida de CO₂. Esses resultados estão de acordo com os observados por Barbosa et al. (2015) na cultura da cana-de-açúcar, os autores observaram redução significativa da atividade da PEPcase e Rubisco, sugerindo também, que a limitação da fotossíntese da cana-de-açúcar sob déficit hídrico ocorre devido a limitação bioquímica.

A capacidade da cultura da cana-de-açúcar em se desenvolver em ambientes com baixa disponibilidade de água no solo depende de diversos fatores, como a as condições climáticas do ambiente (temperatura do ar, déficit de pressão de vapor e umidade relativa do ar); textura do solo; a intensidade, duração e número de exposições da planta ao déficit hídrico; e por fim, do genótipo selecionado (LARCHER, 2000; SILVA et al., 2014).

Nos últimos anos, diversos estudos demonstraram que a capacidade da cana-de-açúcar ser ou não tolerante ao déficit hídrico, pode estar relacionada a alguns características fisiológicas e bioquímicas. Silva et al. (2007) observaram em um estudo com oito genótipos de cana-de-açúcar, quatro características fisiológicas que podem auxiliar na seleção de cultivares mais tolerantes ao déficit hídrico (razão entre fluorescências variável e máxima da clorofila *a*; eficiência quântica potencial do fotossistema II; conteúdo de clorofila na folha via índice SPAD e conteúdo relativo de água na folha). As características citadas acima também foram avaliadas por Silva et al. (2014) em oitenta genótipos de cana-de-açúcar, em que os autores observaram correção positiva dessas características com a produtividade de colmos, podendo utiliza-las em programas de melhoramento de cana-de-açúcar. Além dessas características fisiológicas, recentemente observou-se que, sistemas de enzimas antioxidantes também podem ser utilizados na identificação de genótipos tolerantes ao déficit hídrico (SALES et al., 2013; BOARETTO et al., 2014; SANTOS et al., 2015).

A fertilidade do solo também pode influenciar a *EUR* e a *EC* da cana-de-açúcar, principalmente na presença de água, que é o principal transportador dos

nutrientes na planta. Como a *EUR* e a *EC* são diretamente dependentes da fotossíntese, qualquer nutriente que limite a fotossíntese da cana-de-açúcar, ocasionará também a redução da *EUR* e da *EC*. Sinclair e Horie (1989) observaram na cultura do milho, que a eficiência do uso da radiação aumentou conforme aumentou-se o teor foliar de N, sendo encontrado alta correlação do maior teor de N foliar com as taxas de assimilação de CO₂. Na cultura da cana-de-açúcar, o nitrogênio tem papel importante no desenvolvimento vegetativo das plantas, tendo forte influência sobre o perfilhamento e o índice de área foliar (ROBINSON et al., 2014), incrementando também a produtividade de colmos e de açúcar (RHEIN et al., 2016).

A assimilação de CO₂ depende diretamente da assimilação de fósforo pelas plantas, em que o fósforo é constituinte de moléculas altamente energéticas, sendo a base do perfilhamento e do crescimento radicular e da parte aérea (KINGSTON, 2014). Zambrozi et al. (2014) observaram que plantas bem nutridas com fósforo tem sua performance aumentada, principalmente pelo aumento da assimilação de CO₂, da transpiração, da condutância estomática, resultando em plantas com maior área foliar e maior produtividade de massa seca. O potássio na cana-de-açúcar é o nutriente mais extraído, tendo papel fundamental na ativação de mais de 50 enzimas envolvidas na síntese de amido, bem como, auxilia no controle estomático e na osmoregulação da planta, sendo um grande transportador de açúcar floema (KINGSTON, 2014), por isso, a cana-de-açúcar é bem responsiva a nutrição com potássio, que promove incremento no número de perfilhos por metro, no comprimento, diâmetro e peso do colmo, bem como no rendimento de colmo e de açúcar (SHUKLA et al., 2009).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que o ambiente de produção influencia a eficiência de uso da radiação solar e a eficiência da conversão de energia solar em fito-energia na cultura da cana-de-açúcar, impactando a produtividade de colmos e de biomassa da cultura, bem como, o desenvolvimento das plantas, sendo que essas variáveis estão diretamente ligadas ao genótipo, que pode apresentar maior ou menor eficiência em função do ambiente de produção.

O ambiente de produção é composto por quatro componentes: profundidade, fertilidade, textura do solo e água. No presente estudo, a profundidade não foi considerada um fator limitante para a cultura nos dois ambientes de produção. Portanto, a fertilidade, a textura do solo, a radiação e a água foram os principais componentes que aumentaram e reduziram a eficiência das plantas em cada ambiente de produção.

Não foi possível identificar qual foi o peso de cada componente do ambiente de produção no rendimento da cultura. No entanto, acreditamos que a água foi o componente de maior importância nos ambientes de produção, sendo este componente o responsável pela maior eficiência das plantas no ambiente de produção A, que no caso, por ter um solo com teor de argila quase três vezes maior do que no ambiente de produção C, possui maior capacidade de armazenar e disponibilizar água para as plantas. Dessa maneira, a maior quantidade de água disponível no ambiente de produção A potencializou a maior fertilidade do solo do ambiente de produção A.

Nossas observações estão de acordo com as informações técnicas de Prado (2005), que é um dos pesquisadores responsáveis pela elaboração dos ambientes de produção, que relata que a água é o componente de maior destaque no ambiente de produção, podendo aumentar o potencial produtivo de solos

pobres, e limitar o potencial de solos férteis. Em um estudo recente de Koonjah et al. (2016) sobre o efeito do déficit hídrico na fotossíntese da cana-de-açúcar, os autores concluíram que o déficit hídrico é a principal causa da redução da produtividade das plantas, e que, durante o início do estresse, vários processos que determinam o rendimento da cultura são afetados, sendo que, o primeiro processo afetado é a taxa de extensão da planta, seguido pela redução na interceptação da luz e nas taxas fotossintéticas. A redução da área foliar da cultura sob déficit hídrico, reduz a interceptação da radiação solar pelo dossel das plantas, que por sua vez reduz a capacidade da planta em converter energia solar em biomassa pelo processo da fotossíntese.

Portanto, ambientes de produção que possuem solos com baixo teor de argila, terão por consequência menor capacidade em armazenar água no solo. Dessa maneira, em vista da elevada importância da água para a cultura da cana-de-açúcar, faz-se necessário a adoção de manejos físicos, químicos e biológicos que aumentem a capacidade do solo em armazenar e disponibilizar água para as plantas, que por sua vez, aumentará a eficiência das plantas em converter radiação solar em biomassa.

Também deve-se ressaltar o efeito da radiação na eficiência de uso da radiação e na eficiência da conversão de energia solar em fito-energia. Na cana-planta e na cana-soca no período de outubro a fevereiro houve menor radiação global disponível na superfície do solo no ambiente de produção A, fato esse que ocorreu devido a maior nebulosidade presente na região nesse período, que por sua vez, faz com que ocorra redução da radiação direta e aumento da radiação difusa. A radiação difusa aumenta a *EUR* das plantas, pelo fato de melhorar a distribuição de luz no dossel da planta, fazendo com que as folhas sombreadas aumentem a eficiência fotossintética, contribuindo para maior acúmulo de biomassa da planta.

O sistema de recomendação de cultivares de cana-de-açúcar através dos ambientes de produção mostrou-se eficiente para o rendimento de colmos, que por sua vez, foi maior no ambiente de produção A, justamente com a cultivar recomendada para ambientes de maior qualidade (SP80-3280), enquanto que, no ambiente de produção C, o maior rendimento de colmos foi verificado com a cultivar

RB867515, que no caso, é classificada como tolerante ao déficit hídrico, sendo recomendada para ambientes de produção de menores qualidades.

No entanto, quando se considera a produtividade de biomassa, o sistema de ambientes de produção pode ser não tão eficiente, sendo que, a redução da produtividade de biomassa é menos impactada entre os ambientes de produção do que o rendimento de colmos. Esses resultados foram observados principalmente no primeiro ciclo de cultivo, em que a maior produtividade de colmos no ambiente de produção A foi de 184,9 t ha⁻¹ com a cultivar SP80-3280, enquanto que no ambiente de produção C, a maior produtividade foi de 152,2 t ha⁻¹, diferença de 21,5%. Já a produtividade de biomassa da parte aérea foi de 83,3 t ha⁻¹ e de 81,1 t ha⁻¹, diferença de 2,7%.

Nos últimos anos a biomassa da cana-de-açúcar passou a ter maior destaque no cenário nacional, pelo fato dela poder ser utilizada na co-geração de bioenergia, como também, para produção de etanol celulósico (etanol 2G). Dessa maneira, o ambiente de produção C, no caso a região Oeste do Estado de São Paulo, destaca-se como uma região de alto potencial para produção de biomassa de cana-de-açúcar, devido à elevada quantidade de energia solar disponível, aliada com altas temperaturas do ar, que estimulam o desenvolvimento da cultura. A produtividade similar de biomassa entre os ambientes de produção está relacionada ao fato da maior produtividade de massa seca de folhas e bainha obtidos no ambiente de produção C, enquanto que no ambiente de produção A, a massa seca está presente principalmente no colmo. Esses resultados estão de acordo com diversos estudos com a cultura da cana-de-açúcar que apontam que em condições de déficit hídrico, o desenvolvimento do colmo é mais afetado do que o desenvolvimento foliar (BATCHELOR et al., 1992; INMAN-BAMBER, 2004; INMAN-BAMBER; SMITH, 2005).

Ainda em relação aos ambientes de produção, observamos que, apesar do sistema considerar que a classificação dos ambientes de produção é definida em função de fatores físicos, químicos, mineralógicos e hídricos do solo associados aos clima regional (precipitação, temperatura, radiação e evaporação), o fator temperatura é utilizado apenas para o cálculo da evapotranspiração potencial, determinando a disponibilidade de água da região, não sendo considerado como um fator do desenvolvimento da planta, em função de sua fisiologia. Essas

considerações foram observadas principalmente na fase inicial da cultura na cana-planta, quando a água não era um fator limitante, em que a produtividade de biomassa das cultivares do ambiente de produção C foi 3,2 vezes maior do que no ambiente de produção A. Dessa maneira, ambientes de produção da mesma classe podem ter potenciais produtivos diferentes em função da temperatura do ar, sendo que, ambientes de produção A localizados em regiões de temperaturas mais amenas, possuem menor eficiência do que os mesmos ambientes localizados em regiões de temperatura mais altas.

Em publicação recente de Bertolani et al. (2015), o sistema de classificação de solos ambientes de produção, passou a integrar também a variável climática. Dessa maneira, o sistema está deixando de ser somente de caráter edáfico (somente solo) e está se tornando edafoclimático (solo e clima). Nesse novo sistema, além da informação dos solos que são representados por letras (A, B, C, D e E), o clima também será representado através de algorismos romanos (I, II, III, IV e V). Dessa maneira, nesse novo sistema, a expectativa de rendimento de colmos de cana-de-açúcar em uma determinada região, será em função das características do solo e do ambiente (principalmente em relação a temperatura).

Em relação as cultivares, nossos resultados corroboraram com diversos estudos já evidenciados na cultura da cana-de-açúcar, em que, há grande variação do rendimento da cultura em razão da maior ou menor eficiência de genótipos em determinados ambientes de produção. Dessa maneira, o conhecimento da eficiência de cada genótipo em determinados ambientes de produção, é uma excelente ferramenta para obtenção de maiores produtividades, de modo a se aproveitar de maneira mais eficiente os recursos ambientais. E nosso estudo, a eficiência da conversão da energia solar em fito-energia da cultivar SP80-3280 reduziu em 37,6 e 45,7% quando foi cultivada no ambiente de produção C na cana-planta e cana-soca, respectivamente.

Por fim, a cultura da cana-de-açúcar ocupa aproximadamente nove milhões de hectares no Brasil, tendo produtividade média nacional muito abaixo do potencial genético da cultura. O sistema de ambientes de produção contribuiu e vem contribuindo muito com o setor canavieiro, auxiliando no melhor entendimento da interação ambiente x solo. Dessa maneira, o posicionamento de genótipos adaptados a cada ambiente de produção é uma ferramenta que pode aumentar a

produtividade de colmos, de biomassa e a eficiência da conversão de energia solar em fito-energia na cultura da cana-de-açúcar. No entanto, apesar desse sistema ser amplamente utilizado na cultura da cana-de-açúcar, há poucos resultados científicos divulgados quanto a esse sistema, em que, grande parte das informações estão disponíveis apenas para o setor privado, na forma de relatórios técnicos, sendo divulgado apenas resultados e metodologias superficiais para o público em geral, dificultando dessa maneira, o desenvolvimento de metodologias e informações, que possam contribuir para o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar.

7 CONCLUSÕES

A eficiência da conversão de energia solar em fito-energia (*EC*) das cultivares SP80-3280, RB855156 e RB867515 na cana-planta e cana-soca foi maior no ambiente de produção A devido a maior disponibilidade de água no solo, maior fração da radiação difusa e fertilidade do solo, em que, a *EC* média das cultivares foi de 3,84 e 3,42% no ambiente de produção A e de 2,93 e 2,24% no ambiente de produção C na cana-planta e soca, respectivamente.

A produtividade de colmo na cana-planta e cana-soca foi 30,2 e 28,9% maior no ambiente de produção A, no entanto, em relação a produtividade de biomassa houve menor diferença entre os ambientes, em que a produtividade foi 11,2 e 21,9% menor na cana-planta e cana-soca no ambiente de produção C, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, A. G. **Sugarcane physiology: a comprehensive study of the Saccharum source-to-sink system**. Amsterdam: Elsevier, 752p., 1973.

AMTHOR, J. S. From sunlight to phytomass: on the potential efficiency of converting solar radiation to phyto-energy. **New Phytologist**, v.188, p.939-959, 2010.

ARANTES, J. **Ambientes de produção como ferramenta de produtividade para cana-de-açúcar**. Disponível e: < <http://www.nutricaodesafras.com.br/ambientes-de-producao-como-ferramenta-de-produtividade-para-cana-de-acucar-ambicana>> Acesso em nov. 2016.

ARAÚJO, S. A. C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da fotossíntese. **Brazilian Journal of Biosciences**, v.7, p. 463-472, 2009.

AZEVEDO, H. J. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Araras: Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar, 1981. 108p. (Apostila).

BARBOSA, A. M.; GUIDORIZI, K. A.; CATUCHI, T. A.; MARQUES, T. A.; RIBEIRO, R. V.; SOUZA, G. M. Biomass and bioenergy partitioning of sugarcane plants under water déficit. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.32, p.142-149, 2015.

BATCHELOR, C. H.; SOOPRAMANIEN, G. C.; DAVIS, R. M. Influence of moisture stress on sugar cane leaf and stem extension. **Revue Agricole et Sucriere de l'île Maurice**, v.71, p.312–323, 1992.

BASNAYAKE, J.; JACKSON, P. A.; INMAN-BAMBER, N. G.; LAKSHMANAN, P. Sugarcane for water-limited environments. Variation in stomatal conductance and its genetic correlation with crop productivity. **Journal of Experimental Botany**, v.194, p.1-14, 2015.

BEADLE, C. L.; LONG, S. P. Photosynthesis – is it limiting to biomass production? **Biomass**, v.8, p.119-128, 1985.

BERNARDES, M. S.; PRELLWITZ, W. P. V.; BRAGA JUNIOR, R. L. C.; SUGUITANI, C.; BEAUCLAIR, E. G F.; CÂMARA, G. M. S. Equação para estimativa de produtividade dos sucessivos cortes associada ao ambiente de produção e manejo da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) in 9° **Congresso Nacional da Stab**, Maceió, AL., 2008.

BERTOLANI, F. C.; JOAQUIM, A. C.; DONZELLI, J. L. **Sistema de classificação edafoclimática para a cultura da cana-de-açúcar**. In: Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos. 1 ed. Brasília, Embrapa. p.363-373, 2015.

BELL, M. J.; GARSIDE, A. L. Shoot and stalk dynamics and the yield of sugarcane crops in tropical and subtropical Queensland, Australia. **Field Crops Research**, v. 92, p.231-248, 2005.

BLACKBURN, F. **Sugarcane**. Longman, New York, ISBN: 0-582-46028-X, 414 pp. 1984.

BNDES and CGEE—Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social & Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Sugarcane-based bioethanol: energy for sustainable development**. BNDES, Rio de Janeiro, 2008.

BOARETTO, L. F.; CARVALHO, G.; BORGIO, L.; CRESTE, S.; LANDELL, M. G. A.; MAZZAFERA, P.; AZEVEDO, R. A. Water stress reveals differential antioxidant responses of tolerant and non-tolerant sugarcane genotypes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 74, p. 165-175, 2014.

BOLTON, J. R.; HALL, D. O. The maximum efficiency of photosynthesis. **Photochemistry and Photobiology**, v.52, p.545-548, 1991.

BONASSI, T. A.; OLIVEIRA, A. C. E.; OTTO, R.; SARTORI, R. H.; FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O. **Marcha de absorção de N, P e K em diferentes condições edafoclimáticas do Estado de São Paulo**. In: São Paulo: USP., 2010. Disponível em <<https://uspdigital.usp.br/siicusp/cdOnlineTrabalhoVisualizarResumo?numeroInscricaoTrabalho=1395&numeroEdicao=18>> Acesso em nov. 2016.

BONHOMME, R. Beware of comparing RUE values calculated from PAR vs solar radiation or absorbed vs intercepted radiation. **Field Crop Research**, v.68, p.247-252, 2000.

BONNET, G. D. **Developmental stages (phenology)**. In: Sugarcane: physiology, biochemistry & functional biology. 1 ed. Wiley. p.35-53, 2014.

BOTHA, F. C. Energy yield and cost in a sugarcane system. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technology**, v.31, p.1-10, 2009.

BRASIL – **Ministério do Meio Ambiente**. Acordo de Paris. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>>. Acesso em: 09 nov. 2016.

BRAY, E. A. Plant response to water deficit. **Trends in Plant Science**, v.2, p.48-54, 1997.

CAPUTO, M. M. et al. Acúmulo de sacarose, produtividade e florescimento de cana-de-açúcar sob reguladores vegetais. **Interciencia**, v.32, p.834-840, 2007.

CAMPBELL, J. A.; ROBERTON, M. J.; GROF, C. P. L. Temperature effects on node appearance in sugarcane. **Australian Journal Plant Physiology**, v.25, p.815-818, 1998.

CASAGRANDE, A. A.; VASCONCELOS, A. C. M. **Fisiologia da parte aérea**. In: Cana-de-Açúcar, Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas-IAC, 882 p., 2010.

CASTRO, P. R. C.; SOUZA, M. R. Tópicos de fisiologia: propagação vegetativa. **Revista STAB**, v.33, p.18-19, 2014.

CASTRO, P. R. C.; SOUZA, M. R. Tópicos de fisiologia: perfilhamento. **Revista STAB**, v.33, p.22-23, 2015.

CASTRO, P. R. C. **Fisiologia aplicada à cana-de-açúcar**. Piracicaba: STAB, 208p., 2016.

CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M. L.; RICARDO, C. P. P.; OSÓRIO, M. L.; CARVALHO, I.; FARIA, T.; PINHEIRO, C. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis e growth. **Annals of Botany**, v.89, p.907-916, 2002.

CHRISTOFFOLETI, P.J. **Aspectos fisiológicos da brotação, perfilhamento e florescimento da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1986. 80 p.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, Safra 2016/17. v.3, p.1-72, 2016.

DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J. L. C.; FARIAS, C. H.; AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C. A. V. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.283-288, 2006.

DILLEWIJN, C. **Botany of sugarcane**. The Chronica Botanica, Waltham, v.1, p.53-58, 1952.

DIOLA, V.; SANTOS, F. **Fisiologia**. In: Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e etanol – tecnologias e perspectivas. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, p.25-49, 2012.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO. 193 p
AZEVEDO, H. J. Fisiologia da cana-de-açúcar. Araras: Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar, 1981. 108 p. Apostila, 1979.

ELINGS, A.; DUECK, T.; MEINEN, E.; KEMPKES, F. Analysis of the effects of diffuse light on photosynthesis and crop production. IV International Symposium on Models for Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation. Disponível em: <http://www.actahort.org/books/957/957_4.htm> Acesso em março de 2017.

EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 312p

FARQUHAR, G. D.; SHARKEY, T. D. Stomatal conductance and photosynthesis. **Anual Review of Plant Physiology**, v.33, p.317-345, 1982.

FERNANDES, A.C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. Piracicaba: STAB, 2003. 240p.

FERREIRA, E. A.; ASPIAZÚ, I.; GALON, L.; CONÇENÇO, G.; SILVA, A. F.; SANTOS, F. C. M. T.; FERREIRA, F. A.; BARBOSA, M. H. P.; SILVA, A. A. **Características fisiológicas de cinco cultivares de cana-de-açúcar**. In: 9º Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, Maceió. Anais, STAB. P. 598-601, 2008.

FERREIRA JÚNIOR, R. A.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; TEODORO, E.; SANTOS, M. A.; PORTÍRIO, A. C. Crescimento e fotossíntese de cana-de-açúcar em função de variáveis biométricas e meteorológicas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.1229-1236, 2012.

FERREIRA JÚNIOR, R. A.; SOUZA, J. L.; ESCOBEDO, J. F.; TEODORO, I.; LYRA, G. B.; ARAÚJO NETO, R. A. Cana-de-açúcar com irrigação por gotejamento em dois espaçamentos entrelinhas de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.798-804, 2014.

FIGUEIREDO, P. A. M. Falando de cana: Fisiologia da produção agrícola – déficit hídrica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista STAB**, v.32, p.20-21, 2014.

GALLAGHER, J. L.; BISCOE, P. V. Radiation absorption, growth and yield of cereals. **Journal of Agricultural Science**, v.91, p.47-60, 1978.

GHANNOUM, O.; CONROY, J. P.; DRISCOLL, S. P.; PAUL, M. J.; FOYER, C. H.; LAWLOR, D. W. Nonstomatal limitations are responsible for droughtinduced photosynthetic inhibition in four C4 Grasses. **New Phytologist**, v.159, p.599–608, 2003.

GHANNOUM, O. C4 Photosynthesis and water stress. **Annals of Botany**, v. 103, p.635–644, 2009

GHANNOUM, O. How can we breed for more use-efficient sugarcane? **Journal of Experimental Botany**, v.67, p. 557-559, 2016.

GAVA, G. J.; SILVA, M. A.; SILVA, R. C.; JERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KÖLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejo de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental e Agrícola**, v.15, p.250-255, 2011.

GRAÇA, J. P.; RODRIGUES, F. A.; FARIAS, J. R. B.; OLIVEIRA, M. C. N.; HOFFMANN-CAMPO, B. C.; ZINGARETTI, S. M. Physiological parameters in sugarcane cultivars submitted to water deficit. **Brazilian Society of Plant Physiology**, v.22, n.3, p.189-197, 2010.

GUERRA, A.; BARBOSA, A. M.; GUIDORIZI, K. A.; SOUZA, G. M. Efeitos da temperatura do ar na fotossíntese da cana-de-açúcar na fase inicial do desenvolvimento. **Revista Agrarian**, v.7, p.36-42, 2014.

HEALEY, K. D.; HAMMER, G. L.; RICKERT, K. G.; BANGE, M. P. Radiation use efficiency increases when the diffuse component of incidente radiation is enhanced under shade. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.49, p. 665-672, 1998.

HISAO, T. C. Plant responses to water deficit. **Annual Review Plant Physiology**. v.24, p.519-570, 1973.

HOLANDA, L. A.; SANTOS, C. M.; SAMPAIO NETO, G. D.; SOUSA, A. P.; SILVA, M. A. Variáveis morfológicas da cana-de-açúcar em função do regime hídrico durante o desenvolvimento inicial. **Irriga**, v.19, p.573-584, 2014.

INMAN-BAMBER, N.G. **The reaction of sugarcane to water stress**. PhD thesis, University of Orange Free State, Bloemfontein, South Africa, 1986.

INMAN-BAMBER, N. G.; JAGER, J. M. Effect of water stress on growth, leaf resistance and canopy temperature in field-grown sugarcane. **Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association**, v.60, p.156-161, 1986.

INMAN-BAMBER, N. G.; MUCHOW, R. C.; ROBERTSON, M. J. Dry matter partitioning of sugarcane in Australia and South Africa. **Fields Crop Research**, v.76, p.71-84, 2002.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, v.89, p. 107-122, 2004.

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

INMAN-BAMBER, N. G.; BONNETT, G. D.; SMITH, D. M.; THORBURN, P. J. Sugarcane physiology: integrating from cell to crop to advance sugarcane production. **Field Crops Research**, v.92, p. 115-117, 2005.

INMAN-BAMBER, N.G.; BONNETT, G.D.; SPILLMAN, M.F.; HEWITT, M.L.; JINGSHENG X. Source-sink differences in genotypes and water regimes influencing sucrose accumulation in sugarcane. **Crop & Pasture Science**, v.60, p.316-327, 2009.

JADOSKI, C. J.; TOPPA, E. V. B.; JULIANETTI, A.; HULSHOF, T.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Fisiologia do desenvolvimento do estágio vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.3, p. 168-176, 2010.

JAIN, R.; SHRIVASTAVA, A. K.; SOLOMON, S., Yadav R.L. Low temperature stress-induced biochemical changes affect stubble bud sprouting in sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid). **Plant Growth Regulation**, v.53, p.17-23, 2007.

JOAQUIM, A. C.; BELLINASSO, I. F.; DONZELLI, J. L.; QUADROS, A. C.; BARATA, M. Q. F. Potencial e manejo de solos cultivado com cana-de-açúcar. In: Seminário Copersucar de tecnologia agrônômica, 6, 1994, Piracicaba. **Anais...** São Paulo: Copersucar, p.1-9, 1994.

JOAQUIM, A. C.; DONZELLI, J. L.; QUADROS, A. C.; SARTO, L. F. Potencial de produção de cana-de-açúcar. In: Seminário copersucar de tecnologia agrônômica, 7., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: CTC:, p.68-76, 1997.

KANWAR, R. S.; SHARMA, K. K. Effect of interrow spacing on tiller mortality, stalk population and yield of sugarcane. In: Congress of the international society of sugar cane technologists, 15., Manila, 1974. **Proceedings**. Manila: ISSCT, 1974. p.751-755.

KINGSTON, G. Benchmarking yield of sugarcane from estimates of water use. **Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association**, v.16, p.201–209, 1994.

KINGSTON, G. **Mineral nutrition of sugarcane**. In: Sugarcane: physiology, biochemistry & functional biology. 1 ed. Wiley. p.85-120, 2014.

KOONJAH, S. S.; WALKER, S.; SINGELS, A.; VAN ANTWERPEN, R.; NAYAMUTH, A. R. A quantitative study of water stress effect on sugarcane photosynthesis. **South African Sugar Technologists Association**, v.80, p.148-158, 2016.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

KSENZHEK, O. S.; VOLKOV A. G. **Plant Energetics**. 1. ed. San Diego:Academic Press. 1998.

LANDELL, M.G. A.; PRADO, H.; VASCONCELOS, A. C. M.; PERECIN, D.; ROSSETTO, R.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, M.A.; XAVIER, M. A. Oxisol subsurface chemical attributes related sugarcane productivity. **Scientia Agricola**, v.60, p.741-745, 2003.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 1ª ed. 531p. 2000.

LIU, D. L.; BULL, T. A. Simulation of biomass and sugar accumulation in sugarcane using a process-based model. **Ecological Modelling**, v.144, p.181–211, 2001.

LOOMIS, R. S.; WILLIAMS W. A. Maximum crop productivity: an estimate. **Crop Science**, v.3, p.67-72, 1963.

LONG, S. P.; ZHU, X. G.; NAIDU, S. L.; ORT, D. R. Can improvement in photosynthesis increase crop yields? **Plant, Cell and Environment**, v.29, p.315-330, 2006.

LYND, L.; LASER, M.; BRANSBY, D.; DALE, B.; DAVISON, B.; HAMILTON, R.; HIMMEL, M.; KELLER, M.; MCMILLAN, J.; SHEEHAN, J.; WYMAN, C. How biotech can transform biofuels. **Nature Biotechnology**, v.26, p.169, 2008.

MACHADO, E.C.; PEREIRA, A. R.; FAHL, J. I.; ARRUDA, H V.; CIONE, J.. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, p.1323-1329, 1982.

MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. R.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1575-1582, 2009.

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

MELIS, A. Solar energy conversion efficiencies in photosynthesis: Minimizing the chlorophyll antennae to maximize efficiency. **Plant Science**, v.177, p.272-280, 2009.

MOORE, P.H. Integration of sucrose accumulation processes across hierarchical scales: towards developing an understanding of the genetic-crop continuum. **Field Crops Research**, v.92, p.119-135, 2005.

MONTEITH, J. L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal of Applied Ecology** 9: 747-766. 1972.

MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v.281, p.277-294, 1977.

MOURA, M. V. P. S.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, C. A. V.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, H. M.; PORDEUS, R. V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, p.753-760, 2005.

MUCHOW, R. C.; SPILLMAN, M. F.; WOOD, A. W.; THOMAS, M. R. Radiation interception and biomass accumulation in a sugarcane crop grown under irrigated tropical conditions. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.45, p.37-49, 1994.

MUCHOW, R. C.; EVENSEN, C. I.; OSGOOD, R. V.; ROBERTSON, M. J. Yield accumulation in irrigated sugarcane. II. Utilization of intercepted radiation. **Agronomy Journal**, v.89, p.646-652, 1997

MURCHIE, E. H.; PINTO, M.; HORTON, P. Agriculture and the new challenges for photosynthesis research. **New Phytologist**, v.181, p.532–552, 2008.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; BESPALHOK FILHO, J. C.; RIBAS, K. C. Z.; SILVA, D. K. T. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, p.71-76, 2007.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; OLIVEIRA, A. C.; FREIREM M. B. G. S. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, p.579-588, 2011.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C.; SIMÕES NETO, D. E.; ROCHA, A. T.; CARVALHO, L. A. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.617-625, 2011.

OLIVEIRA, F. M.; ASPIAZÚ, I.; KONDO, M. K.; BORGES, I. D.; PEGORARO, R. F.; VIANNA, E. J. Crescimento e produção de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e estresse hídrico. **Revista Trópica**, v.5, p.56-67, 2011.

ORLANDO FILHO, J. **Calagem e Adubação da Cana-de-açúcar**. In: Câmara, G.M.S., Oliveira, E.A.M. (Eds.), *Produção de Cana-de-açúcar*. FEALQ/USP, Piracicaba, p.133-146, 1993.

PARK, S. E.; ROBERTSON, M.; INMAN-BAMBER, N.G. Decline in the growth of a sugarcane crop with age under high input conditions. **Field Crops Research**, v.92, p.305-320, 2005.

PMGA, **Programa de melhoramento genética de cana-de-açúcar**. Disponível em: < <http://pmgca.dbv.cca.ufscar.br/> > Acesso em nov. 2016.

POKORSKA, B.; ZIENKIEWICZ, M.; POWIKROWSKA, M.; DROZAK, A.; ROMANOWSKA, E. Differential turnover of the photosystem II reaction centre D1 protein in mesophyll and bundle sheath chloroplasts of maize. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1787, p.1161–1169, 2009.

PRADO, H. Ambientes de produção de cana-de-açúcar na Região Centro-Sul do Brasil. **Encarte de Informações Agrônômicas**, n.110, 2005.

PRADO, H.; VITTI, A. C. Solos e ambientes de produção de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil. **Tópicos da cultura da cana-de-açúcar**. IAC (Instituto Agrônômico de Campinas), 2013.

PRADO, H.; VAN LIER, Q. J.; LANDELL, M. G. A.; VASCONCELOS, A. C. M. **Classes de disponibilidade de água e o volume de água disponível ($l\ m^{-3}$) para três níveis de evapotranspiração potencial**. Disponível em: <http://www.pedologiafacil.com.br/artig_4.php> Acesso em: nov. 2016.

PRETTY, J.; BHARUCHA, Z. P. Sustainable intensification in agricultural systems. **Annals of Botany**, v.114, p.1571-1596, 2014.

RAMBURAN, S.; WETTERGREEN, T.; BERRY, S. D.; SHONGWE, B. Genetic, environmental and management contributions to ratoon decline in sugarcane. **Field Crops Research**, v.146, p.105-112, 2013.

RAMESH, P.; MADADEVASWAMY, M. Effect of formative phase drought on diferente classes of shoots, shoot mortality, cane atributes, yield and quality of four sugarcane cultivar. **Journal of Agronomy & Crop Science**, v.185, p.249-258, 2000.

RIDESA. **Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro**. Variedades RB, primeira edição, 2008.

RHEIN, A. F. L.; PINCELLI, R. P.; ARANTES, M. T.; DELLABIGLIA, W. J.; KÖLLN, O. T.; SILVA, M. A. Technological quality and yield of sugarcane grown under nitrogen doses via subsurface drip fertigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, p.209-2016, 2016.

RIPLEY, B. S.; GILBERT, M. E.; IBRAHIM, D. G.; OSBORNE, C. P. Drought constraints on C4 photosynthesis: stomatal and metabolic limitations in C3 and C4 subspecies of *Alloteropsis semialata*. **Journal of Experimental Botany**, v.58, p.1351–1363, 2007.

RÍPOLI, T. C. C.; MOLINA JR, W. F.; RÍPOLI, M. L. C. Energy pontential of sugar cane biomass in Brazil. **Scientia Agricola**, v.57, n.4, p.677-681, 2000.

ROBERTSON, M. J.; MUCHOW, R. C. Future research challengesfor efficient crop water use in sugarcane production. **Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association**, v.16, p.193–200, 1994.

ROBERTSON, M. J.; WOOD, A. W.; MUCHOW, R. C. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia: I. radiation use, biomass accumulation and partitioning. **Field Crops Research**, v.48, p.11-25, 1996.

ROBERTSON, M. J.; INMAN-BAMBER, N. G.; MUCHOW, R. C. **Opportunities for optimising use of limited water by the sugarcane crop**. In: Keating, B.A., Wilson, J.R. (Eds.), *Intensive Sugarcane Production: Meeting the Challenges Beyond UK*. CAB International, Wallingford, pp. 287–304, 2000.

ROBINSON, N.; VOGT, J.; LAKSHMANAN, P.; SCHMIDT, S. **Nitrogen physiology of sugarcane**. In: *Sugarcane: physiology, biochemistry & funcional biology*. 1 ed. Wiley. p.169-195, 2014.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu. 101p., 1995.

ROSSI, A. R.; BERNARDES, M. S. Estudo sobre manejo e decaimento de produtividade de cortes sucessivos em canavial na região de Ribeirão Preto-SP. In: Workshop Agroenergia: Matérias primas, 4., 2012, Ribeirão Preto. **Anais**. Ribeirão Preto: IAC/APTA, 2012. 1 CD-ROM.

SALES, C. R. G.; RIBEIRO, R. V.; SILVEIRA, J. A. G.; MACHADO, E. C.; MARTINS, M. O.; LAGÔA, A. M. M. A. Superoxide dismutase and ascorbate peroxidase improve the recovery of photosynthesis in sugarcane plants subjected to water deficit and low substrate temperature. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.73, p.326-336, 2013.

SALIENDRA, N.Z.; MEINZER, F.C.; PERRY, M.; THOM, M. Associations between partitioning of carboxylase activity and bundle sheath leakiness to CO₂, carbon isotope discrimination, photosynthesis, and growth in sugarcane. **Journal of Experimental Botany**, v.47, p.907-914, 1996.

SANTOS, C. M.; SILVA, M. A.; LIMA, G. P. P.; BORTOLHEIRO, F. P. A. P.; BRUNELLI, M. C.; HOLANDA, L. A.; OLIVER, R. Physiological changes associated with antioxidant enzymes in response to sugarcane tolerance to water deficit and rehydration. **Sugar Tech**, v.17, p.291-304, 2015.

SATO, A. M.; CATUCHI, T. A.; RIBEIRO, R. V.; SOUZA, G. M. The use network analysis to uncover homeostatic responses of a drought-tolerant sugarcane cultivar under severe water deficit and phosphorus supply. **Acta Physiologia Plantarum**, v.32, p. 1145-1151, 2010.

SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. **Estimativa de maturação e otimização da cana-de-açúcar**. NOTESALQ, Piracicaba, v.13, p.8, 2004.

SILVA, G. M.; DEGASPARI, N.; CARVALHO, L. C. C.; RODRIGUES, A. P.; BAGLIONE, B. M. **The use of ethephon to manage sugarcane varieties in different locations of the central-southern region of Brazil**. In: CONGRESS OF I.S.S.C.T., 20, São Paulo. Proceedings p. 623-645, 1989.

SILVA, A. L. C.; COSTA, W. A. J. M. Varietal variation in growth, physiology and yield of sugarcane under two contrasting water regimes. **Tropical Agricultural Research**, v.16, p.1-12, 2004.

SILVA, M. A. Interação genótipo x ambiente e estabilidade fenotípica de cana-de-açúcar em ciclo de cana de ano. **Bragantia**, v.67, p.109-117, 2008.

SILVA, M. B.; MORAIS, A. S. Avaliação energética do bagaço de cana em diferentes níveis de umidade e graus de compactação. In: **XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DA PRODUÇÃO**. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STP_077_543_11289.pdf> Acesso em: nov. 2016.

SILVA, M. A.; SILVA, J. A. G.; ENCISO, J. SHARMA, V. Yield components and indicators of drought tolerance of sugarcane. **Scientia Agricola**, v.65, p.620-927, 2008.

SILVA, V. S.; GARCIA, C. A.; SILVA, C. M. O destino do bagaço da cana-de-açúcar: Um estudo a partir das agroindústrias sucroalcooleiras do Paraná. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.3, p.59-76, 2010.

SILVA, A. C.; OLIVEIRA, E.C.A.; OTTO, R.; FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O. Marcha de absorção de cálcio, magnésio e enxofre em diferentes condições edafoclimáticas do Estado de São Paulo. In: **Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP**, 2010, Piracicaba. 18. Piracicaba : ESALQ/USP, 2010.

SILVA, A. I. C.; COSTA, W. A. J. M. Growth and radiation use efficiency of sugarcane under irrigated and rainfed conditions in Sri Lanka. **Sugar Tech**. v.14, p.247-254. 2012.

SILVA, M. A.; SANTOS, C. M.; ARANTES, M. T.; BRUNELLI, M. C.; HOLANDA, L. A. Respostas fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica e a reidratação. **Revista Caatinga**, v.26, p.28-35, 2013.

SILVA, V. P. R.; BORGES, C. J. R.; ALBUQUERQUE, W. G. Necessidades hídricas da cana-de-açúcar cultivada em clima tropical. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, p.625-632, 2014.

SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; SANTOS, C. M.; SHARMA, V. Relationships between physiological traits and productivity of sugarcane in response to water deficit. **Journal of Agricultural Science**, v.152, p. 104-108, 2014.

SLEWINSKI, T. L., Non-structural carbohydrate partitioning in grass stems: a target to increase yield stability, stress tolerance, and biofuel production. **Journal of Experimental Botany**, v.63, p.4647-4670, 2012.

SINCLAIR, T. R.; MUCHOW, R. C. Radiation use efficiency. **Advances Agronomy**, v.65, p.215-265, 1999.

SINCLAIR, T. R.; HORIE, T. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. **Crop Science**, v.29, p.90-98, 1989.

SINCLAIR, T. R.; SHIRAIWA, T.; HAMMER, G. L. Variation in crop radiation-use efficiency with increased diffuse radiation. **Crop Science**, v. 32, p.1281-1284, 1992.

SINGELS, A.; DONALDSON, R.A. A simple model of unstressed sugarcane canopy development. **South African Sugar Technologists Association**, v.74, p.151–154, 2000.

SINGELS, A.; INMAN-BAMBER, N. G. The responses of sugarcane to water stress: preliminary results from a collaborative project. **South African Sugar Technologists Association**, v.76, p.240–244, 2002.

SINGELS, A.; SMIT, M. A. The effect of row spacing on an irrigated planto of crop sugarcane variety NCO376. **South African Sugar Technologists Association**, v.76, p.94-105, 2002.

SINGELS, A.; SMIT, M. A.; REDSHAE, K. A.; DONALDSON, R. A. The effect of crop start date, crop class and cultivar on sugarcane canopy development and radiation interception. **Field Crops Research**, v.92, p.249-260, 2005.

SINGELS, A.; DONALDSON, R. A.; SMIT, M. A. Improving biomass production and partitioning in sugarcane: theory and practice. **Field Crops Research**, v. 92, p. 291-303, 2005.

SINGELS, A.; SMIT, M. A. Sugarcane response to row spacing-induced competition for light. **Field Crops Research**, v. 113, p.149-155, 2009.

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v.98, p.91-97, 2006.

SOLTANI, A.; SINCLAIR, T. R. **Modeling physiology of crop development, growth and yield**. Wallingford, CABI, 2012. 322p.

SOUZA, A.; GRANDIS, A.; LEITE, D. C. C.; BUCKERIDGE, M. S. Sugarcane as a Bioenergy Source: History, Performance, and Perspectives for Second-Generation Bioethanol. **Bioenergy Resource**, v.7, p.24-35, 2014.

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v.98, p.91-97, 2006.

SMITH, D. M.; INMAN-BAMBER, N. G.; THORBURN, P. J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, v.92, p.169-183, 2005.

SHUKLA, S. K.; YADAV, R. L.; SINGH, P. N.; SINGH, I. Potassium nutrition for improving stubble bud sprouting, dry matter partitioning, nutriente uptake and winter initiated sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid complex) ratoon yield. **European Journal of Agronomy**, v.30, p.27-33, 2009.

THOMPSON, G. D. Comparisons of the growth of plant and a first ratoon crops at Pongola. **South Agrican Sugar Technologists Association**, v.62, p. 180-184, 1988.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1).

ÚNICA – **União da Agroindústria Canavieira**. Setor sucroenergético. Disponível em: <<http://www.unica.com.br>> Acesso em: 08 nov. 2016.

VAN DILLEWIJN, C. **Botany of sugarcane**. Waltham: Ckonica Botanica Co., 1952.

VAN-HEERDEN, P. D. R.; DONALDSON, R. A.; WATT, D. A.; SINGELS, A. Biomass accumulation in sugarcane: unravelling the factors underpinning reduced growth phenomena. **Journal of Experimental Botany**, v.61, p.2877-2887, 2010.

VAN-HEERDEN, P. D. R.; EGGLESTON, G.; DONALDSON, R. A. **Ripening and postharvest deterioration**. In: Sugarcane: physiology, biochemistry & functional biology. 1 ed. Wiley. p.55-84, 2014.

VASANTHA, S.; SHEKINAH, E.; GUPTA, G.; RAKKIYAPPAN, P. Tiller production, regulation and senescence in sugarcane (*Saccharum* species hybrid) genotypes. **Sugar Tech**, v.14, p.156-160, 2012.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; DELAZARI, F. T. Indicadores morfo-fisiológicos do estresse hídrico para a cultura da cana-de-açúcar em função de lâminas de irrigação. **Bioscience Journal**, v.30, supplement, p.65-75, 2014.

VITTI, G. C.; PRADO, H. **Produtividade da cana-de-açúcar em função do ambiente e da disponibilidade hídrica**, APTA, Pesquisa e Tecnologia, 2012.. <<http://www.aptaregional.sp.gov.br/acesse-os-artigos-pesquisa-e-tecnologia/edicao-2012>> Acesso em nov. 2016.

ZAMBROSI, F. C. B.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; CANTARELLA, H.; LANDELL, M. G. A. Sugarcane performance under phosphorus deficiency: physiological responses and genotypic variation. **Plant Soil**, v.386, p.273-283, 2014.

ZHAO, D.; GLAZ, B.; COMSTOCK, J. Sugarcane leaf photosynthesis and growth characters during development of water-deficit stress. **Crop Science**, v.53, p. 1066-1075, 2013.

ZHU, X. G.; LONG, S. P.; ORT, D. R. What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass? **Current Opinion in Biotechnology**, v.19, p.153-159, 2008.

ZULAUF, W. E.; CAPORALI, S. A.; VIDEIRA, R. M. Cálculo Preliminar da Energia Liberada Anualmente na Queima dos Canaviais Brasileiros. In **Simpósio sobre queima da palha nos canaviais**, 2., Araraquara/SP, 1985

WACLAWOVSKY, A. J. et al. Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. **Plant Biotechnology Journal**, v.8, p.263-276, 2010.

WIEDENFELD, B.; ENCISO, J. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid South Texas. **Agronomy Journal**, v.100, p.665-671, 2008.

APÊNDICE

Tabela 15 - Variáveis tecnológicas de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente A, Prado Ferreira-PR; Ambiente C, Presidente Bernardes) aos 285 e 415 dias após o plantio (DAP).

| Variáveis tecnológicas | Ambiente A | | | Ambiente C | | |
|------------------------|------------|----------|----------|------------|----------|----------|
| | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 |
| 285 DAP | | | | | | |
| <i>Brix</i> | 17,5 | 18,9 | 17,4 | 17,8 | 17,4 | 17 |
| <i>Pol</i> | 14,8 | 16,4 | 15,6 | 15,1 | 14,8 | 15,3 |
| <i>ATR</i> | 126 | 130,6 | 132 | 129,5 | 124,8 | 129,9 |
| 415 DAP | | | | | | |
| <i>Brix</i> | 18,8 | 19,5 | 18,9 | 19,7 | 20,8 | 19,6 |
| <i>Pol</i> | 16 | 17 | 16,3 | 17 | 18,5 | 16,9 |
| <i>ATR</i> | 153 | 141,2 | 156 | 142,5 | 157,6 | 141,5 |

Tabela 16 - Variáveis tecnológicas de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente A, Prado Ferreira-PR; Ambiente C, Presidente Bernardes-SP) aos 280 e 380 dias após a colheita (DAC).

| Variáveis tecnológicas | Ambiente A | | | Ambiente C | | |
|------------------------|------------|----------|----------|------------|----------|----------|
| | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 | SP80-3280 | RB855156 | RB867515 |
| 280 DAC | | | | | | |
| <i>Brix</i> | 17,8 | 17,6 | 17 | 18,4 | 18,2 | 18 |
| <i>Pol</i> | 15,6 | 16,4 | 15,5 | 13,6 | 15,7 | 15,6 |
| <i>ATR</i> | 148,7 a | 144,7 a | 129,8 b | 134,5 a | 134,4 a | 132,9 a |
| 380 DAC | | | | | | |
| <i>Brix</i> | 21 | 20,5 | 19 | 21,6 | 22,4 | 20,6 |
| <i>Pol</i> | 16,1 | 15,5 | 14,2 | 15,9 | 16,4 | 15,1 |
| <i>ATR</i> | 158,2 a | 152,4 a | 139,5 b | 156,5 ab | 161 a | 148,7 b |

Tabela 17 - Análise de variância das variáveis biométricas de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 285 e 415 dias após o plantio (DAP). (Cana-planta)

| Tratamento | A | D | NP | NE | CF | LF | IAF | NFV |
|---------------------|--------------------|----------|---------|---------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 150 DAP | | | | | | | | |
| Causa da Variação | <i>F calculado</i> | | | | | | | |
| Ambiente | 64,68** | 15,50** | 17,79** | 78,46** | 96,29** | 26,63* * | 11,84* * | 0,41n s |
| Cultivar | 5,13* | 6,71** | 0,90ns | 10,83** | 6,02* | 11,63* * | 25,86* * | 6,27* |
| Ambiente x Cultivar | 2,8ns | 2,18ns | 5,18ns | 10,83** | 8,18** | 0,84ns | 10,54* * | 3,19n s |
| Bloco | 1,33ns | 0,87ns | 0,71ns | 0,30ns | 2,06ns | 0,25ns | 1,93ns | 0,75n s |
| C.V. (%) | 20,22 | 11,65 | 12,93 | 55,31 | 4,33 | 15,04 | 14,92 | 5,13 |
| 285 DAP | | | | | | | | |
| Causa da Variação | <i>F calculado</i> | | | | | | | |
| Ambiente | 120,92** | 2,12ns | 19,46** | 92,70** | 4,32ns | 0,48ns | 1,97ns | 9,08** |
| Cultivar | 4,38* | 9,10** | 5,31* | 3,75* | 118,56* * | 6,28* | 17,18* * | 10,40* * |
| Ambiente x Cultivar | 5,33* | 0,49ns | 0,24ns | 1,50ns | 0,50ns | 7,44** | 1,07ns | 3,01n s |
| Bloco | 1,00ns | 0,65ns | 0,66ns | 1,07ns | 0,94ns | 0,55ns | 0,82ns | 3,77* |
| C.V. (%) | 5,02 | 7,65 | 10,02 | 16,8 | 3,03 | 10,51 | 11,79 | 4,47 |
| 415 DAP | | | | | | | | |
| Causa da Variação | <i>F calculado</i> | | | | | | | |
| Ambiente | 3,41ns | 126,85** | 4,67* | 8,36* | 1,40ns | 2,03ns | 0,01ns | 9,43** |
| Cultivar | 42,79** | 75,73** | 15,35** | 5,04* | 10,70** | 13,33* * | 6,21* | 7,74** |
| Ambiente x Cultivar | 13,98** | 17,78** | 5,09* | 2,55ns | 3,06ns | 8,51** | 0,00ns | 0,22n s |
| Bloco | 1,09ns | 3,38* | 0,46ns | 0,39ns | 0,75nss | 0,37ns | 0,57ns | 0,75n s |
| C.V. (%) | 5,72 | 2,5 | 9,37 | 7,25 | 5,97 | 7,11 | 19,49 | 8,18 |

Altura das plantas (A); Diâmetro do colmo (D); Número de plantas por metro (NP); Número de entrenós por planta (NE); Comprimento da folha +1 (CF); Largura da folha +1 (LF); Índice de área foliar (IAF); Número de folhas verdes por planta (NFV).

Tabela 18 - Análise de variância das variáveis biométricas de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 280 e 380 dias após a colheita (DAC). (Cana-soca)

| Tratamento | A | D | NP | NE | CF | LF | IAF | NFV |
|---------------------|--------------------|----------|-----------|------------|------------------|--------------------|-------------|------------------|
| 150 DAC | | | | | | | | |
| Causa da Variação | <i>F calculado</i> | | | | | | | |
| Ambiente | 30,27** | 46,97** | 0,47ns | 2,29ns | 20,57* * | 0,019n s | 9,30** | 0,18ns |
| Cultivar | 4,39* | 16,82** | 101,76** | 0,66ns | 12,68* * | 43,99** | 2,46ns | 2,66ns |
| Ambiente x Cultivar | 6,55** | 3,79* | 2,76ns | 0,58ns | 1,53ns | 0,43ns | 2,46ns | 0,53ns |
| Bloco | 0,31** | 2,33ns | 0,39ns | 1,96ns | 0,97ns | 1,05ns | 0,69ns | 1,01ns |
| C.V. (%) | 5,62 | 9,41 | 7,85 | 4,5 | 5,47 | 10,38 | 21,21 | 9,13 |
| 280 DAC | | | | | | | | |
| Causa da Variação | <i>F calculado</i> | | | | | | | |
| Ambiente | 248,91** | 3,94ns | 1,04ns | 7,54* * | 0,89ns 17,60* | 13,49** | 1,07ns | 0,05ns 15,00* |
| Cultivar | 83,68** | 14,61** | 23,11** | 3,32ns | 21,47** | 5,62* | | * |
| Ambiente x Cultivar | 12,85** | 1,11ns | 0,55ns | 0,79ns | 1,82ns | 3,62ns | 3,48ns | 0,37ns |
| Bloco | 0,60ns | 1,16ns | 2,00ns | 1,10ns | 0,99ns | 0,44ns | 1,42ns | 0,05ns |
| C.V. (%) | 1,96 | 9,08 | 10,56 | 6,56 | 5,26 | 9,99 | 9,86 | 10,21 |
| 380 DAC | | | | | | | | |
| Causa da Variação | <i>F calculado</i> | | | | | | | |
| Ambiente | 12,43** | 1,66ns | 0,06ns | 9,58** | 0,32ns 60,02* | 28,18** 145,49* | 13,36* * | 199,39 ** |
| Cultivar | 31,99** | 21,58** | 15,83** | 0,67ns | 3,71* * | 8,64** | 3,54ns | 9,10** |
| Ambiente x Cultivar | 0,59ns | 0,38ns | 4,30* | 1,54ns | 3,71* | 8,64** | 0,27ns | 0,91ns |
| Bloco | 0,61ns | 0,12ns | 1,64ns | 0,13ns | 0,16ns | 0,24ns | 1,00ns | 0,79ns |
| C.V. (%) | 4,28 | 6,78 | 9,82 | 5,07 | 4,13 | 5,52 | 11,04 | 6,39 |

Altura das plantas (A); Diâmetro do colmo (D); Número de plantas por metro (NP); Número de entrenós por planta (NE); Comprimento da folha +1 (CF); Largura da folha +1 (LF); Índice de área foliar (IAF); Número de folhas verdes por planta (NFV).

Tabela 19 - Análise de variância da produtividade de colmos (TCH), produtividade de açúcar (TAH) e peso de 10 colmos de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 285² e 415³ dias após o plantio (DAP). (Cana-planta)

| Tratamento | TCH ² | TCH ³ | TAH ² | TAH ³ | 10 colmos ² | 10 colmos ³ |
|---------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------------|------------------------|
| Causa da Variação | <i>F calculado</i> | | | | | |
| Ambiente | 14,11** | 74,86** | 15,71** | 98,17** | 3,50ns | 37,34** |
| Cultivar | 4,77* | 19,50** | 5,55* | 21,77** | 27,34** | 72,05** |
| Ambiente x Cultivar | 34,53** | 29,48** | 30,60** | 34,96** | 14,85** | 7,11** |
| Bloco | 1,89ns | 1,86ns | 1,85ns | 1,84ns | 1,91ns | 1,97ns |
| C.V. (%) | 10,09 | 7,52 | 9,98 | 7,24 | 9,98 | 7,29 |

Tabela 20 - Análise de variância da produtividade de colmos (TCH), produtividade de açúcar (TAH) e peso de 10 colmos de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 280² e 380³ dias após a colheita (DAC). (Cana-soca)

| Tratamento | TCH ² | TCH ³ | TAH ² | TAH ³ | 10 colmos ² | 10 colmos ³ |
|---------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------------|------------------------|
| Causa da Variação | <i>F calculado</i> | | | | | |
| Ambiente | 102,75** | 67,09** | 89,38** | 102,75** | 87,13** | 60,35** |
| Cultivar | 8,12** | 15,80** | 7,71** | 12,89** | 43,40** | 75,62** |
| Ambiente x Cultivar | 14,57** | 29,20** | 22,49** | 41,76** | 8,25** | 12,32** |
| Bloco | 3,31* | 1,26ns | 3,42* | 1,27ns | 3,40* | 1,49ns |
| C.V. (%) | 8,7 | 7,5 | 8,61 | 7,33 | 8,5 | 7,25 |

Tabela 21 - Análise de variância da produtividade de massa seca (MS) de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 285 e 415 dias após o plantio (DAP). (Cana-planta)

| Tratamento | MS de folha | MS de bainha | MS de colmo | MS de perfilho | MS da parte aérea |
|---------------------|--------------------|--------------|-------------|----------------|-------------------|
| 150 DAP | | | | | |
| Causa da Variação | <i>F calculado</i> | | | | |
| Ambiente | 81,78** | 67,56** | 0,51** | - | 112,43** |
| Cultivar | 12,06** | 12,87** | 0,13** | - | 17,71** |
| Ambiente x Cultivar | 12,18** | 6,84** | 0,13** | - | 15,28** |
| Bloco | 0,73ns | 1,41ns | ns | - | 0,87ns |
| C. V. (%) | 28,88 | 28,46 | | - | 24,5 |
| 285 DAP | | | | | |
| Causa da Variação | <i>F calculado</i> | | | | |
| Ambiente | 0,01ns | 14,66** | 15,16** | 181,70** | 5,03* |
| Cultivar | 33,33** | 6,68** | 8,85** | 74,61** | 7,43** |
| Ambiente x Cultivar | 8,70** | 3,70* | 36,19** | 43,41** | 22,47** |
| Bloco | 5,75ns | 0,33ns | 1,91ns | 1,99ns | 1,57ns |
| C. V. (%) | 9,72 | 14,5 | 10,09 | 19,85 | 7,59 |
| 415 DAP | | | | | |
| Causa da Variação | <i>F calculado</i> | | | | |
| Ambiente | 10,96** | 5,88* | 78,97** | 181,70** | 15,68** |
| Cultivar | 11,92** | 6,97** | 28,46** | 74,61** | 10,48** |
| Ambiente x Cultivar | 0,06ns | 1,85ns | 32,43** | 43,41** | 14,81** |
| Bloco | 0,27ns | 0,66ns | 1,89ns | 1,99ns | 1,40ns |
| C. V. (%) | 9,98 | 11,19 | 7,41 | 19,85 | 6,58 |

Tabela 22 - Análise de variância da produtividade de massa seca (MS) de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 280 e 380 dias após a colheita (DAC). (Cana-soca)

| Tratamento | MS de folha | MS de bainha | MS de colmo | MS de perfilho | MS da parte aérea |
|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------|
| 150 DAC | | | | | |
| Causa da Variação | <i>F calculado</i> | | | | |
| Ambiente | 5,45* | 22,72** | 120,30** | - | 23,23** |
| Cultivar | 9,64** | 14,40** | 17,58** | - | 2,77ns |
| Ambiente x Cultivar | 5,40* | 7,78** | 30,48** | - | 15,99** |
| Bloco | 1,09ns | 0,33ns | 1,33ns | - | 1,45ns |
| C.V. (%) | 8,14 | 6,63 | 7,47 | - | 5,44 |
| 280 DAC | | | | | |
| Causa da Variação | <i>F calculado</i> | | | | |
| Ambiente | 7,76* | 6,10* | 80,56** | 6,67* | 63,05** |
| Cultivar | 1,37ns | 2,45ns | 12,62** | 9,29** | 7,69** |
| Ambiente x Cultivar | 1,74ns | 4,93* | 15,18** | 0,92ns | 20,49** |
| Bloco | 0,81ns | 2,36ns | 3,23ns | 0,62ns | 3,62* |
| C.V. (%) | 16,07 | 8,6 | 8,92 | 22,84 | 6,42 |
| 380 DAC | | | | | |
| Causa da Variação | <i>F calculado</i> | | | | |
| Ambiente | 37,58** | 0,71ns | 57,32** | 6,67* | 64,86** |
| Cultivar | 9,85** | 0,87ns | 24,25** | 9,29** | 25,87** |
| Ambiente x Cultivar | 3,67ns | 3,27ns | 34,58** | 0,92ns | 34,39** |
| Bloco | 0,27ns | 0,29ns | 1,72ns | 0,62ns | 1,08ns |
| C.V. (%) | 8,28 | 12,9 | 7,14 | 22,84 | 6,03 |

Tabela 23 - Análise de variância da produtividade da eficiência da conversão de energia solar em fito-energia (EC) e eficiência de uso da radiação (EUR) de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 285 e 415 dias após o plantio (DAP). (Cana-planta)

| EC | | | |
|---------------------|----------------|--------------------|----------------|
| Tratamento | 150 DAP | 285 DAP | 415 DAP |
| Causa da Variação | | <i>F calculado</i> | |
| Ambiente | 100,13** | 61,43** | 98,30** |
| Cultivar | 10,22** | 0,68ns | 13,51** |
| Ambiente x Cultivar | 7,94** | 12,25* | 19,59** |
| Bloco | 0,89ns | 1,72ns | 1,59ns |
| C.V. (%) | 23,9 | 7,56 | 6,63 |
| EUR | | | |
| Tratamento | 150 DAP | 285 DAP | 415 DAP |
| Causa da Variação | | <i>F calculado</i> | |
| Ambiente | 102,36** | 60,70** | 68,58** |
| Cultivar | 10,66** | 0,78ns | 5,24* |
| Ambiente x Cultivar | 8,11** | 12,57** | 7,38 |
| Bloco | 0,92ns | 1,66ns | 1,50ns |
| C.V. (%) | 23,63 | 7,65 | 6,73 |

Tabela 24 - Análise de variância da produtividade da eficiência da conversão de energia solar em fito-energia (EC) e eficiência de uso da radiação (EUR) de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 280 e 380 dias após a colheita (DAC). (Cana-soca)

| EC | | | |
|---------------------|----------------|--------------------|----------------|
| Tratamento | 150 DAP | 285 DAP | 415 DAP |
| Causa da Variação | | <i>F calculado</i> | |
| Ambiente | 399,87** | 338,61** | 271,09** |
| Cultivar | 1,29ns | 6,20* | 21,72** |
| Ambiente x Cultivar | 5,12* | 10,24** | 24,23** |
| Bloco | 2,02ns | 3,34* | 1,39ns |
| C.V. (%) | 5,58 | 6,86 | 6,09 |
| EUR | | | |
| Tratamento | 150 DAP | 285 DAP | 415 DAP |
| Causa da Variação | | <i>F calculado</i> | |
| Ambiente | 383,89** | 331,10** | 287,05** |
| Cultivar | 1,01ns | 6,21* | 27,85** |
| Ambiente x Cultivar | 5,35* | 10,03** | 27,99** |
| Bloco | 1,93ns | 3,28* | 1,29ns |
| C.V. (%) | 5,7 | 6,98 | 6,03 |

Tabela 25 - Análise de variância do poder calorífico superior (PCS) de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 285 e 415 dias após o plantio (DAP). (Cana-planta)

| Tratamento | <i>PCS_P</i> | <i>PCS_B</i> | <i>PCS_F</i> | <i>PCS_C</i> | <i>PCS_{PA}</i> |
|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| 150 DAP | | | | | |
| Causa da Variação | <i>F calculado</i> | | | | |
| Ambiente | - | 67,70** | 82,31** | 831,74** | 111,74** |
| Cultivar | - | 12,87** | 12,10** | 211,77** | 18,55** |
| Ambiente x Cultivar | - | 6,87** | 12,24** | 211,77** | 15,15** |
| Bloco | - | 1,40ns | 0,74ns | 1,21ns | 0,87ns |
| C.V. (%) | - | 28,44 | 28,78 | 16,99 | 24,56 |
| 285 DAP | | | | | |
| Causa da Variação | <i>F calculado</i> | | | | |
| Ambiente | 178,51** | 14,70** | 0,01ns | 15,17** | 4,76* |
| Cultivar | 73,86** | 6,67** | 33,34** | 8,86** | 7,49** |
| Ambiente x Cultivar | 43,02** | 3,70* | 8,70** | 36,20** | 21,93** |
| Bloco | 1,91ns | 0,328ns | 5,70** | 1,91ns | 1,56ns |
| C.V. (%) | 20,01 | 14,51 | 9,72 | 10,09 | 7,54 |
| 415 DAP | | | | | |
| Causa da Variação | <i>F calculado</i> | | | | |
| Ambiente | 178,51** | 5,89* | 10,96** | 78,88** | 14,47** |
| Cultivar | 73,86** | 6,96** | 11,92** | 28,44** | 10,16** |
| Ambiente x Cultivar | 43,02** | 1,86ns | 0,06ns | 32,38** | 14,32** |
| Bloco | 1,91ns | 0,67ns | 0,27ns | 1,89ns | 1,38ns |
| C.V. (%) | 20,01 | 11,19 | 9,97 | 7,41 | 6,59 |

Perfilho (P); Bainha (B); Folha (F); Colmo (C) e Parte Aérea (PA)

Tabela 26 - Análise de variância do poder calorífico superior (PCS) de três cultivares de cana-de-açúcar (SP80-3280, RB855156 e RB867515) em dois ambientes de produção (Ambiente de produção A, Prado Ferreira-PR; Ambiente de produção C, Presidente Bernardes-SP) aos 150, 280 e 380 dias após a colheita (DAC). (Cana-soca)

| Tratamento | <i>PCS_P</i> | <i>PCS_B</i> | <i>PCS_F</i> | <i>PCS_C</i> | <i>PCS_{PA}</i> |
|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| 150 DAP | | | | | |
| Causa da Variação | <i>F calculado</i> | | | | |
| Ambiente | - | 22,83** | 5,29* | 120,93** | 21,34** |
| Cultivar | - | 14,03** | 9,59** | 17,57** | 2,70ns |
| Ambiente x Cultivar | - | 7,89** | 5,32* | 30,63** | 15,51** |
| Bloco | - | 0,33ns | 1,08ns | 1,30ns | 1,45ns |
| C.V. (%) | - | 6,66 | 8,16 | 7,45 | 5,45 |
| 285 DAP | | | | | |
| Causa da Variação | <i>F calculado</i> | | | | |
| Ambiente | 6,61* | 6,14* | 7,74* | 80,67** | 61,89** |
| Cultivar | 9,20** | 2,45ns | 1,36ns | 12,63** | 7,44** |
| Ambiente x Cultivar | 0,93ns | 4,95* | 1,74ns | 15,21** | 20,58** |
| Bloco | 0,62ns | 2,39ns | 0,82ns | 3,23ns | 3,62** |
| C.V. (%) | 22,91 | 8,58 | 16,07 | 8,92 | 6,37 |
| 415 DAP | | | | | |
| Causa da Variação | <i>F calculado</i> | | | | |
| Ambiente | 6,61* | 0,70ns | 37,51** | 24,27** | 65,91** |
| Cultivar | 9,20** | 0,86ns | 9,83** | 57,39** | 19,58** |
| Ambiente x Cultivar | 0,93ns | 3,27ns | 3,67ns | 34,63** | 30,78** |
| Bloco | 0,62ns | 0,30ns | 0,27ns | 1,72ns | 1,16ns |
| C.V. (%) | 22,91 | 12,9 | 8,27 | 7,14 | 6,03 |

Perfilho (P); Bainha (B); Folha (F); Colmo (C) e Parte Aérea (PA)