

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR NORTE – RS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – AGRICULTURA
E AMBIENTE

Cleiton Korcelski

**CULTIVO DO TRIGO DUPLO PROPÓSITO EM SISTEMAS
SILVIPASTORIS**

Frederico Westphalen, RS
2016

Cleiton Korcelski

CULTIVO DO TRIGO DUPLO PROPÓSITO EM SISTEMAS SILVIPASTORIS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Braulio Otomar Caron

Frederico Westphalen, RS
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Korcelski, Cleiton
Cultivo do trigo duplo propósito em sistemas
silvipastoris / Cleiton Korcelski.-2016.
98 p.; 30cm

Orientador: Braulio Otomar Caron
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, CESNORS-FW, Programa de Pós-Graduação em Agronomia -
Agricultura e Ambiente, RS, 2016

1. Triticum aestivum 2. BRS Tarumã 3. Sombreamento
Natural I. Caron, Braulio Otomar II. Título.

© 2016

Todos os direitos autorais reservados a Cleiton Korcelski. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: korcelski@gmail.com

Cleiton Korcelski

CULTIVO DO TRIGO DUPLO PROPÓSITO EM SISTEMAS SILVIPASTORIS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

Aprovado em 23 de fevereiro de 2016:

Braulio Otomar Caron, Dr.
(Presidente/Orientador)

Gilberto Rocca da Cunha, Dr.
(Embrapa Trigo)

Marcos Vinícius Marques Pinheiro, Dr.
(PósDoc/UFSM)

Frederico Westphalen, RS
2016

DEDICATÓRIA

A minha família, principalmente aos meus pais, Ilário e Maria Inês, e ao meu irmão, Gean Carlos, que sempre me incentivaram na continuidade pela busca do conhecimento e que apoiaram todas as decisões que tomei. Com amor...

AGRADECIMENTOS

A concretização desse trabalho ocorreu, principalmente, pelo auxílio, pela compreensão e dedicação de várias pessoas. Agradeço a todos, que de alguma forma, contribuíram para a conclusão desse estudo e, de uma maneira especial, agradeço:

- a Deus, pela vida;
- ao meu orientador, professor Braulio Otomar Caron, professor Velci Q. de Souza e professora Denise Schmidt pela oportunidade de realizar o curso de pós-graduação, pela confiança depositada e pela ótima orientação;
- ao professor João Marcelo de Oliveira e aos integrantes do LABOTE, pelo companheirismo, pela ajuda e pela orientação;
- á minha família, pais Ilário Korcelski, Maria Inês Korcelski, e irmão, Gean Carlos Korcelski, pelo apoio e incentivo nos momentos que mais precisei;
- á minha companheira, namorada, Francéllwika Catharine Gomes de Azevedo, pela paciência em momentos que não pude te ofertar a atenção merecida, pelo amor incondicional, pela compreensão, pela presença em momentos difíceis e pela confiança em min depositada;
- aos meus colegas de moradia Thiarles Brun, Jéssica Rabuske, Maicon Guerra, Douglas Scheid, Régis Rosin, Antonio D. B. da Silva, Ivan R. Carvalho, Tiago Olivoto, Elvis Elli e Felipe Baron, pelo companheirismo e pelo ótimos momentos que passamos juntos;
- aos colegas do LAGRO, do LMGPP e ao amigo Jonathan Trautenmuller, pela oportuna ajuda nos estudos e pesquisas realizadas;
- aos meus amigos e colegas de trabalho, Silvania Dal Piva, Deise Estival e Fabio Cadoná, pela hospitalidade e amizade;
- aos professores e funcionários do curso PPGAAA, pelos ensinamentos, orientação e ajuda de grande importância;
- á UFSM, universidade gratuita e de qualidade, pela oportunidade de desenvolver esse trabalho;
- á FAPERGS, pelo auxílio financeiro;

Enfim, a todos aqueles que fazem parte da minha vida e que foram essenciais para eu ser, a cada dia dessa jornada na pós-graduação, um pesquisador e também um ser humano melhor.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,
mas lutei para que o melhor fosse feito. Não
sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não
sou o que era antes”.

(Martin Luther King Jr.)

RESUMO

CULTIVO DO TRIGO DUPLO PROPÓSITO EM SISTEMAS SILVIPASTORIS

AUTOR: Cleiton Korcelski
ORIENTADOR: Braulio Otomar Caron

O cultivo consorciado entre duas espécies de interesse agrônomo agrega pesquisas e direcionamentos mais complexos, pois há o crescimento, desenvolvimento e compartilhamento de recursos. Quando não planejado de forma correta o consórcio pode trazer prejuízos. Assim, os sistemas silvipastoris, caracterizados pelo cultivo em consórcio de espécies arbóreas e espécies forrageiras, podem causar perdas de produção devido ao sombreamento natural imposto sobre a espécie em sub-bosque. Visando à criação de novas alternativas de espécies arbóreas para compor sistemas silvipastoris, o objetivo do trabalho foi analisar o cultivo do trigo duplo propósito em diferentes sistemas silvipastoris. As espécies arbóreas que compuseram os SSP's foram angico vermelho (*Parapiptadenia rigida*), canafístula (*Peltophorum dubium*), eucalipto (*Eucalyptus grandis*) e guapuruvu (*Schizolobium parahyba*), além do cultivo em ambiente pleno sol. O genótipo de trigo duplo propósito utilizado foi o BRS Tarumã (*Triticum aestivum*). Foi observado a alteração dos elementos meteorológicos, radiação solar, temperatura do ar e umidade relativa do ar no interior dos ambientes sombreados. A redução na intensidade de luz afetou o crescimento e desenvolvimento do trigo e estimulou a cultura a modificar estruturas morfoanatômicas para sobreviver a esse estresse. Foi observado sob condições de sombreamento, que plantas de trigo aumentaram o número e o volume de espaços intercelulares, câmaras subestomáticas e reduziram a cutinização de células. Constatou-se incremento na espessura de folha e redução na densidade estomática. Plantas cultivadas em ambientes sombreadas obtiveram menores valores de IAF, permanecendo por menor período de tempo. Como consequência foi observado aumento na eficiência de conversão das mesmas, no entanto, a produção final de matéria seca e grãos foi afetada negativamente. A emissão foliar foi afetada pela variação na luminosidade entre os ambientes. Tratamentos com altas transmissividades asseguraram maior emissão foliar em plantas de trigo. Maior filocrono foi observado em ambientes sombreados, enquanto o cultivo pleno sol obteve valores de filocrono bem menores. A variação na intensidade da radiação solar impõe mudanças tanto morfoanatômicas quanto no crescimento e desenvolvimento de plantas de trigo. É fundamental para essa cultura desenvolver mudanças na sua estrutura vegetal com o intuito de aclimatar-se ao ambiente com déficit de radiação.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*. BRS Tarumã. Sombreamento Natural.

ABSTRACT

DUAL PURPOSE WHEAT CROP IN SILVIPASTORAL SYSTEMS

AUTHOR: Cleiton Korcelski
ADVISOR: Braulio Otomar Caron

The intercropping between two species of agronomic interest adds more complex research and guidelines, as there is growth, development and resource sharing. When not planned correctly the consortium may bring harm. Thus, silvopastoral systems, characterized by cultivating a consortium of tree species and forage species, can cause production losses due to natural shading tax species in the understory. Seeking to create new alternatives of tree species to compose silvopastoral systems, the objective of this study was to analyze the dual purpose wheat cultivation in different silvopastoral systems. Tree species that comprised the SSP's were red mimosa (*Parapiptadenia rigida*) canafístula (*Peltophorum dubium*), eucalyptus (*Eucalyptus grandis*) and guapuruvu (*Schizolobium parahyba*), in addition to growing in full sun environment. The dual purpose wheat genotype used was BRS Tarumã (*Triticum aestivum*). It was observed the change of weather elements, solar radiation, air temperature and relative humidity inside the shaded environments. The reduction in light intensity affected the growth and development of wheat and stimulated culture change morphoanatomic structures to survive this stress. It was observed under shading conditions that wheat plants have increased the number and volume of intercellular spaces, reduced substomatic and cutinização cells. It found an increase in the thickness of paper and reduction in stomatal density. Plants grown in shaded environments had lower values of LAI, staying for shorter periods of time. As a result increase was observed in the same conversion efficiency, however, the end yield of dry matter and grain yield is adversely affected. The leaf emission was affected by the variation in brightness between the environments. Treatments with high transmissivity ensured higher leaf emission in wheat plants. Most phyllochron was observed in shaded environments while growing full sun got much smaller phyllochron values. The variation in the intensity of solar radiation impose changes both morphoanatomic as the growth and development of wheat plants. It is essential for the culture to develop changes in a plant structure in order to acclimatise to the environment with radiation deficit.

Keywords: *Triticum aestivum*. BRS Tarumã. Natural shade.

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

Tabela 1 – Espessura da epiderme adaxial (μm) de folhas de trigo cultivado em sistemas silvipastoris e submetido à manejos de corte (Sem Corte, Com Corte). Frederico Westphalen, 2016.	52
Tabela 2 – Espessura da epiderme abaxial (μm) de folhas de trigo cultivado em sistemas silvipastoris e submetido à manejos de corte (Sem Corte, Com Corte). Frederico Westphalen, 2016.	53
Tabela 3 – Espessura do mesofilo (μm) de folhas de trigo cultivado em sistemas silvipastoris e submetido à manejos de corte (Sem Corte, Com Corte). Frederico Westphalen, 2016.	54
Tabela 4 – Espessura total (μm) de folha de trigo cultivado em sistemas silvipastoris e submetido à manejos de corte (Sem Corte, Com Corte). Frederico Westphalen, 2016.	55
Tabela 5 – Densidade estomática adaxial (estômatos/ mm^2) de folhas de trigo cultivado em sistemas silvipastoris e submetido à manejos de corte (Sem Corte, Com Corte). Frederico Westphalen, 2016.	56
Tabela 6 – Densidade estomática abaxial (estômatos/ mm^2) de folhas de trigo cultivado em sistemas silvipastoris e submetido à manejos de corte (Sem Corte, Com Corte). Frederico Westphalen, 2016.	57
Tabela 7 – Número de outras células vegetais na epiderme adaxial (células/ mm^2) de folhas de trigo cultivado em sistemas silvipastoris e submetido à manejos de corte (Sem Corte, Com Corte). Frederico Westphalen, 2016.	58
Tabela 8 – Número de outras células vegetais na epiderme abaxial (células/ mm^2) de folhas de trigo cultivado em sistemas silvipastoris e submetido à manejos de corte (Pré-corte; Sem Corte, Com Corte). Frederico Westphalen, 2016.	59
Tabela 9 – Índice estomático adaxial de folhas de trigo cultivado em sistemas silvipastoris e submetido à manejos de corte (Sem Corte, Com Corte). Frederico Westphalen, 2016.	59
Tabela 10 – Índice estomático abaxial de folhas de trigo cultivado em sistemas silvipastoris e submetido à manejos de corte (Sem Corte, Com Corte). Frederico Westphalen, 2016.	60

ARTIGO II

Tabela 1 – Eficiência de conversão (g.MJ^{-1}) de trigo submetido à sistemas silvipastoris. Frederico Westphalen, 2016.	85
Tabela 2 – Produtividade de grãos (kg.ha^{-1}) de trigo submetido à sistemas silvipastoris. Frederico Westphalen, 2016.	90

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

- Figura 1 – Valores de precipitação pluvial, temperatura média (TM) e radiação solar incidente (RSinc) observados pela estação automática A854 do INMET, durante o período de condução do estudo. Frederico Westphalen, 2016.42
- Figura 2 – Comportamento para transmissividade, umidade relativa do ar e temperatura instantânea do ar nos diferentes sistemas silvipastoris. EUC_F: Eucalipto em Faixa; EUC_L: Eucalipto em Linha; CAN_F: Canafístula em Faixa; CAN_L: Canafístula em Linha; ANG_L: Angico em Linha; P_SOL: Pleno Sol. Frederico Westphalen, 2016.44
- Figura 3 – Características morfoanatômicas de trigo cultivado em sistemas silvipastoris. Nervura central de folha cultivada sob pleno sol (A), guapuruvu em linha (B) e angico em linha (C); Nervura secundária de folha cultivada sob pleno sol (D), guapuruvu em linha (E) e angico em linha (F); Siglas – Is: Espaço Intercelular; Sc: Câmara Subestomática; Be: Epiderme Abaxial; De: Epiderme Adaxial; St: Estômato. Frederico Westphalen, 2016. Frederico Westphalen, 2016.50
- Figura 4 – Características morfoanatômicas de trigo cultivado em sistemas silvipastoris. Nervura central de folha cultivada sob canafístula em linha (A), canafístula em faixa (B), eucalipto em faixa (C) e eucalipto em linha; Nervura secundária de folha cultivada sob canafístula em linha (E), canafístula em faixa (F), eucalipto em faixa (G) e eucalipto em linha (H). Siglas – Is: Espaço Intercelular; Sc: Câmara Subestomática; Be: Epiderme Abaxial; De: Epiderme Adaxial; St: Estômato; Bc: Células buliformes. Frederico Westphalen, 2016.51

ARTIGO II

- Figura 1 – Comportamento para radiação solar incidente (A) e transmissividade da radiação solar (B) nos diferentes sistemas silvipastoris nos anos agrícolas de 2014 (1) e 2015 (2). EUC_F: Eucalipto em Faixa; EUC_L: Eucalipto em Linha; CAN_F: Canafístula em Faixa; CAN_L: Canafístula em Linha; ANG_L: Angico em Linha; P_SOL: Pleno Sol. Frederico Westphalen, 2016.76
- Figura 2 – Comportamento para temperatura instantânea do ar (A) e umidade relativa do ar (B) nos diferentes sistemas silvipastoris nos anos agrícolas de 2014 (1) e 2015 (2). EUC_F: Eucalipto em Faixa; EUC_L: Eucalipto em Linha; CAN_F: Canafístula em Faixa; CAN_L: Canafístula em Linha; ANG_L: Angico em Linha; P_SOL: Pleno Sol. Frederico Westphalen, 2016.77
- Figura 3 – Filocrono de trigo cultivado em sistemas silvipastoris. CanF: canafístula em faixa (A); EucF: eucalipto em faixa (B); AngL: angico em linha (C); CanL: canafístula em linha (D); GuaL: guapuruvu em linha (E); Psol: pleno sol (F); EucL: eucalipto em linha (G). Frederico Westphalen, 2016.80

- Figura 4 – Índice de área foliar (IAF) do trigo duplo proposito cultivado em distintos SSP's no ano agrícola de 2014 (1) e 2015 (2). CanF: canafístula em faixa (A); EucF: eucalipto em faixa (B); AngL: angico em linha (C); CanL: canafístula em linha (D); GuaL: guapuruvu em linha (E); Psol: pleno sol (F); EucL: eucalipto em linha (G); SC: Sem corte; CC: Com corte. Frederico Westphalen, 2016. 82
- Figura 5 – Eficiência no uso da radiação solar em matéria seca de trigo cultivado em SSP's. CanF: canafístula em faixa (A); EucF: eucalipto em faixa (B); AngL: angico em linha (C); CanL: canafístula em linha (D); GuaL: guapuruvu em linha (E); Psol: pleno sol (F); EucL: eucalipto em linha (G); A1: Ano 1 – 2014; A2: Ano 2 – 2015; SC: Sem corte; CC: Com corte. Frederico Westphalen, 2016. 86
- Figura 6 – Produtividade de matéria seca de trigo cultivado em SSP's nos anos de 2014 (1) e 2015 (2). CanF: canafístula em faixa (A); EucF: eucalipto em faixa (B); AngL: angico em linha (C); CanL: canafístula em linha (D); GuaL: guapuruvu em linha (E); Psol: pleno sol (F); EucL: eucalipto em linha (G); 1: Ano 1 – 2014; 2: Ano 2 – 2015; SC: Sem corte; CC: Com corte. Frederico Westphalen, 2016. 88

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	15
1	REFERENCIAL TEÓRICO	17
1.1	CENÁRIO PRODUTIVO DO TRIGO DUPLO PROPÓSITO	17
1.2	SISTEMA SILVIPASTORIL COMO ALTERNATIVA PARA PRODUÇÃO AGRÍCOLA	18
1.3	ALTERAÇÕES DO AMBIENTE DE CULTIVO CAUSADAS PELO SISTEMA SILVIPASTORIL.....	20
1.4	ALTERAÇÕES MORFOANATÔMICAS FOLIARES CAUSADAS PELO SOMBREAMENTO	23
1.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
2	ARTIGO I – O CULTIVO EM SISTEMAS SILVIPASTORIS ESTIMULAM A PLASTICIDADE DE FOLHAS DE TRIGO DUPLO PROPÓSITO	34
2.1	INTRODUÇÃO.....	34
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	36
2.2.1	Descrições da área experimental.....	36
2.2.2	Manejo cultural	36
2.2.3	Delineamento experimental e condições do experimento	37
2.2.4	Coleta de dados e processamento das amostras	38
2.2.5	Análise anatômica.....	39
2.2.6	Variáveis aferidas	39
2.2.7	Estudo e tratamento de dados	40
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
2.3.1	Análise estatística	42
2.3.2	Elementos meteorológicos.....	42
2.3.3	Experimento I – Análises anatômicas qualitativas.....	45
2.3.3.1	<i>Pleno sol</i>	45
2.3.3.2	<i>Guapuruvu em linha</i>	46
2.3.3.3	<i>Angico em linha</i>	46
2.3.3.4	<i>Canafístula em linha</i>	47
2.3.3.5	<i>Canafístula em faixa</i>	48
2.3.3.6	<i>Eucalipto em faixa</i>	48
2.3.3.7	<i>Eucalipto em linha</i>	49
2.3.4	Experimento II e III – Análises anatômicas qualitativas.....	52
2.4	CONCLUSÃO.....	62
2.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
3	ARTIGO II – CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA DO USO DA RADIAÇÃO SOLAR DE TRIGO DUPLO PRÓPOSITO CULTIVADO EM SISTEMAS SILVIPASTORIS	67
3.1	INTRODUÇÃO	67
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	69
3.2.1	Descrições da área experimental.....	69
3.2.2	Manejo cultural	69
3.2.3	Condução dos fatores de variação	70
3.2.4	Coleta de dados e variáveis analisadas	71
3.2.5	Estudo e tratamento de dados	73

3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
3.3.1	Análise estatística	74
3.3.2	Elementos meteorológicos.....	74
3.3.3	Eficiência de conversão e crescimento.....	78
3.3.3.1	<i>Filocrono</i>	78
3.3.3.2	<i>Índice de área foliar (IAF)</i>	81
3.3.3.3	<i>Eficiência de conversão.....</i>	84
3.3.3.4	<i>Matéria seca da parte aérea</i>	87
3.3.3.5	<i>Produção de grãos</i>	90
3.3.3.6	<i>Discussões gerais</i>	91
3.4	CONCLUSÃO.....	93
3.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
	DISCUSSÃO GERAL.....	98

INTRODUÇÃO

A Empresa Brasileira de Pesquisa CNPT/EMBRAPA TRIGO, Passo Fundo/RS (Embrapa), por intermédio do Centro Nacional de Pesquisa em Trigo (Passo Fundo - RS), foi pioneira no lançamento de genótipos de trigo duplo propósito, capazes de expressar características de planta forrageira durante o período vegetativo do seu ciclo de desenvolvimento, e, de acordo com o manejo adotado, também produzir grãos. Dessa forma, proporcionou aos produtores pecuaristas nova alternativa de oferta de pasto fresco, ensilagem e feno para alimentação animal no inverno. Ao término do ciclo de cultivo, gera possibilidades de incrementar renda à Unidade Produtora com a venda do grão de trigo, ou mesmo transformá-lo em farelo para suplementação alimentar animal.

O ciclo de desenvolvimento do trigo duplo propósito ocorre no período invernal, considerado escasso para produção forrageira. Desta forma, a cultura torna-se uma alternativa de cultivo durante esse período crítico, reduzindo eventuais comprometimentos na produção, dessa forma, evitando a sazonalidade da oferta forrageira.

Novas alternativas de produção enquadram-se como ferramentas úteis para o desenvolvimento agropecuário. Além da adoção de novos materiais genéticos de trigo duplo propósito, o estudo de sistemas de produção apresenta grande relevância no que diz respeito à eficiência no uso da área. Assim, o cultivo consorciado surge como forma de auxílio, incrementando maior número de espécies na área cultivada.

O Sistema Silvipastoril (SSP) é um cultivo consorciado, em que obrigatoriamente há a inclusão de espécies arbóreas no sistema de produção. Dessa forma, pecuaristas podem criar formas de harmonizar o cultivo dessas espécies arbóreas, sem que haja interferência no crescimento da espécie forrageira, que será cultivada no sub-bosque. O SSP pode trazer inúmeras vantagens às culturas envolvidas, como também ao conforto animal. A partir de determinado período pós-implantação, ocorrerá a projeção da copa da espécie arbórea iniciando o processo de sombreamento da área de pastejo, e assim reduzindo a incidência da radiação solar e o calor excessivo diretamente sobre os animais.

O sombreamento dependente da espécie arbórea e do espaçamento a ser implantado, poderá impor um déficit de radiação solar sobre a cultura em sub-bosque. Elemento meteorológico primordial em um ambiente, a radiação solar exerce influência sobre os demais elementos, provocando alterações não somente no balanço de energia, bem como temperatura do ar e umidade relativa do ar.

Em decorrência da limitação de um fator intrínseco ao seu crescimento e desenvolvimento e a alteração da condição meteorológica, a planta no sub-bosque poderá alterar seu crescimento e desenvolvimento, de modo a aumentar sua eficiência no uso desse fator, ou mesmo não o suportar, reduzindo drasticamente seu crescimento e desenvolvimento.

São encontrados trabalhos sobre sistemas agroflorestais ou silvipastoris no qual observam interações edáficas entre as espécies (SHARMA; SINGH; KUMAR, 2012; RIVEST et al., 2013, WANG et al., 2013), no entanto, poucos trabalhos buscam estudar a competição interespecífica por luz que ocorre acima da superfície do solo. Estudos que testam os efeitos do sombreamento sobre o trigo geralmente aplicam o efeito redutor da luminosidade artificialmente, reduzindo as respostas fidedignas do experimento quando comparados ao efeito do sombreamento natural (WILLEY; HOLLIDAY, 1971; FISCHER, 1975). O desconhecimento do real comportamento do trigo duplo propósito e espécies arbóreas sob consórcio é o principal fator de busca de esclarecimentos.

A influência do sombreamento natural dos sistemas silvipastoris sobre o crescimento e desenvolvimento do trigo duplo propósito não está totalmente elucidada. Dessa forma, o objetivo geral desse trabalho, foi observar o cultivo do trigo duplo propósito submetido ao sombreamento exercido por espécies arbóreas, caracterizando um sistema silvipastoril.

O presente trabalho caracterizado como dissertação de mestrado foi organizado em três capítulos redigidos na forma de artigos científicos e serão futuramente publicados em revistas de área correspondente.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 CENÁRIO PRODUTIVO DO TRIGO DUPLO PROPÓSITO

A região do Médio Alto Uruguai possui formas de relevo bem distintas (CUNHA et al., 2011). Dentre estas estão os espigões rochosos e as serras, áreas de perfil íngreme e de difícil manejo. O estudo ainda apontou poucos fragmentos isolados de mata nativa exuberante e preservados apenas nos fundos dos vales e serras. Esta região, localizada no norte do estado do Rio Grande do Sul, é caracterizada por possuir pequenas propriedades e sua forma de produção predominante é a pecuária leiteira (OLKOSKI, 2003). Semelhante à maioria das regiões situadas no Rio Grande do Sul, o Médio Alto Uruguai possui grande deficiência de número de espécies forrageiras de inverno, detendo pouca área coberta com essas espécies em comparação ao verão (FONTANELI, 2012). A adoção recente de genótipos de trigo dupla aptidão, com capacidade produtiva forrageira-granífera e direcionados ao cultivo no período invernal destaca-se na cadeia de produção leiteira e de carne bovina.

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um dos cereais com maior relevância mundial e cultivado em todo o mundo, quase na sua totalidade para fabricação de farinhas e pães, bem como ainda produtos direcionados à alimentação animal. Genótipos de trigo duplo propósito foram desenvolvidos para pastejo animal, indicados principalmente para pequenas propriedades, com o objetivo de compor alternativas para a produção (HASTENPFLUG et al., 2009).

A composição nutricional da forragem de cereais de inverno com duplo propósito, no que diz respeito ao conteúdo de proteína bruta e a digestibilidade, compara-se à alfafa, por exemplo, reconhecida como planta de alta qualidade forrageira (BALL et al., 2007; FONTANELI et al., 2009). A região Sul do Brasil cultiva trigo duplo propósito ainda em áreas incipientes, no entanto, observa-se que o estado do Rio Grande do Sul possui área de produção bem mais significativa, quando comparado ao Paraná (HASTENPFLUG et al., 2011).

Contudo, a pesquisa relacionada a cultura do trigo duplo propósito na região vem desenvolvendo-se. Por exemplo, Martin et al. (2010) avaliaram o desempenho de quatro genótipos de trigo duplo propósito submetidos à diferentes densidades de semeadura, com e sem manejo de corte. Hastenpflug et al. (2009) estudaram as relações das variáveis meteorológicas sobre o comportamento vegetativo dos diferentes genótipos de trigo duplo propósito, submetidos à diferentes doses de adubação nitrogenada.

Santos et al. (2011) avaliaram a produtividade e os componentes de produção de trigo cultivado para grãos e duplo propósito em sistemas de integração lavoura-pecuária. De modo geral, os autores observaram maiores produções para o trigo de dupla aptidão. Paiano et al. (2014) determinaram o valor nutricional, os coeficientes de digestibilidade e o valor energético dos grãos de trigo de duplo propósito, produzidos em sistema agroecológico e convencional para suínos nas diferentes fases de produção.

Já nos EUA, Epplin et al. (2001) relataram que o trigo cultivado para duplo propósito mostrou maior retorno líquido quando comparado ao trigo semeado somente para produção de grãos, no período de 16 safras num total de 20.

1.2 SISTEMA SILVIPASTORIL COMO ALTERNATIVA PARA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Setor de referência em algumas regiões brasileiras, a indústria moveleira da região do Médio Alto Uruguai ainda possui entraves, principalmente devido à falta de matéria prima. O crescimento e desenvolvimento de espécies arbóreas não é limitante na região em estudo, contudo a produção de madeira perde espaço para a produção de subsistência de grãos e forragens.

É necessário desenvolver metodologias e incrementar sistemas de produção alternativos, para inserir a produção madeireira juntamente às atividades dominantes, como produção de grãos e forragens. O desenvolvimento de novos sistemas é uma solução sustentável e que obtém maior benefício advindo dos recursos físicos, biológicos e culturais de uma determinada região ou comunidade, prevendo estratégias para a autossuficiência (SOUSA et al., 2011).

Dessa forma, o SSP apresenta-se como sugestão de cultivo enquadrando-se em sistema de cultivo em consórcio, no qual obrigatoriamente, uma das espécies envolvidas é classificada como arbórea ou lenhosa (DAVID; RAUSSEN, 2003; WANG et al., 2011). Comumente, as demais espécies que compõem o sistema são as culturas de interesse agrícola e, não obrigatoriamente os animais. A implantação do SSP tem como objetivo principal a redução de riscos financeiros ao produtor rural e maior agregação de renda por área cultivada, remetendo ao mesmo, maior autossuficiência produtiva (MULLER et al., 2011), seja pelo maior desempenho animal (PACIULLO et al., 2011) ou crescimento e desenvolvimento da planta em sub-bosque, desenvolvendo sistemas de cultivos menos dependentes de insumos externos.

Embora apresentado como sistema promissor, a ascensão na implantação dos SSP's ainda confronta com diversas barreiras impostas por produtores, dentre elas os altos custos de implantação, retorno inicial demorado, bem como a dificuldade de compreensão do sistema e resistência à adoção de novas tecnologias (BALBINO et al., 2011).

Para tanto, o SSP deve ser um sistema equilibrado, que proteja o meio ambiente e reduza riscos de produção na agricultura, assim caracterizado pelo crescimento e desenvolvimento conjunto de espécies que compõem o sistema, sem que uma se sobreponha e impeça o desenvolvimento das demais. No entanto, o crescimento e desenvolvimento de espécies de interesse agrícola, cultivadas pelo homem em condições de sombreamento em sub-bosque de espécies arbóreas, possuem demanda de conhecimento técnico-científico distintos a um monocultivo, sendo necessário o estudo aprofundado dessas interações.

Além do ganho econômico através da melhor ocupação da área (BAGGIO, 2004), o SSP possui inúmeras vantagens. Dentre estas, à queda de material orgânico advindo de folhas, galhos e serapilheira das árvores; a cobertura morta sobre a superfície do solo, provendo de grande demanda de matéria orgânica (MO), micro e macronutrientes; além de contribuir de forma pertinente para a atividade biológica e estabilização do solo (ORTIZ-CEBALLOS; FRAGOSO, 2004; MULUMBA; LAL, 2008); redução de custos referentes aos insumos de adubação. Com o avanço no processo de estruturação do solo, favorecido pela implantação do sistema silvipastoril, o escoamento superficial é reduzido, permitindo a infiltração de água no solo e redução da perda de nutrientes, como por exemplo, o nitrogênio (WANG et al., 2011).

O conforto animal durante o pastejo pode ser de elevada importância na produção leiteira e de carne. Isso ocorre devido à redução da incidência direta da radiação solar, causada pela projeção da copa das árvores, alterando o balanço de radiação e influenciando intrinsecamente na redução da temperatura do ar (RIGHI et al., 2007), acarretando em maior consumo de material forrageiro, menor gasto de energia e maior conversão alimentar pelo animal (BROOM et al., 2013).

É de grande importância o conhecimento das características das espécies arbóreas a serem implantadas no SSP. As espécies selecionadas para o trabalho em questão, apresentam as seguintes descrições, segundo Carvalho (2003).

- Angico-Vermelho (*Parapiptadenia rigida*): Pertencente à família Mimosaceae, planta leguminosa considerada heliófila, ou seja, possui preferência por ambientes com grande luminosidade. É uma planta semi-caducifólia de copa alta e arredondada. Seu fuste pode apresentar até 30 metros de altura e 120 cm de diâmetro na altura do peito (DAP) quando

adulto. Prefere ambientes com precipitação pluvial média anual de 400 mm a 2.500 mm e temperatura média anual entre 18 a 29 °C.

- Canafístula (*Peltophorum dubium*): Pertencente à família Caesalpinaceae, planta leguminosa considerada uma heliófila. Planta com copa ampla, umbeliforme, largamente achatada e arredondada. Seu fuste pode atingir até 15 m de altura e 300 cm de DAP quando adulta. Possui preferência de regiões com precipitação pluvial média anual de 700 a 2300 mm e temperatura média anual entre 13,8 a 23,7 °C.

- Eucalipto (*Eucalyptus grandis*): Pertencente à família Myrtaceae. Possui preferência de regiões com precipitação pluvial média anual de 1.000 a 1.700 mm e temperaturas médias dos meses mais quentes entre 29 a 32 °C e dos meses mais frios entre 5 a 6 °C. Considerada planta de grande porte e de rápido crescimento. Possui fácil adaptabilidade a distintas condições meteorológicas e, dessa forma, possui grande importância em âmbito nacional. No entanto, vale ressaltar que o gênero *Eucalyptus* possui ampla gama de espécies, sendo necessário a escolha da espécie mais adequada a região de implantação.

- Guapuruvu (*Schilozobium parahyba*): Lorenzi (1998) descreve plantas do gênero *Schilozobium* como caducifólias, com estatura entre 20 e 30 m, com fuste entre 60 a 80 cm de diâmetro. Possuem densidade de madeira muito baixa (0,32 g/cm³), por isso direcionadas para confecção de miolo de painéis e portas, brinquedos, saltos para calçados, formas de concreto, compensados, caixotaria leve e pesada. Podem ser utilizadas para recomposição de áreas desmatadas e ornamentação de ambientes.

1.3 ALTERAÇÕES DO AMBIENTE DE CULTIVO CAUSADAS PELO SISTEMA SILVIPASTORIL

Apesar dos inúmeros efeitos causados pelo SSP sobre a estruturação e fertilidade do solo, relacionados à presença de espécies arbóreas, compreende-se que sua influência engloba também a modificação do microclima local, alterando principalmente elementos meteorológicos como a temperatura do ar (SOUZA et al., 2012) e do solo (RIGHI et al., 2005), umidade relativa do ar (TEODORO et al., 2010) e radiação solar (RIGHI et al., 2007; PACIULLO et al., 2012).

A implantação do sistema silvipastoril gera um habitat heterogêneo e acarreta em uma competição inter-específica por nutrientes, água e, principalmente radiação solar entre as espécies envolvidas. Tal condição propicia ao ambiente um gradiente de luz e essa diminui gradativamente ao incidir sobre o dossel da espécie arbórea e ser transmitida ao sub-bosque

(BUNDCHEN; BOEGER; REISSMANN, 2015). A área do SSP evidencia valores inferiores de incidência de radiação solar, dessa forma menor quantidade de energia chega ao solo e restringe a energia térmica. Como consequência, limita-se o processo de aquecimento do ar por contato.

Com valores reduzidos de radiação solar que adentram no SSP, o processo de aquecimento das moléculas contidas no ar por irradiação é amortizado. Assim, menores valores de temperatura do ar são observados no sub-bosque do SSP. Pela Lei de Dalton das pressões parciais, o ar pode ser comparado a um reservatório que expande ou contrai com o acréscimo ou decréscimo nos valores de temperatura, respectivamente (PEREIRA; VILA NOVA; SEDIYAMA, 1997). Com a redução da temperatura do ar, a pressão de saturação do ar (es) diminui, fazendo com que a atmosfera desse ambiente suporte menor volume de água. Como a umidade relativa do ar é determinada pela relação entre a pressão parcial de vapor (ea) e a pressão de saturação, no interior de SSP's podem ocorrer maiores valores para umidade relativa do ar em relação ao cultivo em pleno sol.

Com o desenvolvimento das espécies arbóreas em SSP, a interceptação da radiação solar aumenta progressivamente, reduzindo a luminosidade disponível, ocasionando modificações no crescimento, desenvolvimento e produtividade da espécie cultivada em sub-bosque, podendo estas serem deletérias (GUENNI; SEITER; FIGUEROA, 2008) ou benéficas (SOUSA et al., 2010). Isso ocorre devido ao crescimento das plantas ser condicionado principalmente ao saldo de matéria seca acumulado pelo processo de fotossíntese (CARON et al., 2012), esse ativado pela luminosidade (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Ressalta-se que a espécie selecionada para compor o SSP deve ter a capacidade de manter ou reduzir o mínimo possível o seu desempenho produtivo. Plantas que desenvolvem formas de aclimações ao sombreamento possuem capacidade de produção semelhante quando cultivada ao pleno sol e podem ser cultivadas em condições de luminosidade reduzida (SOARES et al., 2009). O trigo duplo propósito vem destacando-se na região Sul do Brasil como espécie forrageira de grande potencial produtivo e novas pesquisas relacionadas poderão caracterizá-lo como espécie componente de um SSP.

Em plantas consideradas saudáveis, com livre disponibilidade de nutrientes e água, a produção de matéria seca é dependente totalmente da radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAi) (MONTEITH, 1965). Assim, Monteith e Moss (1977) desenvolveram o conceito de eficiência do uso da radiação (ϵ_b), que revela a relação da RFA interceptada convertida em matéria seca. Comumente, essa relação demonstra função linear e o coeficiente angular da curva entre essas variáveis determina a eficiência no uso da radiação para os

vegetais (MOREIRA et al., 2005; MULLER; BERGAMASCHI, 2005; HEINEMANN et al., 2006; CARON et al., 2012).

A ϵb da cultura vai depender basicamente do seu índice de área foliar, posição solar, geometria e tamanho da folha, ângulo de distribuição, idade, arranjo das plantas, época do ano e nebulosidade (VARLET-GRANCHER et al., 1989; RADIN et al., 2003; SILVA JÚNIOR et al., 2011). Essa variável decresce com o aumento da intensidade de radiação solar acima do ótimo, assim saturando principalmente as folhas localizadas no terço superior da planta (RADIN et al., 2003).

Com o avanço do crescimento e desenvolvimento da cultura, a tendência é de aumento do índice de área foliar (IAF) e da ϵb devido aos maiores valores de radiação difusa, de modo que a contribuição relativa de cada folha também apresente acréscimo (RADIN et al., 2003). A radiação difusa, também chamada de radiação indireta, incrementa as taxas de fotossíntese, tornando plantas mais eficientes na conversão da radiação solar, por ser uma radiação multidirecional e favorecer a uniformidade de distribuição de luminosidade na folha (MISSION et al., 2005; URBAN et al., 2007; BRODERSEN et al., 2008).

Estudos demonstram que dosséis vegetais fechados aumentam de forma significativa a proporção radiação difusa/direta no seu interior (JOHNSON; SMITH, 2006). Os autores explicam que a radiação difusa é mais eficiente na conversão em matéria seca pela planta. Dessa forma, copas arbóreas constituintes de sistemas silvipastoris podem proporcionar maior fluxo de radiação solar difusa sobre o dossel da espécie em sub-bosque.

Apesar da maior eficiência de conversão da radiação solar, normalmente as gramíneas reduzem sua taxa de crescimento e a produção de matéria seca com o aumento do sombreamento, no entanto, é válido afirmar que esses resultados dependem do genótipo utilizado (PACIULLO et al., 2007).

Paciullo et al. (2009) não observaram alterações na produção de matéria seca em *Urochloa decumbens* sob sombreamento de *Acacia mangium*, *A. angustissima*, *Mimosa artemisiana* e *Eucalyptus grandis*. Os autores declararam possível tolerância da espécie forrageira ao sombreamento, refletindo em incremento nas taxas de alongamento foliar e área foliar específica.

Apesar dos efeitos sobre a produção de matéria seca, cultivos em sub-bosque de espécies arbóreas proporcionam melhorias nutricionais no pasto de espécies forrageiras através do incremento de nutrientes no solo, provenientes diretamente do acúmulo de serapilheira das árvores (PACIULLO et al., 2009). Paciullo et al. (2007) ressaltaram teores de proteína bruta, em *Urochloa decumbens*, 29% superiores ao encontrados em plantas

cultivadas sob pleno sol, incremento da digestibilidade da matéria seca e reduções nos teores de fibra em detergente neutro.

1.4 ALTERAÇÕES MORFOANATÔMICAS FOLIARES CAUSADAS PELO SOMBREAMENTO

Taxas de transmissões de radiação solar através da copa da espécie arbórea acima de 50% podem ser caracterizadas como sombra fraca, consideradas ideais para o crescimento da espécie cultivada em sub-bosque; e taxas menores que 50% caracterizam-se como sombra moderada a intensa e causam alterações no crescimento e desenvolvimento da espécie agrícola (PACIULLO et al., 2007; BERNARDINO; GARCIA, 2009).

Para manter a sobrevivência sob condições ambientais de baixa intensidade luminosa e reduzir o efeito sobre seu crescimento e desenvolvimento, a espécie cultivada em sub-bosque possui respostas adaptativas expressas em aclimações morfoanatômicas (ROZENDAAL; HURTADO; POORTER, 2006; OGUCHI et al. 2006; VOLTOLINI; SANTOS, 2011; RODRIGUES PEREIRA et al., 2013). Assim, a planta aclimata-se a novas condições luminosas (qualidade espectral e quantidade), alterando estruturas nas folhas maduras (VOLTOLINI; SANTOS, 2011).

Alterações na densidade estomática (VOLTOLINI; SANTOS, 2011), espessura de epiderme e mesofilo, arranjo de parênquimas (BUNDCHEN; BOEGER; REISSMANN, 2015), lignificação de paredes e organelas de células (HILAL et al., 2004), são exemplos de modificações encontradas em folhas de plantas cultivadas sob sombreamento. Dessa forma, tais plantas podem alterar um dos seus principais processos fisiológicos, a taxa fotossintética.

A habilidade de qualquer planta forrageira em alterar suas estruturas anatômicas e crescer em condições adversas, dentre elas em SSP, define sua aptidão ou viabilidade de produzir biomassa (SOARES et al., 2009). Para isso as principais adaptações vegetais ocorrem na área foliar, área foliar específica, número de folhas e relação entre folhas e haste (NETO et al., 2010). No entanto, ressalta-se que o acréscimo nos valores para as variáveis citadas por Neto et al. (2010) está atrelado e dependente do acúmulo suficiente de reservas e à manutenção da planta (PERI et al., 2007).

Em condições de sombreamento, o incremento de área foliar e de área foliar específica remetem a compensação da planta devido à redução da luminosidade, necessitando uma maior área fotossinteticamente ativa para interceptar a quantidade de radiação demandada (GOBBI et al., 2011). Quando a planta é submetida a níveis altos de sombreamento, seu acúmulo de

carboidratos é prejudicado pelo decréscimo na capacidade fotossintética, o que limita sua taxa de expansão e aparecimento de folhas (PERI et al., 2003).

Os estômatos são pequenas estruturas anatômicas localizadas em ambas as faces da folha em *Triticum aestivum*, responsáveis por regular os fluxos e as trocas gasosas entre a planta e atmosfera e podem apresentar alterações de acordo com a intensidade luminosa, como forma de regular ou otimizar a troca gasosa (HETHERINGTON; WOODWARD, 2003; BATAGIN et al., 2009; SUGANO et al., 2010).

A densidade e o tamanho do estômato ou abertura estomática são as principais variáveis que definem a aclimação da planta em ambientes sombreados. Ambientes sombreados tendem a desenvolver estômatos maiores em densidades menores na folha em plantas em sub-bosque (HETHERINGTON E WOODWARD, 2003). Esse formato do estômato favorece a entrada de CO₂ pelos espaços intercelulares do limbo foliar, no entanto, possuem maior dificuldade de fechamento em curtos períodos. Característica não desejável em períodos secos, que necessitam rápido fechamento estomático nos momentos mais quentes do dia, no qual ocorrem simultaneamente abruptas quedas na umidade relativa do ar e aumentos na temperatura do ar.

A abertura estomática possui relação direta sobre a taxa fotossintética da planta (TANAKA et al., 2013), no entanto, seu aumento não obrigatoriamente incrementa a biomassa da planta. Os autores ressaltam que plantas transgênicas de *A. thaliana*, detentoras de maiores índices ou densidades estomáticas, apresentaram maior incremento da taxa fotossintética, no entanto, consumiram maiores quantidades de energia para transferir metabólitos para a alteração dessas estruturas. Schluter et al. (2002) e Coupe et al. (2006), em trabalho com a espécie *A. thaliana* concluíram que o aumento na intensidade luminosa incrementou a densidade estomática em ambas as faces da folha. Com isso a taxa fotossintética aumentou consideravelmente.

Células buliformes podem ser afetadas pela alteração da intensidade luminosa. Dickison (2000) explica que células buliformes são estruturas epidérmicas que possuem função motora de enrolar as folhas em situações desfavoráveis. A ação de enrolamento foliar proporciona a planta reduzir área de contato com o ar, diminuindo a transpiração foliar em períodos de estresse hídrico (LARCHER, 2000).

Para compreensão mais detalhada das transferências de metabólitos em uma folha vegetal é necessário entender a razão entre a área fotossinteticamente ativa da planta e a sua matéria seca produzida, ou seja, a área foliar específica (DWYER et al., 2013). As plantas cultivadas em ambiente sombreado possuem características de investir maiores proporções

dos fotoassimilados no incremento da área foliar como estratégia para aumentar a eficiência na interceptação luminosa, sem a maior necessidade de alocação de biomassa (DEWALT et al., 2004; CASAS et al., 2011), devido que o ambiente fornece menor quantidade de energia. Esses indivíduos possuem maiores valores para área foliar específica, tamanho de espaços intercelulares e espessura do parênquima lacunoso; menores valores de densidade de tecido foliar, espessura de cutícula, epiderme, mesofilo e parênquima paliçádico (GOBBI et al., 2011).

Em ambientes sombreados, a planta alcança estratégias para alterar a relação superfície/volume da folha, incrementando superfície (área foliar) e mantendo seu volume (IVANOVA; P'YANKOV, 2002). Ivanova et al. (2011) esclarece que a transferência de metabólitos para esse processo pode afetar a divisão celular no mesofilo, diminuir o número de células e aumentar os espaços intercelulares. Plantas cultivadas sob pleno sol, ou sob maior quantidade de luz solar, tendem a evidenciar uma organização do mesofilo mais compacta e menor quantidade de espaços intercelulares, o que promove a redução da difusão de gases (DICKISON, 2000).

Plantas sombreadas arranjam o parênquima esponjoso de forma menos compacta, aumentando a distribuição da radiação no interior da folha vegetal (VOGELMANN; NISHIO; SMITH, 1996). Essa adaptação vegetal proporciona também maior eficiência no uso da radiação solar (SMITH et al., 1997).

O aumento dos espaços intercelulares da folha facilita a absorção da luz interceptada, pois dispõe os raios luminosos em diversas direções e melhora a sua absorção pelos cloroplastos, aumentando a eficiência fotossintética (TERASHIMA et al., 2001; GOBBI et al.; 2011). Com isso, ressalta-se que o decréscimo na resistência ao fluxo gasoso reduz simultaneamente a fotorrespiração, aumentando a eficiência no uso da energia (TERASHIMA et al., 2001), perfazendo maior taxa fotossintética.

Como visto, a intensidade luminosa pode influenciar a temperatura do ar no sistema de cultivo e como conseqüente a umidade relativa do ar. Torre et al. (2003) realizou estudo sobre a influência da umidade relativa do ar sobre a anatomia de folha e morfologia estomática de *Rosa xhybrida* 'Baroness' em estufa e constatou que menores valores de umidade relativa do ar acarretaram maiores espessuras de epiderme adaxial, epiderme abaxial, maior número de células no mesofilo, e conseqüentemente maior espessura total de folha.

Dessa forma conclusiva, perante a um estresse por déficit de radiação solar, a planta desencadeia uma gama de processos fisiológicos com o objetivo de aclimatar-se a esse novo ambiente e manter seu comportamento produtivo inalterado ou apresentar mínimas reduções.

Para isso, necessita recompor toda a estrutura vegetal, principalmente foliar, com o objetivo de tornar o uso da energia advinda da pouca quantidade de luminosidade mais eficiente. Assim, deve balancear as perdas de energia consumida pelas alterações das estruturas a fim de concluir o ciclo de desenvolvimento da planta.

É consenso na literatura pertinente, a criação de um microclima distinto em sub-bosque em sistema silvipastoril, principalmente no que diz respeito ao balanço de energia, temperatura do ar e do solo e umidade relativa do ar, no entanto, pouco se sabe sobre a interação das oscilações no microclima com o crescimento e desenvolvimento de novas culturas que são incrementadas ao modo de produção.

1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAGGIO, A. J. **Qualidade da produção e agregação de valor em sistemas agroflorestais**. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, Curitiba, PR. SAF's: desenvolvimento com proteção ambiental. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/41081/1/palestra-03.pdf>, acesso em: 12 maio de 2015.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A. de; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, 2011.
- BALL, D. M.; HOVELAND, C. S.; LACEFIELD, G. D. **Southern forages**. 4. ed. Lawrenceville, Georgia: International Plant Nutrition Institute (IPNI), 2007. 322 p. In:
- BATAGIN, K. D.; ALMEIDA, C. V. de; TANAKA, F. A. O.; ALMEIDA, M. de. Morphological alterations in leave of micropropagated pineapple plants cv. IAC “Gomo-demel” acclimatized in different conditions of luminosity. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 1, p. 85–92, 2009.
- BERNARDINO, F. S.; GARCIA, R. Sistemas Silvipastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 60, p. 77-87, 2009.
- BRODERSEN, C. R.; VOGELMANN, T. C.; WILLIAMS, W. E.; GORTON, H. A new paradigm in leaf-level photosynthesis: direct and diffuse lights are not equal. **Plant, Cell & Environment**, v. 31, n. 1, p. 159-164, 2008.
- BROOM, D. M.; GALINDO, F. A.; MURGUEITIO, E. Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. **Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 280, n. 1771, p. 2013-2025, 2013.
- BUNDCHEN, M. BOEGER, M. R. T.; REISSMANN, C. B. Estrutura foliar de espécies lenhosas de dossel e sub-bosque em uma floresta subtropical do sul do Brasil. **Iheringia**, Série Botânica, Porto Alegre, v. 70, n. 1, p. 105-114, 2015.
- CARON, B. O.; SOUZA, V. Q. de; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; SCHMIDT, D.; BAMBERG, R.; ELOY, E. Efficiency of the conversion of photosynthetically active radiation dry biomass in eucalyptus seedlings. **Revista Árvore**, v. 36, n. 5, p. 833-842, 2012.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: v. 1, 1039 p. Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR. Embrapa Florestas, 2003.
- CASAS, R. R. de; VARGAS, P.; PÉREZ-CORONA, E.; MANRIQUE, E.; GARCÍA-VERDUGO, C.; BALAGUER, L. 2011. Sun and shade leaves of *Olea europaea* respond differently to plant size, light availability and genetic variation. **Functional Ecology**, v. 25, p. 802-812, 2011.

COUPE, S. A.; PALMER, B. G.; LAKE, J. A.; OVERY, S. A.; OXBOROUGH, K.; WOODWARD, F. I.; GRAY, J. E.; QUICK, W. P. Systemic signalling of environmental cues in *Arabidopsis* leaves. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, p. 329-341, 2006.

CUNHA, N. G. da; SILVEIRA, R. J. C.; KOESTER, E.; OLIVEIRA, L. D. de; ALBA, J. M. F.; TERRES, V. C.; LOPES, R. T. **Estudos de Solos do Município de Frederico Westphalen, RS**. Circular Técnica 116, Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. 2011. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/45561/1/CIRCULAR-TECNICA-116.pdf>>, acesso em: 8 de janeiro de 2016.

DAVID, S.; RAUSSEN, T. The agronomic and economic potential of tree fallows on scoured terrace benches in the humid highlands of Southwestern Uganda. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 95, n. 1, p. 359-369, 2003.

DEWALT, S. J.; DENSLOW, J. S. & HAMRICK, J. L. Biomass allocation, growth, and photosynthesis of genotypes from native and introduced ranges of the tropical shrub *Clidemia hirta*. **Oecologia**, v. 138, p. 521-531, 2004.

DICKISON, W. C. **Integrative Plant Anatomy**. Academic Press, San Diego. 451 p., 2000.

DWYER, J. M.; HOBBS, R. J.; MAYFIELD, M. M. Specific leaf area responses to environmental gradients through space and time. **Ecology**, v. 95, n. 2, p. 399-410, 2013.

EPPLIN, F. M.; KRENZER JUNIOR, E. G.; HORN, G. Net returns from dual-purpose wheat and grain-only wheat. **Journal of the ASFMRA**, p. 8-14, 2001.

FISCHER, R. A. Yield potential in dwarf spring wheat and effect of shading. **Crop Science**, v. 15, n. 5, p. 607-613, 1975.

FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; NASCIMENTO JUNIOR, A. do; MINELLA, E.; CAIERÃO, E. Rendimento e valor nutritivo de cereais de inverno de duplo propósito: forragem verde e silagem ou grãos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 111, p. 2116-2120, 2009.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S. **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região Sul-Brasileira**. 2. ed. – Brasília, DF: Embrapa, 2012. 544 p.

GOBBI, K. F.; GARCIA, R.; VENTRELLA, M. C.; NETO, A. F. G.; ROCHA, G. C. Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do capim-braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos a sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 7, p. 1436-1444, 2011.

GUENNI, O.; SEITTER, S.; FIGUEROA, R. Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply. **Tropical Grasslands**, v. 42, n. 2, p. 75-87, 2008.

HASTENPFLUG, M.; BRAIDA, J. A.; MARTIN, T. N.; ZIECH, M. F.; SIMIONATTO, C. C.; CASTAGNINO, D. S. Dual-purpose wheat cultivars submitted to nitrogen fertilization and cutting regimes. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, n. 1, p. 196-202, 2011.

HASTENPFLUG, M.; MARTIN, T. N.; CASSOL, L. C.; BRAIDA, J. A.; BARBOSA, D. K.; MOCHINSKI, A. Desempenho vegetativo de cultivares de trigo duplo propósito submetidas a adubações nitrogenadas. **Revista da FZVA**, v. 16, n. 1, 2009.

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; DIDONET, A. D.; TRINDADE, M. da G.; SOARES, B. B.; MOREIRA, J. A. A.; CÁNOVAS, A. D. Solar radiation use efficiency on the wheat grain yield as a function of nitrogen fertilizer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 352-356, 2006.

HETHERINGTON, A. M.; WOODWARD, F. I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. **Nature**, v. 424, n. 6951, p. 901-908, 2003.

HILAL, M.; PARRADO, M. F.; ROSA, M.; GALLARDO, M.; ORCE, L.; MASSA, E. M.; GONZÁLEZ, J. A.; PRADO, F. E. Epidermal Lignin Deposition in Quinoa Cotyledons in Response to UV-B Radiation. **Photochemistry and Photobiology**, v. 79, n. 2, p. 205-210, 2004.

IVANOVA, L. A.; IVANOV, L. A.; RONZHINA, D. A.; P'YANKOV, V. I. Shading-induced changes in the leaf mesophyll of plants of different functional types. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 55, n. 2, p. 211-219, 2011.

IVANOVA, L. A.; P'YANKOV, V. I. Structural Adaptation of the Leaf Mesophyll to Shading. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 49, n. 3, p. 419-431, 2002.

JOHNSON, D.; SMITH, W. Low clouds and cloud immersion enhance photosynthesis in understory species of a southern Appalachian spruce–fir forest (USA). **American Journal of Botany**, v. 93, n. 11, p. 1625-1632, 2006.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 531p., 2000.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Ed. Plantarum, v. 2, 2. ed. Nova Odessa, 1998.

MARTIN, T. N.; SIMIONATTO, C. C.; BERTONCELLI, P.; ORTIZ, S.; HASTENPFLUG, M.; ZIECH, M. F.; SOARES, A. B. Phytomorphology and production of dual purpose wheat with different cutting regimes and seeding density. **Ciência Rural**, v. 40, n. 8, p. 1695-1701, 2010.

MISSON, L.; LUNDEN, M.; MCKAY, M.; GOLDSTEIN, A. Atmospheric aerosol light scattering and surface wetness influence the diurnal pattern of net ecosystem exchange in a semi-arid ponderosa pine plantation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 129, n. 1-2, p. 69–83, 2005.

MONTEITH, J. L. Light Distribution and Photosynthesis in Field Crops. **Annals of Botany**, v. 29, n. 1, p. 17-37, 1965.

MONTEITH, J. L.; MOSS, C. J. Climate and the Efficiency of Crop Production in Britain [and Discussion]. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 281, n. 980, p. 277-294, 1977.

- MOREIRA, M. A.; RUDORFF, B. F. T.; FELÍCIO, J. C.; FREITAS, J. G. de; TARGA, M. dos S. Spectral variation and radiation use efficiency in a wheat genotype trial. **Bragantia**, v. 64, n. 3, p. 331-338, 2005.
- MÜLLER, A. G.; BERGAMASCHI, H. Eficiências de interceptação, absorção e uso da radiação fotossinteticamente ativa pelo milho (*Zea mays* L.) em diferentes disponibilidades hídricas e verificação do modelo energético de estimativa da massa seca acumulada. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 1, p. 27-33, 2005.
- MÜLLER, M. D.; NOGUEIRA, G. S.; CASTRO, C. R. T. de; PACIULLO, D. S. C.; ALVES, F. de F.; CASTRO, R. V. O.; FERNANDES, E. N. Economic analysis of an agrosilvipastoral system for a mountainous area in Zona da Mata Mineira, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1148-1153, 2011.
- MULUMBA, L. N.; LAL, R. Mulching effects on selected soil physical properties. **Soil and Tillage Research**, v. 98, n. 1, p. 106-111, 2008.
- NETO, G.; FRÓES, A.; GARCIA, R.; MOOT, D. J.; GOBBI, K. F. Aclimação morfológica de forrageiras temperadas a padrões e níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 1, p. 42-50, 2010.
- OGUCHI, R.; HIKOSAKA, K.; HIURA, T.; HIROSE, T. Leaf anatomy and light acclimation in woody seedlings after gap formation in a cool-temperate deciduous forest. **Oecologia** n. 149, p. 571-582, 2006.
- OLKOSKI, W. Aspectos da história agrária dos kaingang do Médio Alto Uruguai - RS. **Revista de Ciências Humanas**, v.4, n.4, p. 145-160, 2012.
- ORTIZ-CEBALLOS, A. I.; FRAGOSO, C. Earthworm populations under tropical maize cultivation: the effect of mulching with velvet bean. **Biology and Fertility of Soils**, v. 39, n. 6, p. 438-445, 2004.
- PACIULLO, D. S. C.; CARVALHO, C. A. B. de; AROEIRA, L. J. M.; MORENZ, M. J. F.; LOPES, F. C. F.; ROSSIELLO, R. O. P. Morphophysiology and nutritive value of signalgrass under natural shading and full sunlight. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 573-579, 2007.
- PACIULLO, D. S. C.; LOPES, F. C. F.; MALAQUIAS JUNIOR, J. D.; VIANA FILHO, A.; RODRIGUEZ, N. M.; MORENZ, M. J. F.; AROEIRA, L. J. M. Características do pasto e desempenho de novilhas em sistema silvipastoril e pastagem de braquiária em monocultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 11, p. 1528-1535, nov. 2009.
- PACIULLO, D. S. C.; CASTRO, C. R. T.; GOMIDE, C. A. M.; MAURICIO, R. M.; PIRES, M. F. A.; MULLER, M. D.; XAVIER, D. F. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock Science**, v. 141, n. 2, p. 166-172, 2011.
- PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. A. de M.; CASTRO, C. R. T. de; FERNANDES, P. B.; MÜLLER, M. D.; PIRES, M. de F. A.; FERNANDES, E. N.; XAVIER, D. F. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1176-1183, 2012.

PAIANO, D.; NANTES, C. L.; KRAHL, G.; TUBIN, J. S. B.; CONTE, R. A.; PIVO, J. C. D.; FERRAZ, S. M.; BARETTA, D. Digestibilidade do grão de trigo de duplo propósito, cultivar BRS Tarumã, produzido em sistema agroecológico ou convencional para suínos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 2767-2778, 2014.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(trans)piração**. 183p. Piracicaba: FEALQ, 1997.

PERI, P. L.; LUCAS, R. J.; MOOT, D. J. Dry matter production, morphology and nutritive value of *Dactylis glomerata* growing under different light regimes. **Agroforestry Systems**, v. 70, n. 1, p. 63-79, 2007.

PERI, P. L.; MOOT, D. J.; MCNEIL, D. L. An integrated model for predicting maximum net photosynthetic rate of cocksfoot (*Dactylis glomerata*) leaves in silvopastoral systems. **Agroforestry Systems**, v. 58, n. 3, p. 173-183, 2003.

RADIN, B.; BERGAMASCHI, H.; REISSER JUNIOR, C.; BARNI, N. A.; MATZENAUER, R.; DIDONÉ, I. A. Use efficiency of photosynthetically active radiation by tomato plants grown in different environments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1017-1023, 2003.

RIGHI, C. A.; BERNARDES, M. S.; LUNZ, A. M. P.; MORAES, S. O.; LIER, Q. de J. V. Variação diária da temperatura do solo em um sistema agroflorestal de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com seringueiras (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.). **SBICafé**, 2005.

RIGHI, C. A.; BERNARDES, M. S.; LUNZ, A. M. P.; PEREIRA, C. R.; DOURADO NETO, D.; FAVARIN, J. L. Measurement and simulation of solar radiation availability in relation to the growth of coffee plants in an agroforestry system with rubber trees. **Revista Árvore**, v. 31, n. 2, p. 195-207, 2007.

RIVEST, D.; LORENTE, M.; OLIVIER, A.; MESSIER, C. Soil biochemical properties and microbial resilience in agroforestry systems: Effects on wheat growth under controlled drought and flooding conditions. **Science of the Total Environment**, v. 463-464, p. 51-60, 2013.

RODRIGUES PEREIRA, T. A.; DA SILVA, L. C.; AZEVEDO, A. A.; FRANCINO, D. M. T.; DOS SANTOS COSER, T.; PEREIRA, J. D. Leaf morpho-anatomical variations in *Billbergia elegans* and *Neoregelia mucugensis* (Bromeliaceae) exposed to low and high solar radiation. **Botany**, v. 91, n. 6, p. 327-334, 2013.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; CAIERÃO, E.; SPERA, S. T.; VARGAS, L. Agronomic performance of wheat cultivated for grain production and for dual-purpose under crop-livestock integration systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1206-1213, 2011.

SCHLUTER, U.; MUSCHAK, M.; BERGER, D.; ALTMANN, T. Photosynthetic performance of an Arabidopsis mutant with elevated stomatal density (sdd1-1) under different light regimes. **Journal of Experimental Botany**, v. 54, n. 383, p. 867-874, 2002.

SHARMA, N. K.; SINGH, R. J.; KUMAR, K. Dry Matter Accumulation and Nutrient Uptake by Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Poplar (*Populus deltoides*) Based Agroforestry System. **ISRN Agronomy**, v. 2012, 2012.

SILVA JÚNIOR, L. C.; LUCAS, F. T.; BORGES, B. M. M. N.; SILVA, W. J. Influência da radiação fotossinteticamente ativa no crescimento e desenvolvimento de forrageiras tropicais. **FAZU em Revista**, n. 7, 2010.

SMITH, W.; VOGELMANN, T.; DELUCIA, E.; BELL, D.; SHEPHERD, K. Leaf form and photosynthesis. **Bioscience**, v. 47, p. 785-793, 1997.

SOARES, A. B.; SARTOR, L. R.; ADAMI, P. F.; VARELLA, A. C.; FONSECA, L.; MEZZALIRA, J. C. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 3, p. 443-451, 2009.

SOUSA, L. F.; MAURÍCIO, R. M.; GONÇALVES, L. C.; BORGES, I.; MOREIRA, G. R. Kinetics of *in vitro* ruminal fermentation of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu in silvopastoral system. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, n. 2, p. 382-391, 2011.

SOUSA, L. F.; MAURÍCIO, R. M.; MOREIRA, G. R.; GONÇALVES, L. C.; BORGES, I.; PEREIRA, L. G. R. Nutritional evaluation of “Braquiaraão” grass in association with “Aroeira” trees in a silvopastoral system. **Agroforestry Systems**, v. 79, n. 2, p. 189-199, 2010.

SOUZA, H. N. de; DE GOEDE, R. G. M.; BRUSSAARD, L.; CARDOSO, I. M.; DUARTE, E. M. G.; FERNANDES, R. B. A.; GOMES, L. C.; PULLEMAN, M. M. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 146, n. 1, p. 179-196, 2012.

SUGANO, S. S.; SHIMADA, T.; IMAI, Y.; OKAWA, K.; TAMAI, A.; MORI, M.; HARA-NISHIMURA, I. Stomagen positively regulates stomatal density in *Arabidopsis*. **Nature**, v. 463, n. 7278, p. 241-244, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 918 p., 2013.

TANAKA, Y.; SUGANO, S. S.; SHIMADA, T.; HARA-NISHIMURA, I. Enhancement of leaf photosynthetic capacity through increased stomatal density in *Arabidopsis*. **New Phytologist**, v. 198, n. 3, p. 757-764, 2013.

TEODORO, A. V.; SOUSA-SOUTO, L.; KLEIN, A. M.; TSCHARNTKE, T. Seasonal Contrasts in the Response of Coffee Ants to Agroforestry Shade-Tree Management. **Environmental Entomology**, v. 39, n. 6, p. 1744-1750, 2010.

TERASHIMA, I.; MIYAZAWA, S. I.; HANBA, Y. T. Why are Sun Leaves Thicker than Shade Leaves? — Consideration based on Analyses of CO₂ Diffusion in the Leaf. **Journal of Plant Research**, v. 114, n. 1, p. 93-105, 2001.

TORRE, S.; FJELD, T.; GISLEROD, H. R.; MOE, R. Leaf anatomy and stomatal morphology of greenhouse roses grow at moderate or high air humidity. **Journal American Society of Horticulture Science**, vol. 128, n. 4, p. 598-602, 2003.

URBAN, O.; JANOUŠ, D.; ACOSTA, M. Ecophysiological controls over the net ecosystem exchange of mountain spruce stand. Comparison of the response in direct vs. diffuse solar radiation. **Global Change Biology**, v. 13, n. 1, p. 157-168, 2007.

VARLET-GRANCHER, C.; GOSSE, G.; CHARTIER, M.; SINOQUET, H.; BONHOMME, R.; ALLIRAND, J. M. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 9, n. 5, p. 419-439, 1989.

VOLTOLINI, C. H.; SANTOS, M. Leaf morphoanatomy variation in *Aechmea lindenii* (E. Morren) Baker var. *lindenii* (Bromeliaceae) under distinct environmental conditions. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 1, p. 2-10, 2011.

WANG, Y.; ZHANG, B.; LIN, L.; ZEPP, H. Agroforestry system reduces subsurface lateral flow and nitrate loss in Jiangxi Province, China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 140, n. 3-4, p. 441-453, 2011.

WILLEY, R. W.; HOLLIDAY, R. Plant population, shading and thinning studies in wheat. **Journal of Agricultural Science**, v. 77, n. 3, p. 453-461, 1971.

2 ARTIGO I – O CULTIVO EM SISTEMAS SILVIPASTORIS ESTIMULAM A PLASTICIDADE DE FOLHAS DE TRIGO DUPLO PROPÓSITO

2.1 INTRODUÇÃO

A adoção do sistema silvipastoril (SSP) por parte de produtores que concentram sua produção em pequenas áreas de subsistência pode caracterizar-se como prática de maior desenvolvimento agrícola, favorecendo a sua autossuficiência. Este sistema prioriza o incremento na eficiência do uso da terra, já que consorcia, obrigatoriamente uma espécie arbórea e uma espécie de interesse agrícola, com possibilidade de manejo de animais na mesma área (DAVID; RAUSSEN, 2003; WANG et al., 2011).

A implantação SSP tem como objetivo principal a redução de riscos financeiros ao produtor rural e maior agregação de renda por área cultivada, remetendo ao mesmo, maior autossuficiência produtiva (MULLER et al., 2011), seja pelo maior desempenho animal (PACIULLO et al., 2011) ou crescimento e desenvolvimento da planta em sub-bosque, desenvolvendo sistemas de cultivos menos dependentes de insumos externos.

Para tanto, o SSP deve ser um sistema equilibrado, que proteja o meio ambiente e reduza riscos de produção na agricultura, assim caracterizado pelo crescimento e desenvolvimento conjunto de espécies que compõem o sistema, sem que uma se sobreponha e impeça o desenvolvimento das demais. No entanto, o crescimento e desenvolvimento de espécies de interesse agrícola, cultivadas pelo homem em condições de sombreamento em sub-bosque de espécies arbóreas, possuem demanda de conhecimento técnico-científico distintos a um monocultivo, sendo necessário o estudo aprofundado dessas interações.

Contudo, a implantação do sistema silvipastoril gera um habitat heterogêneo e acarreta em uma competição inter-específica por nutrientes, água e, principalmente radiação solar entre as espécies envolvidas. Tal condição propicia ao ambiente um gradiente de luz e essa diminui gradativamente ao incidir sobre o dossel da espécie arbórea e ser transmitida ao sub-bosque (BUNDCHEN; BOEGER; REISSMANN, 2015).

A influência da redução luminosa do interior do SSP acarreta em alterações nos elementos meteorológicos essenciais ao crescimento e desenvolvimento vegetal, bem como a temperatura do ar (SOUZA et al., 2012) e umidade relativa do ar (TEODORO et al., 2010). De acordo com os autores, a temperatura do ar no interior do SSP é mais amena, ocasionando acréscimos na umidade relativa do ar em relação ao cultivo em pleno sol.

Ressalta-se que a espécie selecionada para compor o SSP deve ter a capacidade de manter ou reduzir o mínimo possível o seu desempenho produtivo. Plantas que desenvolvem formas de aclimações ao sombreamento possuem capacidade de produção semelhante quando cultivada ao pleno sol e podem ser cultivadas em condições de luminosidade reduzida (SOARES et al., 2009). O trigo duplo propósito vem destacando-se na região Sul do Brasil como espécie forrageira de grande potencial produtivo e novas pesquisas relacionadas poderão caracterizá-lo como espécie componente de um SSP.

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um dos cereais com maior relevância mundial e cultivado em todo o mundo, quase na sua totalidade para fabricação de farinhas e pães, bem como ainda produtos direcionados à alimentação animal. Genótipos de trigo duplo propósito foram desenvolvidos para pastejo animal, indicados principalmente para pequenas propriedades, com o objetivo de compor alternativas para a produção (HASTENPFLUG et al., 2009).

Diante de baixas intensidades luminosas, as plantas possuem capacidade de receber estímulos e desencadear processos fisiológicos para recompor suas estruturas foliares e aclimatar-se ao ambiente (ROZENDAAL; HURTADO; POORTER, 2006; OGUCHI et al. 2006). Alterações na densidade estomática (VOLTOLINI; SANTOS, 2011), espessura de epiderme e mesofilo, arranjo de parênquimas (BUNDCHEN; BOEGER; REISSMANN, 2015), lignificação de paredes e organelas de células (HILAL et al., 2004), são exemplos de modificações encontradas em folhas de plantas cultivadas sob sombreamento. Dessa forma, tais plantas podem alterar um dos seus principais processos fisiológicos, a taxa fotossintética.

Essa gama de alterações foliares determinam a aptidão das plantas ao cultivo em sub-bosque. Para isso ocorrem mudanças morfoanatômicas (ROZENDAAL et al., 2006; RODRIGUES PEREIRA et al., 2013; VOLTOLINI; SANTOS, 2011) e fisiológicas (OGUCHI et al., 2006) nas folhas da espécie agrícola, refletindo no aumento da sua plasticidade.

Frente ao exposto, o objetivo do trabalho foi observar possíveis alterações em estruturas morfoanatômicas de folhas de trigo duplo propósito submetido ao sombreamento de sistemas silvipastoris.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Descrições da área experimental

O trabalho de campo foi conduzido entre junho e novembro de 2014 em Frederico Westphalen-RS. O local possui latitude 27°23'26"S, longitude 53°25'43" e altitude 461,3 m. Os dados climatológicos foram coletados pela estação automática A854 do INMET, vinculada ao Laboratório de Agrometeorologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/RS).

O município de Iraí, localizado no estado do Rio Grande do Sul – Brasil e distante aproximadamente 30 km de Frederico Westphalen, é tomado como referência para os dados de classificação climática. Conforme proposta de MALUF (2000), Iraí apresenta clima de tipo subtropical subúmido, sendo a temperatura média anual de 18,8 °C e temperatura média do mês mais frio de 13,3 °C. O solo da área experimental é classificado como Neossolo litólico eutrófico típico pouco profundo, com afloração de rochas e razoável fertilidade natural (CUNHA et al., 2011).

2.2.2 Manejo cultural

O experimento foi implantado em junho de 2014. A semeadura se caracterizou pelo método ao lanço com posterior gradagem leve, com o implemento totalmente fechado. Devido às altas precipitações da época, o objetivo desse método foi evitar a alta profundidade de semeadura e redução de população de plantas. Objetivou-se população final de aproximadamente 350 plantas.m⁻² (DEL DUCA et al., 1999; FONTANELI et al., 2012).

As adubações se subdividiram em três momentos. No primeiro momento, no dia da semeadura se realizou a adubação de base, utilizando adubo formulado 10-20-20 com dose de 250 kg ha⁻¹. No segundo momento, 15 dias após a emergência do trigo, no estágio de desenvolvimento de pleno perfilhamento (LARGE, 1954), realizou-se adubação de cobertura com Uréia (45% de N) com dose de 100 kg ha⁻¹. No terceiro momento, após o corte da espécie forrageira, realizou-se a adubação de reposição com dose de 50 kg ha⁻¹ apenas para as unidades experimentais que receberam o tratamento de corte.

Aos 20 dias antes da semeadura foi realizada a aplicação de Glifosato Nortox WG (glyphosate) com dose de 750 g p.c. ha⁻¹. Para o controle da espécie daninha *Lolium multiflorum*, aos 15 (quinze) dias após a emergência do trigo, aplicou-se Hussar (Iodosulfurom-metílico) com dose de 70 g p.c. ha⁻¹. A aplicação de defensivos do tipo

fungicida teve como objetivo proteger a espécie forrageira de ataques de fungos e evitar dessa forma a redução da área foliar fotossinteticamente ativa. Realizou-se a aplicação de Opera (Epoxinazol + piraclostrobina) com dose de 1,0 L p.c. ha⁻¹. O corte da espécie forrageira foi baseado no ponto ótimo de repouso, proposto por (VOISIN, 1957).

2.2.3 Delineamento experimental e condições do experimento

Realizou-se três experimentos distintos. No experimento I avaliou-se apenas variáveis qualitativas entre os distintos sistemas de cultivo. A coleta de amostras e época de realização deu-se 100 dias após a semeadura (DAS). No experimento II avaliou-se apenas variáveis quantitativas apenas entre os distintos sistemas de cultivo. A coleta de amostras e época de realização deu-se 100 dias após a semeadura (DAS). No experimento III avaliou-se apenas variáveis quantitativas, a condução do delineamento experimental se caracterizou como blocos casualizados e foi composto por fatorial duplo 7x2, sendo Sistema de cultivo x Manejo de corte, com presença de 3 (três) repetições, totalizando 14 tratamentos. A coleta das amostras deu-se em 135 DAS. Observou-se que a o local, manejo cultural, as coletas e o processo de preparo das amostras em laboratório seguiu mesma metodologia para ambos experimentos.

Os sistemas de cultivo diferenciaram-se de acordo com o espaçamento utilizado entre os renques de árvores e espécies arbóreas. O sistema de cultivo em linha apresentou 6 m entre renques (linhas) e 1,5 m entre plantas. O sistema de cultivo em faixa apresentou 12 m entre renques e 1,5 m entre plantas. O sistema era composto de três renques com cinco indivíduos cada. As espécies arbóreas que compuseram os sistemas de cultivo foram angico vermelho (*Parapiptadenia rigida*), canafístula (*Peltophorum dubium*), eucalipto (*Eucaliptus grandis*) e guapuruvu (*Schizolobium parahyba*), além do tratamento pleno sol, onde conduziu-se a espécie forrageira sem que houvesse interceptação luminosa pela copa das árvores. Devido a perdas por morte de plantas, angico e guapuruvu, ambos em faixa não constam nos tratamentos.

Utilizou-se a espécie forrageira trigo duplo propósito, genótipo BRS Tarumã. O manejo de corte caracterizou-se pela ausência do corte (sem corte) e presença de corte (com corte) da espécie forrageira. Para os sistemas de cultivo angico vermelho em linha, canafístula em linha, canafístula em faixa, guapuruvu em linha e eucalipto em faixa, realizou-se o corte na data de 26 de setembro de 2014. O corte para o sistema eucalipto em linha deu-se na data de 11 de outubro de 2014. Justificou-se a disparidade das épocas da realização do manejo de

corde ao menor crescimento e desenvolvimento do trigo sob o sistema de cultivo em linha com eucalipto.

Implantou-se os sistemas silvipastoris no ano de 2007 e anteriormente a semeadura da espécie forrageira, realizou-se manejo de desrama com redução de aproximadamente 40% da copa arbórea, retirando-se os galhos mais próximos à superfície do solo. Dessa forma a área experimental total foi composta por aproximadamente 600 m². Em ambas as coletas se selecionou três plantas homogêneas e representativas de cada tratamento para coleta. Em cada planta, uma folha localizada no terço médio foi seccionada em três segmentos com auxílio de lâmina bisturi, de forma a eliminar as partes basal e apical, e armazenada em recipiente com fixador FAA 50 (Anexo 1).

2.2.4 Coleta de dados e processamento das amostras

Realizou-se as observações dos elementos meteorológicos no interior do experimento com auxílio de um piranômetro acoplado à um datalogger modelo LI-COR 1400 (radiação solar) e de um higrotermômetro (umidade relativa do ar e temperatura instantânea do ar). Realizou-se três observações para cada SSP, obedecendo uma distância, respectivamente de 0, 1,5 e 3 m de distância do renque de árvores para o sistema espaçado em linha e 0, 3 e 6 m de distância do renque de árvores para o sistema espaçado em faixa. Para o sistema pleno sol aferiu-se em três pontos aleatórios.

Para cálculo da Transmissividade (T), obteve-se oito pontos de avaliação. As observações foram determinadas nos dias de cada coleta de biomassa e compreendidas no horário entre 11h e 12h. Posteriormente, calculou-se as médias de transmissividade para cada SSP através da relação da radiação solar incidente no interior e no exterior dos mesmos de modo representado pela fórmula (1):

$$T = \frac{R_{sin}}{R_{sex}} \times 100 \quad (1)$$

em que, T é a taxa transmissividade dada em porcentagem (%); R_{sin} é a radiação solar incidente no interior do dossel vegetativo da espécie arbórea dada em W m⁻²; R_{sex} é a radiação solar incidente no exterior do dossel vegetativo da espécie arbórea dada em W m⁻², ou seja, ao pleno sol.

2.2.5 Análise anatômica

Realizou-se o procedimento para histologia imediatamente após a coleta e as folhas de trigo duplo propósito de cada tratamento foram fixadas utilizando o FAA 50 (JOHANSEN, 1940). As amostras permaneceram no agente fixador por aproximadamente cinco dias e posteriormente à lavagem em detergente TWEEN (2 ml.L⁻¹). (Anexo 2) em agitador BIOMIXER TS-2000 VDRL Shaker.

O processo de desidratação com série etílica foi efetuado até álcool etílico 99,5%. As amostras foram depositadas em solução de infiltração de historresina (hidroxietil metacrilato) com álcool etílico 99,5% e após a amostra seguiu para solução pura de hidroxietil metacrilato. Utilizou-se placas plásticas específicas com poços para depositar o material a ser seccionado e a historesina com solução endurecedora após ativação da reação de polimerização.

Confeccionou-se cortes das secções em micrótomo Thermo Scientific™ Shandon™ Finesse™ ME+ com espessura de três a quatro micrômetros (µm). Em seguida, preparou-se as lâminas e as mesmas submetidas a coloração de tecido com os reagentes azul de astra 1,5% e safranina (MAÁ CZ; VÁ GÁS, 1961), ambos corantes aquosos.

Montou-se oito lâminas permanentes com bálsamo-do-canadá contendo oito secções do tecido em cada lâmina para cada tratamento. Em cada secção havia três segmentos de semi-limbo foliar oriundos respectivamente das três repetições cultivadas a campo. As avaliações foram concentradas em três secções de tecido em cada lâmina. Desse modo, foram realizadas 24 repetições para cada variável anatômica.

2.2.6 Variáveis aferidas

Para o experimento I, o equipamento utilizado para a constatação das alterações qualitativas de organelas vegetais descritas abaixo foi Bioval modelo I1000:

- **Conformidade de células buliformes:** observou-se o desenvolvimento, ou tamanho, de células buliformes;
- **Arranjo de parênquimas:** observou-se a presença ou não de compactação entre as células dos parênquimas do mesofilo foliar;
- **Presença de esclerificações nas organelas e espessamento de paredes celulares:** observou-se a presença ou não de esclerificações nas organelas do tecido foliar;
- **Uniformidade e arranjo de epiderme:** observou-se a uniformidade da epiderme do tecido foliar, de modo a notar presença ou não de proeminências na mesma.

No experimento II e III realizou-se a captura das imagens em fotomicroscópio Axio Imager.A2, com auxílio do software Zeiss Zen Blue e as aferiu-se as seguintes variáveis:

- **Espessura de epiderme e espessura de mesofilo:** unidade dada em μm (micrômetro). Realizou-se observações em três campos de visualização e calculou-se a média final para cada repetição.

- **Espessura de folha:** unidade dada em μm (micrômetro). Calculou-se através da soma das variáveis espessura de epiderme e espessura do mesofilo (Espessura de Folha = Espessura de Epiderme + Espessura de Mesofilo).

O preparo das amostras e as análises de quantificação estomática foram adaptadas conforme descrição de Labouriau et al. (1961) (Anexo 3). As seguintes avaliações foram aferidas através do equipamento Bioval modelo I1000:

- **Densidade estomática:** unidade dada em estômatos/ mm^2 . A contagem do número de estômatos foi realizada através da projeção do campo de visão conhecido em ambas as faces da folha (adaxial e abaxial).

- **Número de outras células epidérmicas:** unidade dada em células/ mm^2 . Contagem do número das demais células epidérmicas, excetuando os estômatos, das faces adaxial e abaxial.

- **Índice estomático:** unidade dada em estômatos/célula. Esse índice demonstra a relação entre o número de estômatos e o número de outras células localizadas em área conhecida da superfície foliar (equação 1). Realizou-se a análise em ambas as faces da folha (adaxial e abaxial).

$$\text{IE} = \frac{\text{NE}}{\text{CE} + \text{NE}} \times 100 \quad (1)$$

Onde, IE é o índice estomático; NE é o número de estômatos; CE é o número de outras células epidérmicas.

2.2.7 Estudo e tratamento de dados

As variáveis espessura de epiderme adaxial e abaxial, espessura de mesofilo, espessura de folha, densidade estomática adaxial e abaxial, número de outras células epidérmicas na face adaxial e abaxial e índice estomático adaxial e abaxial foram submetidas ao teste F, a 5% de probabilidade e com observação de diferenças significativas ($p < 0,05$) foram submetidas ao teste de comparação de médias por Tukey a 5% de significância.

Os dados foram submetidos à análise de variância, havendo interação entre os fatores desmembraram-se aos efeitos simples. Ambas análises realizadas com auxílio do programa “*Statistical Analysis System*” (SAS, 2000).

Dados médios foram utilizados para as variáveis Transmissividade, Radiação solar incidente, temperatura instantânea do ar e umidade relativa do ar e os gráficos confeccionados com auxílio do programa do Microsoft Office Excel 2013.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Análise estatística

A análise de variância revelou significância para interação tripla sistemas de cultivo x épocas de avaliação x manejo de corte para as variáveis espessura de epiderme adaxial, espessura de epiderme abaxial, espessura de mesofilo, espessura de folha, densidade estomática adaxial, densidade estomática abaxial, número de outras células epidérmicas adaxiais, número de outras células epidérmicas abaxiais, índice estomático adaxial e índice estomático abaxial.

2.3.2 Elementos meteorológicos

Durante o período de condução do experimento houve incremento nos valores médios quinzenais de radiação solar incidente e para temperatura média do ar para a região de Frederico Westphalen (Figura 1). Tal comportamento é característico da região, devido ao término da estação de inverno e início da primavera. O fluxo médio de radiação solar foi de $17,9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a temperatura média do ar foi de $18,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

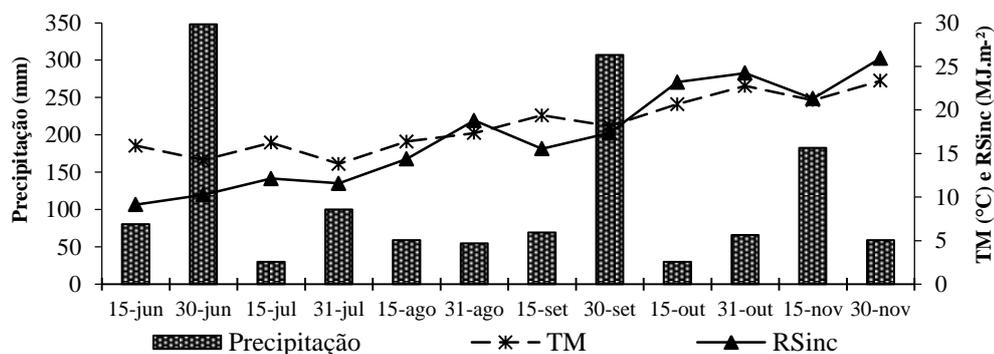


Figura 1 – Valores de precipitação pluvial, temperatura média (TM) e radiação solar incidente (RSinc) observados pela estação automática A854 do INMET, durante o período de junho a novembro de 2014. Frederico Westphalen, 2016.

A radiação solar incidente em cada sistema de cultivo foi em média $0,926 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ para eucalipto em faixa, $0,425 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ para eucalipto em linha, $1,717 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ para canafístula em faixa, $1,4 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ para canafístula em linha, $2,43 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ para angico em linha, $2,49 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ para guapuruvu em linha e $3,501 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ no pleno sol (Figura 2A). Dessa forma, as copas das árvores obtiveram médias de transmissividade de 27% para

eucalipto em faixa, 12% para eucalipto em linha, 49% para canafístula em faixa, 40% para canafístula em linha, 71% para angico em linha e 73% para guapuruvu em linha (Figura 2B).

Taxas de transmissões de radiação solar através da copa da espécie arbórea acima de 50% podem ser caracterizadas como sombra fraca, consideradas ideais para o crescimento da espécie cultivada em sub-bosque, do mesmo modo que taxas menores que 50% caracterizam-se como sombra moderada a intensa e causam alterações no crescimento e desenvolvimento da espécie agrícola (PACIULLO et al., 2007).

Os SSP's estudados pelo presente trabalho compostos com eucalipto em faixa, eucalipto em linha e canafístula em faixa e canafístula em linha proporcionaram sombra moderada a intensa, SSP's com guapuruvu e angico em linha proporcionaram sombra fraca.

No entanto, com o decorrer das estações do ano, especificamente a partir de outubro, de 2014 todos os sistemas com presença de espécies arbóreas apresentaram taxas de transmissividade abaixo ou próximas a 50%. Devido a estação fria, concomitante à implantação e fase inicial do estudo, SSP's com as espécies guapuruvu em linha, canafístula em faixa e angico em linha apresentaram queda das folhas, permitindo maiores valores de transmissividade de radiação solar para o interior do sistema. Com o decorrer do desenvolvimento, esses sistemas incrementaram seu volume foliar e aumentaram a interceptação da luminosidade.

É importante afirmar que o manejo de corte do trigo, realizado na data de 26 de setembro de 2014 para eucalipto em faixa, canafístula em linha e em faixa, guapuruvu em linha e angico em linha, foi realizado após a redução drástica nos valores de transmissividade. O rebrote da cultura em todos os sistemas estudados aconteceu sob sombra moderada a intensa.

Apesar dos inúmeros efeitos causados pelo SSP sobre o estruturação e fertilidade do solo, relacionados à presença de espécies arbóreas, compreende-se que sua influência engloba também a modificação do microclima local, alterando principalmente elementos meteorológicos como a temperatura do ar e umidade relativa do ar, ambos dependentes do fluxo de radiação solar.

Como observado no presente trabalho, sistemas de cultivo com maiores valores de transmissividade propiciaram maiores valores de temperatura instantânea do ar (Figura 2C) e menores valores para umidade relativa do ar (Figura 2D).

Com valores reduzidos de radiação solar que adentram o SSP, o processo de aquecimento das moléculas contidas no ar por irradiação é amortizado. Assim, menores valores de temperatura do ar são observados. Pela Lei de Dalton das pressões parciais, o ar

funciona como um reservatório que pode expandir ou contrair, com o acréscimo ou decréscimo nos valores de temperatura, respectivamente (PEREIRA; VILA NOVA; SEDIYAMA, 1997).

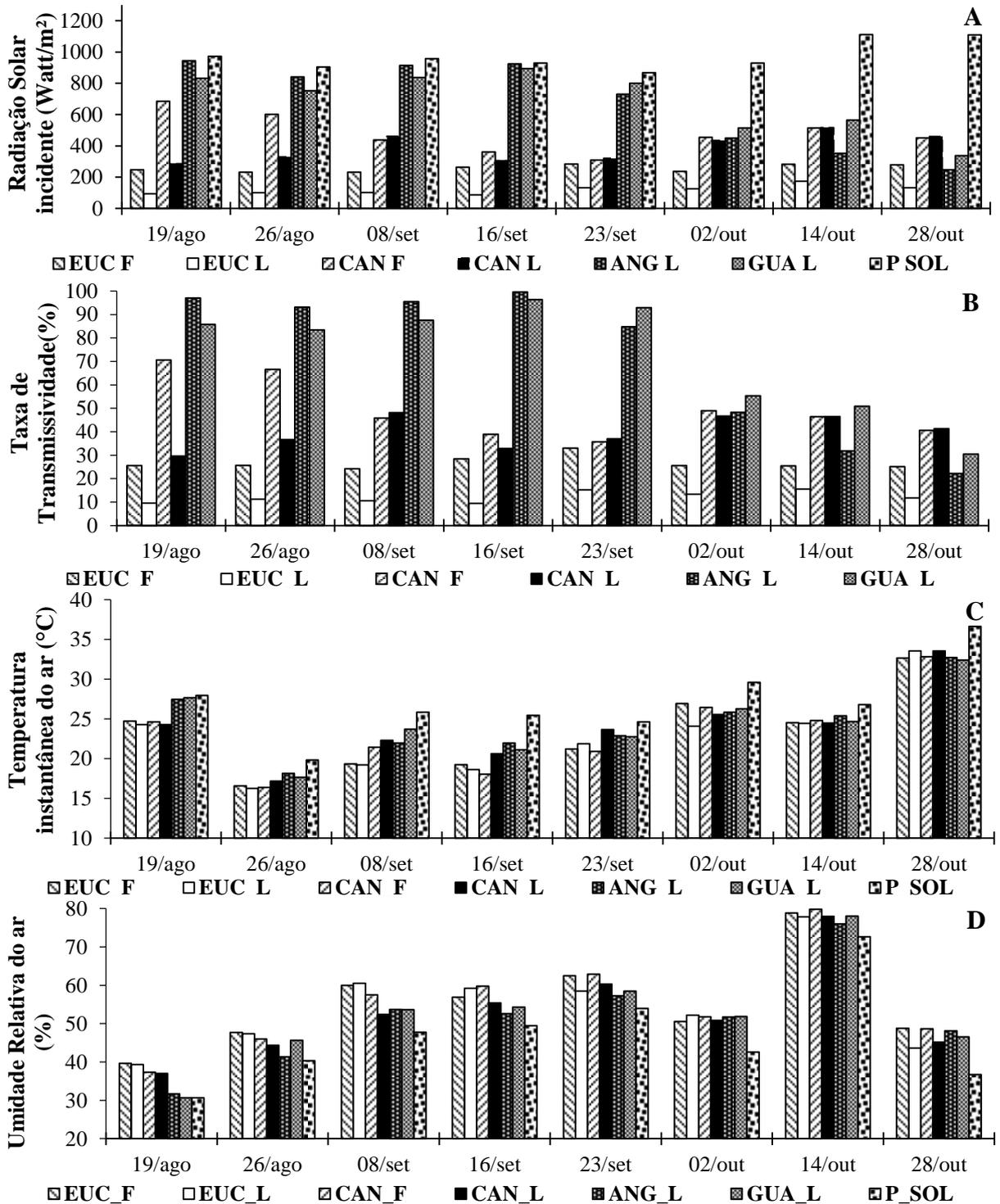


Figura 2 – Comportamento para transmissividade, umidade relativa do ar e temperatura instantânea do ar nos diferentes sistemas silvipastoris. EUC_F: Eucalypto em Faixa; EUC_L: Eucalypto em Linha; CAN_F: Canafístula em Faixa; CAN_L: Canafístula em Linha; ANG_L: Angico em Linha; P_SOL: Pleno Sol. Frederico Westphalen, 2016.

Com a redução das temperaturas do ar, a pressão de saturação do ar (es) diminui, fazendo com que a atmosfera desse ambiente suporte menor volume de água. Como a umidade relativa do ar é determinada pela relação entre a pressão parcial de vapor (ea) e a pressão de saturação (es), podem ocorrer maiores valores para umidade relativa do ar no interior de SSp's em relação ao cultivo em pleno sol.

2.3.3 Experimento I – Análises anatômicas qualitativas

As características anatômicas das folhas de trigo cultivado sob os distintos sistemas de cultivo são descritas a seguir:

2.3.3.1 Pleno sol

São observadas células buliformes com grande desenvolvimento. Quando submetidas a maior incidência de luz solar, altas temperaturas e baixos valores de umidade relativa do ar, fatores inerentes ao estresse hídrico, plantas expressaram folhas com células buliformes de maior tamanho e em maior número. Dickison (2000) explica que células buliformes são estruturas epidérmicas que possuem função motora de enrolar as folhas em situações desfavoráveis. A ação de enrolamento foliar proporciona a planta reduzir área de contato com o ar, diminuindo a transpiração foliar em períodos de estresse hídrico (LARCHER, 2000).

Foram encontradas poucas sinuosidades dadas pelas regiões costais tanto na epiderme adaxial como abaxial. De maneira geral, houve maior esclerificação da epiderme adaxial atingindo quase todas as células. Dada a observação que essa condição de cultivo proporcionou alta transmissividade de radiação solar durante todo ciclo agrícola, pressupõe que altos fluxos de radiação solar desencadearam estímulos para maior acúmulo de lignificação em folhas cultivadas sob tais condições com o intuito de proteção celular.

Folhas de plantas cultivadas em maiores intensidades luminosas apresentaram maior formação de esclerificações e paredes celulares mais espessas. Nessa situação de cultivo, plantas possuem prioridade em sintetizar substâncias de defesa contra a alta intensidade luminosa afim de proteger seu aparato fotossintético e reduzir alocação de biomassa para crescimento (LÜTTGE, 1997). Dessa forma, folhas de plantas mais iluminadas apresentaram maior acúmulo de esclerificações nas paredes celulares e organelas componentes do aparato fotossintético.

No mesofilo, pode se observar esclerificações da região costal abrangendo até uma série de 12 células de largura em nervuras de maior calibre. Células de extensões de bainha são volumosas, principalmente caracterizadas na face abaxial. O bordo foliar é composto por poucas células esclerificadas. Enquanto células não esclerificadas formam projeções de parede. O periciclo sempre se apresenta esclerificado com parede tangencial interna e radiais mais espessadas.

Verificou-se presença de menores espaços intercelulares e em menor número em comparação às folhas de trigo cultivadas sob sombreamento. Plantas cultivadas sob pleno sol, ou sob maior quantidade de luz solar, tendem a evidenciar uma organização do mesofilo mais compacta e menor quantidade de espaços intercelulares, o que promove a redução da difusão de gases (DICKISON, 2000) (Figura 3A e 3D). Como forma de aumentar a difusão de gases, essas plantas aumentam a densidade estomática, para reduzir a resistência estomática e facilitar as trocas gasosas (Tabela 5 e 6 – Experimento II).

2.3.3.2 *Guapuruvu em linha*

Apesar da alta lignificação e cutícula espessa em ambas as faces, as nervuras medianas da face dorsal demonstraram importante incremento nessa característica. Além do mais, tricomas, células-guarda e bordo foliar também evidenciaram esclerificação significativa. Na epiderme foi observada sinuosidade muito baixa e face adaxial quase plana. Foram observadas células buliformes de grande tamanho.

No mesofilo, os espaços intercelulares são desenvolvidos inclusive juntamente a nervura central e no bordo foliar (Figura 3B). A endoderme é diferenciada do mesofilo mesmo nas nervuras de menor calibre. Os tecidos vasculares contem periciclo sempre esclerificado nos feixes maiores e não-esclerificado ou pouco esclerificado apenas nos vértices celulares e nos feixes de menor calibre (Figura 3E).

2.3.3.3 *Angico em linha*

Apresentou sinuosidade alta, quando comparado ao cultivo pleno sol, principalmente pelo desenvolvimento das extensões de bainha dos feixes de maior calibre na face abaxial (Figura 3C). Evidenciou células buliformes de grande desenvolvimento.

Epiderme possuiu esclerificação pouco desenvolvida e descontínua nas células, inclusive na nervura central. Em outras regiões, ocorreu apenas em células das regiões costais

na face adaxial, em feixes de médio ou grande calibre (Figura 3F). Essa característica ocorreu em maior extensão na face abaxial principalmente na região central e bordos. No entanto, a esclerificação do bordo foliar deu-se por poucas células. A descontinuidade foi percebida na seção como grupos de células não esclerificadas que alternam com grupos celulares, ou células isoladas esclerificadas. Tricomas e células guarda apresentaram esclerificações. O periciclo possuiu alta esclerificação e foi completa apenas nos feixes de maior calibre na lâmina foliar.

A projeção papilosa em células não esclerificadas também ocorreu em células esclerificadas, embora menos desenvolvidas e com menor abrangência. Nas regiões alternantes, não esclerificadas, a cutícula foi aparente, enquanto a parede foi pouco celulósica. A cutícula foi pouco desenvolvida na epiderme da face abaxial. Na região esclerificada algumas células apresentaram citoplasma denso, ausência de vacuolação e parede celular pouco espessada, principalmente a parede tangencial externa. No tecido vascular evidenciou-se periciclo sempre esclerificado, embora os espessamentos parietais fossem pouco acentuados nos feixes de calibre médio.

Na região do mesofilo, as câmaras subestomáticas e espaços intercelulares são desenvolvidos (Figura 3F). A endoderme nos feixes de médio e pequeno diâmetro se distinguem pouco em relação ao mesofilo.

2.3.3.4 *Canafistula em linha*

A epiderme evidenciou baixa cutinização de paredes. Células guarda apresentaram cutinização principalmente em suas paredes periclinais externas. Possuiu espessamento de paredes periclinais externas levemente maior que os demais tratamentos.

De modo geral, a folha apresentou baixa esclerificação (Figura 4A) e as regiões costais se projetaram acima do nível de regiões intercostais na face adaxial. Exibiu maior esclerificação apenas nos bordos e em algumas extensões da bainha.

Observou-se no mesofilo amplos espaços por meio do desenvolvimento de grandes câmaras subestomáticas (Figura 4E). As células da endoderme contêm espaços intercelulares relativamente menores e não desenvolvem espessamento parietal localizado. Observou-se células buliformes em baixo número, apesar da manutenção de grande tamanho.

2.3.3.5 *Canafístula em faixa*

Na face adaxial apresentou sinuosidades em função da elevação de pequenos grupos de células epidérmicas nas regiões intercostais e costais, células buliformes desenvolvidas, no entanto em baixo número. Na face abaxial, a sinuosidade foi considerada baixa nesse sistema de cultivo. A irregularidade foi assimétrica, tal que na face abaxial ocorre cristais (face costal) e depressões (região intercostal).

Exibiu esclerificações de pequeno grupamento celular subepidérmico nas regiões costais, predominando em ambas as faces. A cutinização foi leve nas paredes tangenciais e radiais. Possuiu epiderme esclerificada e alternada similar às folhas de plantas cultivadas sob eucalipto em faixa.

O tecido vascular evidenciou esclerificação moderada, no entanto, maior que folhas de plantas cultivadas sob eucalipto em faixa, de modo que em um mesmo feixe ocorreram células que não apresentaram espessamento.

O mesofilo apresentou câmaras de ar que se desenvolveram amplamente, inclusive na nervura central (Figura 4B e 4F). Devido a presença das copas arbóreas nos sistemas silvipastoris, pode ocorrer aumento significativo da relação radiação difusa/direta, melhorando as taxas fotossintéticas de vegetais no seu interior (JOHNSON; SMITH, 2006). Nesse contexto, plantas sombreadas arranjam o parênquima esponjoso de forma menos compacta, aumentando a distribuição da radiação no interior da folha vegetal (VOGELMANN; NISHIO; SMITH, 1996). Essa adaptação vegetal proporciona também maior eficiência no uso da radiação solar (SMITH et al., 1997) (Artigo II – Tabela 1).

2.3.3.6 *Eucalipto em faixa*

Apresentou de modo geral, regiões costais com elevação intermediária e esclerificação baixa com presença alternada em poucas células ou até em uma célula. Possuiu crescimento diferencial em papilas das células da epiderme. Células epidérmicas maiores nas regiões intercostais na face abaxial foram observadas. No entanto, não cutinizadas-esclerificadas. As paredes periclinais externas, em ambas as faces se tornaram mais espessas. Periciclo com esclerificação apenas foram visualizados nos feixes de maior calibre, a qual pode ser incompleta.

A endoderme é descontínua em torno dos feixes vasculares, não havendo espessamento diferencial nas células, nem esclerificação do periciclo. A folha mereceu

considerações de extensão incompleta em relação a extensão de bainha com esclerificação também incompleta.

Folhas de trigo cultivadas sob a sombra dessa espécie arbórea tenderam a apresentar o mesofilo menos compactado e com maior presença de espaços intercelulares. Compreende-se que estes indivíduos aumentam sua área foliar específica como estratégia para aumentar a eficiência na interceptação luminosa, sem a maior necessidade de alocação de biomassa (DEWALT et al., 2004; CASAS et al., 2011), devido que o ambiente fornece menor quantidade de energia (Figura 4C). Os espaços intercelulares são amplos, de modo a conectar estômatos, em casos desses estarem opostos nas faces, através das câmaras subestomáticas (Figura 4G).

2.3.3.7 *Eucalipto em linha*

Dentre os aspectos gerais mais marcantes dessa folha foi a baixa esclerificação. A epiderme da face abaxial encontrou-se mais homogênea em relação a abaxial e esclerificada apenas na nervura principal (Figura 4D), não sendo observadas no periciclo e na maioria dos diferentes calibres de feixes vasculares. Na face adaxial, a esclerificação atingiu o semi-limbo, e no bordo, excedeu o mesmo. Detalhadamente, a epiderme possuiu paredes periclinais externas sempre mais espessas em relação às demais, em ambas as faces.

As regiões costais apresentaram significativas proeminências e sempre acompanhadas de esclerificações das células terminais no mesofilo (Figura 4H), nunca formando extensões de bainha. As células epidérmicas na face abaxial apresentaram grande desenvolvimento e com características estruturais similares, além de conter volume semelhante às células buliformes. O mesofilo apresentou endoderme descontínua em torno dos feixes vasculares, não havendo espessamento diferencial nas células. A endoderme foi sempre assimétrica nos feixes de médio e pequeno diâmetro, dessa forma destacando-se morfológicamente no mesofilo.

Bem como observado em eucalipto em faixa, no mesofilo os espaços intercelulares e as câmaras subestomáticas contem desenvolvimento amplo. Os maiores espaços intercelulares e câmaras subestomáticas amplas são adaptações de plantas de sombra (IVANOVA et al., 2011), onde a mesma aumenta a área foliar específica, diminui compactação do mesofilo, aloca menor quantidade de biomassa no parênquima paliçádico deixando-o mais frouxo e dessa forma torna-se mais eficiente na captação da energia disponível no ambiente. Dessa forma, plantas de trigo cultivadas sob menores intensidades luminosas podem apresentar maior eficiência de conversão da radiação solar em matéria seca (Artigo II – Tabela 1).

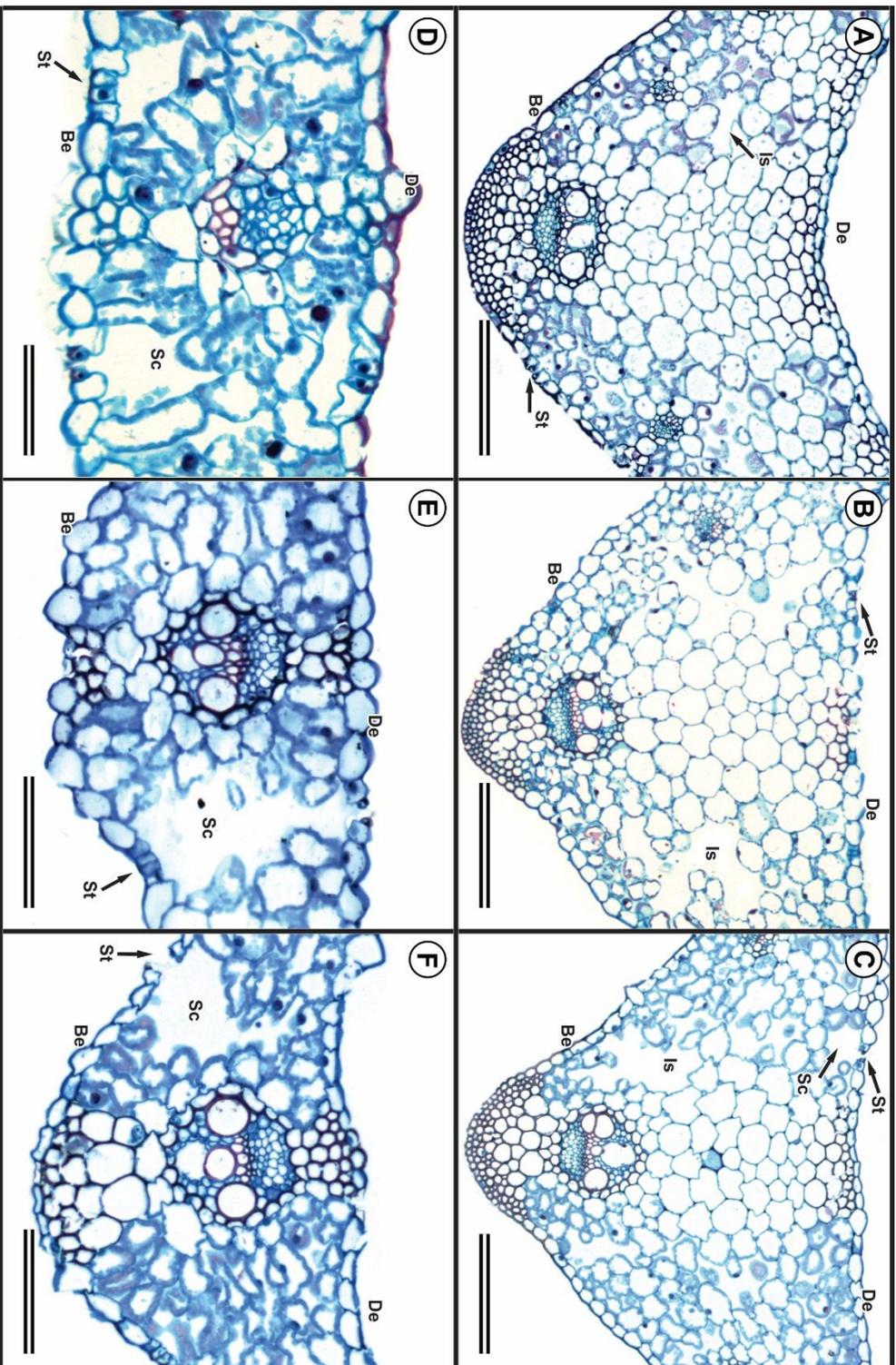


Figura 3 – Características morfoanatômicas de trigo cultivado em sistemas silvipastoris. Nervura central de folha cultivada sob pleno sol (A), guapuruvu em linha (B) e angico em linha (C); Nervura secundária de folha cultivada sob pleno sol (D), guapuruvu em linha (E) e angico em linha (F); Siglas – Is: Espaço Intercelular; Sc: Câmara Substomática; Be: Epiderme Abaxial; De: Epiderme Adaxial; St: Estômato. Frederico Westphalen, 2016.

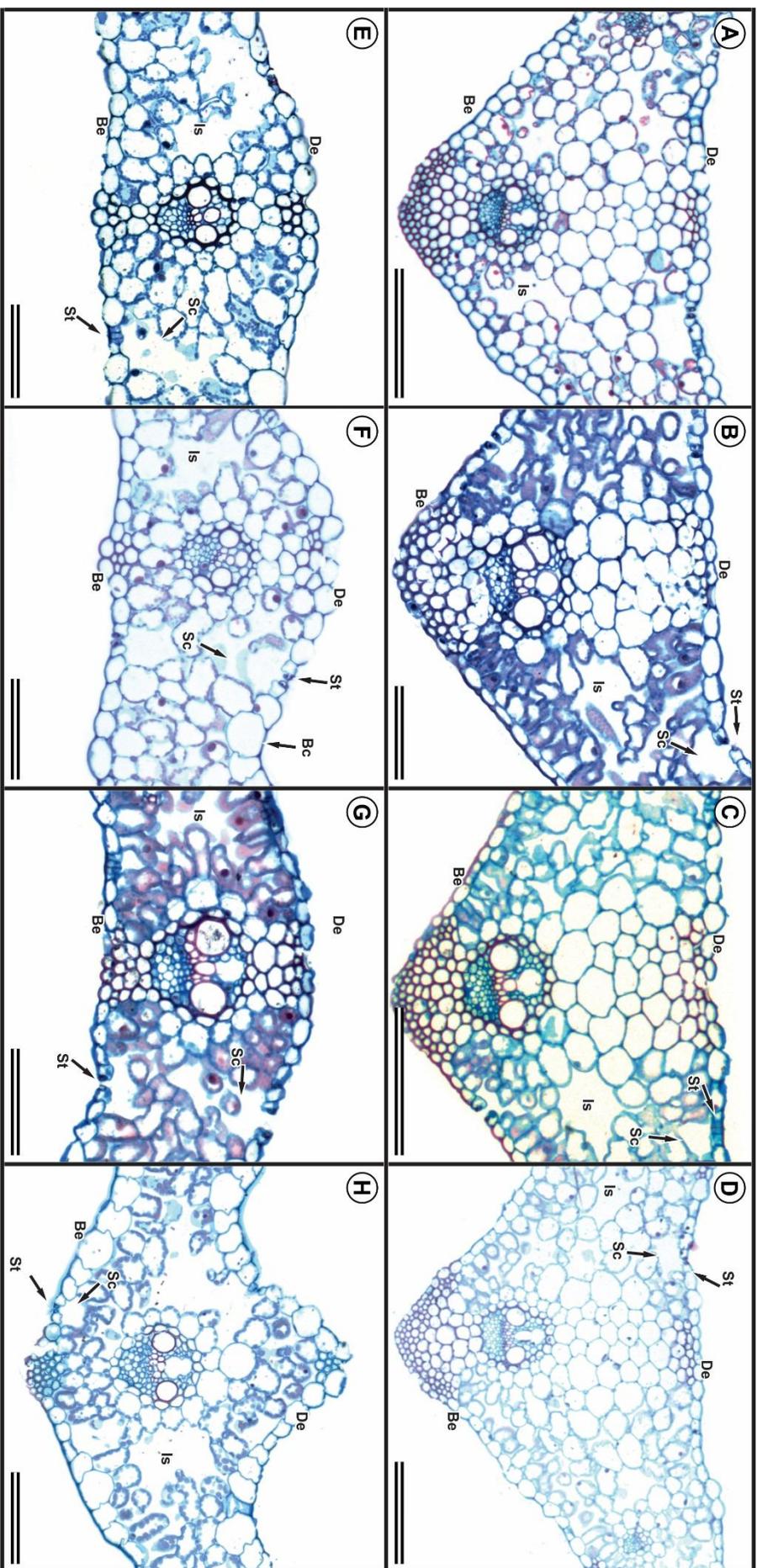


Figura 4 – Características morfoanatômicas de trigo cultivado em sistemas silvipastoris. Nervura central de folha cultivada sob canafístula em linha (A), canafístula em faixa (B), eucalipto em faixa (C) e eucalipto em linha; Nervura secundária de folha cultivada sob canafístula em linha (E), canafístula em faixa (F), eucalipto em faixa (G) e eucalipto em linha (H). Siglas – Is: Espaço Intercelular; Sc: Câmara Subestomática; Be: Epiderme Abaxial; De: Epiderme Adaxial; St: Estômato; Bc: Células buliformes. Frederico Westphalen, 2016.

2.3.4 Experimento II e III – Análises anatômicas qualitativas

Devido as alterações na radiação solar, foram observadas alterações nas variáveis anatômicas de folhas de trigo. A ocorrência de divergências no fenótipo das folhas cultivadas sob pleno sol na presença de sombreamento, nos diferentes SSP's, é resultado do microambiente, bem como também da expressão do seu genótipo (BUNDCHEN; BOEGER; REISSMANN, 2015).

No experimento II foi observada a inferioridade da espessura da epiderme adaxial em folhas de trigo cultivado sob pleno sol (14,73 μm) quando comparado aos SSP's. Por exemplo, sob eucalipto em linha, observou-se a maior aferição para espessura de epiderme de 21,52 μm ($p < 0,05$). No experimento III, sem a presença de corte, os valores de espessura de epiderme adaxial sob pleno sol apresentaram tendência de inferioridade quando comparados ao SSP's angico em linha, guapuruvu em linha e canafístula em linha, no entanto, não diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) dos sistemas de cultivo com canafístula em faixa, eucalipto em faixa e eucalipto em linha.

O manejo de corte “com corte” não apresentou influência sobre a alteração da epiderme adaxial de trigo, com exceção ao SSP composto por canafístula em linha, que demonstrou reduções de 18,42 μm (sem corte) para 13,52 μm (com corte).

Tabela 1 – Espessura da epiderme adaxial (μm) de folhas de trigo cultivado em sistemas silvipastoris e submetido à manejos de corte (Sem Corte, Com Corte). Frederico Westphalen, 2016.

Sistemas de cultivo	Experimento II	Experimento III	
		Sem corte	Com corte
Angico em Linha	17,48 c	17,32 abA	16,95 aA
Canafístula em Faixa	16,61 c	16,51 bA	16,57 abA
Canafístula em Linha	19,55 b	18,42 aA	13,52 cB
Eucalipto em Faixa	19,15 b	16,73 bA	16,67 aA
Eucalipto em Linha	21,52 a	16,05 bA	16,48 aA
Guapuruvu em Linha	21,06 a	16,96 abA	16,39 aA
Pleno Sol	14,73 d	15,87 bA	15,28 bA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Bem como observado para espessura de epiderme adaxial, no experimento II, a espessura da epiderme abaxial de folhas de trigo cultivadas em sub-bosques de todas as espécies florestais apresentou superioridade em relação às cultivadas sob pleno sol (Tabela 2).

No experimento III, plantas de trigo sem a realização do corte, cultivadas sob eucalipto em linha, caracterizado como ambiente bastante sombreado, apresentou os menores valores de espessura de epiderme abaxial (17,92 μm). No entanto, não diferenciou estatisticamente de sistemas de cultivo como eucalipto em faixa (18,78 μm), pleno sol (19,05 μm) e angico em linha (19,26 μm) (Tabela 2).

Em SSP's "com corte", canafístula em linha propiciou às plantas de trigo valores para epiderme abaxial de 16,7 μm , menor valor observado, comportamento semelhante observado com a epiderme adaxial. Plantas cultivadas sob pleno sol e os demais SSP's com a presença de corte se mantiveram inalteradas para essa variável quando comparadas ao manejo "sem corte". Eucalipto em faixa e em linha, foram os únicos SSP's em que o manejo de corte "com corte" proporcionou às folhas de trigo incrementarem a espessura da epiderme abaxial quando comparado às plantas "sem corte", de 18,78 μm para 20,67 μm e de 17,92 μm para 19,89 μm , respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2 – Espessura da epiderme abaxial (μm) de folhas de trigo cultivado em sistemas silvipastoris e submetido à manejos de corte (Sem Corte, Com Corte). Frederico Westphalen, 2016.

Sistemas de cultivo	Experimento II	Experimento III	
		Sem corte	Com corte
Angico em Linha	20,85 cd	19,26 abA	18,05 bcA
Canafístula em Faixa	21,81 bc	19,98 aA	19,67 aA
Canafístula em Linha	22,48 ab	20,00 aA	16,70 cB
Eucalipto em Faixa	22,98 ab	18,78 abB	20,67 aA
Eucalipto em Linha	23,33 a	17,92 bB	19,89 aA
Guapuruvu em Linha	23,79 a	19,38 aA	19,70 aA
Pleno Sol	19,59 d	19,05 abA	18,18 bA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

No experimento II, folhas de trigo cultivadas em SSP's com maior sombreamento como cultivo sob canafístula em linha, eucalipto em faixa e eucalipto em linha demonstraram maiores espessuras de mesofilo em relação aos ambientes com maior incidência de radiação solar. Apesar da não realização da comparação estatística entre experimentos, no experimento III quando comparado ao experimento II, reduções drásticas na espessura de mesofilo foram observadas sob SSP's como angico em linha (152 para 141,1 μm), canafístula em faixa (161,1 para 131,2 μm) e eucalipto em linha (170,4 para 139,5), caracterizando-os como inferiores aos demais.

Com a realização do manejo de corte foram observados aumentos na espessura do mesofilo de folhas de trigo cultivadas sob os sistemas sombreados, com exceção do sistema sob canafístula em linha, que demonstrou redução (167,4 μm para 127,8 μm), e para o sistema sob eucalipto em linha que foi invariável. Sob pleno sol, o corte das plantas não alterou a espessura do mesofilo (Tabela 3).

Tabela 3 – Espessura do mesofilo (μm) de folhas de trigo cultivado em sistemas silvipastoris e submetido à manejos de corte (Sem Corte, Com Corte). Frederico Westphalen, 2016.

Sistemas de cultivo	Experimento II	Experimento III	
		Sem corte	Com corte
Angico em Linha	152,0 c	141,1 dB	148,3 cdA
Canafístula em Faixa	161,1 b	131,2 eB	156,6 bA
Canafístula em Linha	171,1 a	167,4 aA	127,8 eB
Eucalipto em Faixa	173,1 a	145,4 cdB	163,7 aA
Eucalipto em Linha	170,4 a	139,5 dA	144,6 dA
Guapuruvu em Linha	158,9 bc	149,7 bcB	162,1 abA
Pleno Sol	155,7 bc	154,4 bA	154,2 bcA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

No experimento II, a espessura total de folhas de trigo foi maior em SSP's com maior nível de sombreamento, como cultivo sob canafístula em linha (213,2 μm), eucalipto em linha (215,3 μm) e eucalipto em faixa (215,5 μm). O comportamento para essa variável se assemelhou com espessura de mesofilo. Essa observação infere que a alteração da espessura do mesofilo é a principal causa da alteração conjunta da espessura total da folha de trigo.

No experimento III, em plantas sem manejo de corte, não se observou resposta da variável espessura de folha em relação ao déficit de luz. O manejo de corte demonstrou influência sobre folhas de trigo cultivadas sob os sistemas sombreados canafístula em faixa (167,7 para 192,8 μm), eucalipto em linha (180,9 para 201 μm) e guapuruvu em linha (186 para 198,2 μm), incrementando a espessura total de folha. Folhas cultivadas sob canafístula apresentaram reduções de 205,8 μm para 158 μm . Folhas sob pleno sol mantiveram inalterada a espessura total de folha após a realização do corte (Tabela 4).

A variação na umidade relativa do ar pode ser considerada também como fator de alteração na morfoanatomia foliar do trigo. Torre et al. (2003) realizou estudo sobre a influência da umidade relativa do ar sobre a anatomia de folha e morfologia estomática de *Rosa xhybrida* 'Baroness' em estufa e constatou que menores valores de umidade relativa do

ar acarretaram maiores espessuras de epiderme adaxial, epiderme abaxial, maior número de células no mesofilo, e conseqüentemente maior espessura total de folha. Esses resultados estão em acordo com as observações realizadas pelo presente trabalho. No interior dos sistemas silvipastoris foram observados maiores valores de umidade relativa do ar, concomitante às maiores espessuras das epidermes foliares (Tabela 1 e 2), espessura de mesofilo (Tabela 3) e espessura total de folha (Tabela 4).

Tabela 4 – Espessura total (μm) de folha de trigo cultivado em sistemas silvipastoris submetido à manejos de corte (Sem Corte, Com Corte). Frederico Westphalen, 2016.

Sistemas de cultivo	Experimento II	Experimento III	
		Sem corte	Com corte
Angico em Linha	190,3 c	177,7 deA	183,3 dA
Canafístula em Faixa	199,5 b	167,7 fB	192,8 bcA
Canafístula em Linha	213,2 a	205,8 aA	158,0 eB
Eucalipto em Faixa	215,3 a	180,9 cdB	201,0 aA
Eucalipto em Linha	215,3 a	173,4 efB	181,0 dA
Guapuruvu em Linha	203,7 b	186,0 bcB	198,2 abA
Pleno Sol	190,1 c	189,3 bA	187,6 cdA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

No experimento II, a densidade estomática adaxial de folhas de trigo foi maior no sistema ao pleno sol em relação às folhas sob os ambientes sombreados. No experimento III, percebeu-se menor discrepância entre os tratamentos, onde inclusive, o SSP angico em linha ($353,6$ estômatos/ mm^2) demonstrou superioridade ($p < 0,05$) em relação ao cultivo pleno sol para essa variável. Com a realização do corte, houve redução na densidade estomática sob todos os sistemas de cultivo em relação aos indivíduos sem corte, com exceção ao cultivo eucalipto em faixa, apresentando pequeno aumento de $296,4$ para $311,8$ estômatos/ mm^2 (Tabela 5).

Estruturas responsáveis pelas trocas gasosas entre a planta e a atmosfera, a densidade estomática sofreu influência quando a folha foi submetida à distintos níveis de luminosidade (HETHERINGTON; WOODWARD, 2003). Condições reduzidas de luz causam aumentos no tamanho de estômatos e reduzem sua densidade na folha, de forma a reduzir a resistência estomática e incrementar a taxa fotossintética (HETHERINGTON; WOODWARD, 2003; TERASHIMA et al., 2001).

De acordo com a afirmação dos autores, ambientes com pouca incidência de luminosidade causam uma redução no número de estômatos na folha para propiciar um aumento no seu tamanho. Esse formato favorece a entrada de CO₂ para os espaços intercelulares do limbo foliar e reduz a probabilidade de fechamento em curtos períodos de tempo. O fechamento dos estômatos, mesmo em curtos períodos do dia, pode ser crucial a plantas que são submetidas a baixa incidência solar. Essa característica não é desejável em períodos secos, que necessita fechamento rápido dos estômatos nos momentos mais quentes do dia, em que ocorrem simultaneamente abruptas quedas na umidade relativa do ar e aumentos na temperatura do ar. No entanto, quando cultivadas sob SSP's, as plantas são submetidas a maiores valores de umidade relativa do ar e menores temperaturas do ar frente ao pleno sol (Figura 2), reduzindo a probabilidade de ocorrência de estresses e consequentemente o fechamento estomático.

Tabela 5 – Densidade estomática adaxial (estômatos/mm²) de folhas de trigo cultivado em sistemas silvipastoris e submetido à manejos de corte (Sem Corte, Com Corte). Frederico Westphalen, 2016.

Sistemas de cultivo	Experimento II	Experimento III	
		Sem corte	Com corte
Angico em Linha	251,4 bc	353,6 aA	324,2 aB
Canafístula em Faixa	246,0 c	339,5 abA	277,0 cB
Canafístula em Linha	187,0 e	251,8 eA	219,2 dB
Eucalipto em Faixa	214,3 d	296,4 dB	311,8 abA
Eucalipto em Linha	261,2 b	345,1 abA	314,4 aB
Guapuruvu em Linha	207,2 d	313,8 cA	291,0 cB
Pleno Sol	349,4 a	332,3 bA	298,5 bB

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A densidade estomática abaxial de folhas de trigo, obteve comportamento similar a densidade estomática adaxial. No entanto, percebeu-se que a densidade estomática abaxial foi menor que a densidade estomática adaxial em todos os sistemas de cultivo (Tabela 6).

A abertura estomática possui relação direta sobre a taxa fotossintética da planta (TANAKA et al., 2013). Schluter et al. (2002) realizaram experimento com mutante de *Arabidopsis* com o intuito de determinar a performance fotossintética dessa planta com elevada densidade estomática. Os autores concluíram que o aumento na intensidade luminosa incrementou a densidade estomática em ambas as faces da folha. Com isso a taxa fotossintética aumentou consideravelmente. Em condições de alta luminosidade, plantas

tendem a possuir alta densidade estomática e tamanho reduzido do poro estomático, com o intuito de ser estimulada rapidamente frente as alterações abruptas do clima durante condições de estiagem.

Em resumo, a planta possui a capacidade de aumentar o poro estomático ou o número de estômatos, ambos com o objetivo de reduzir a resistência estomática e aumentar a taxa fotossintética. No entanto, cada estímulo pode ser dado frente a uma determinada condição que a planta está sendo submetida, seja alto sombreamento ou alta intensidade luminosa.

Zhang et al. (2014) cita a ocorrência de genes da família EPF (Epidermical Patterning Factor) em plantas. Os EPF's são peptídeos formados por complexos de auxina responsáveis por controlar a produção de estômatos na epiderme foliar. No entanto, esses receptores agem regulando negativamente o desenvolvimento de novas células estomáticas através da inibição do gene STOMAGEN (HARA et al., 2007; HARA et al., 2009; HUNT; GRAY, 2009; LEE et al., 2012), gene promotor do desenvolvimento de estômatos (SUGANO et al., 2010). De modo geral, a maior concentração de auxinas na planta acarreta em reduções no número de estômatos nas folhas. Geralmente, a auxina é sintetizada nos meristemas apicais e folhas mais novas, encontradas principalmente em plantas em fase de rebrote, devido ao corte do meristema apical e quebra da dominância apical. Com isso, plantas de trigo logo após a realização do manejo de corte apresentaram maiores concentrações de auxina, inibindo a produção de novas células estomáticas, justificando os menores valores para a variável densidade estomática nessa avaliação (Tabela 5 e 6).

Tabela 6 – Densidade estomática abaxial (estômatos/mm²) de folhas de trigo cultivado em sistemas silvipastoris e submetido à manejos de corte (Sem Corte, Com Corte). Frederico Westphalen, 2016.

Sistemas de cultivo	Experimento II	Experimento III	
		Sem corte	Com corte
Angico em Linha	172,0 b	186,8 dA	198,3 abA
Canafístula em Faixa	138,7 d	210,7 cA	190,8 abB
Canafístula em Linha	125,3 de	257,0 aA	147,8 cB
Eucalipto em Faixa	127,5 de	139,6 eB	193,1 abA
Eucalipto em Linha	157,9 c	229,8 bA	196,4 abB
Guapuruvu em Linha	122,2 e	228,4 bA	199,6 aB
Pleno Sol	239,3 a	220,8 bcA	186,3 bB

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

No experimento II foram observados maiores números de outras células epidérmicas na face adaxial de folhas cultivadas sob pleno sol em relação aos ambientes sombreados. No experimento III houve grande acréscimo para essa variável apenas nos tratamentos sombreados. Dessa forma os SSP's evidenciaram maiores densidades de outras células epidérmicas da face adaxial em relação ao pleno sol, com exceção do SSP com eucalipto em faixa (1192,5 células/mm²) que demonstrou semelhança ($p < 0,05$) ao ambiente sob pleno sol (1206,4 células/mm²) (Tabela 7).

Com a realização do manejo de corte, folhas de trigo sob angico em linha não variaram sua densidade de outras células epidérmicas adaxiais ($p < 0,05$). No entanto, sistemas de canafístula em faixa (1431,1 para 1325,4 células/mm²), canafístula em linha (1802,5 para 1562,8 células/mm²) e eucalipto em linha (1711,9 para 1461 células/mm²) reduziram esses valores. Em contrapartida, cultivos de eucalipto em faixa (1192,5 para 1602,9 células/mm²), guapuruvu em linha (1283,3 para 1407,9 células/mm²) e cultivo ao pleno sol (1206,4 para 1367,3 células/mm²), propiciaram comportamento ascendente nessa variável.

Tabela 7 – Número de outras células vegetais na epiderme adaxial (células/mm²) de folhas de trigo cultivado em sistemas silvipastoris e submetido à manejos de corte (Sem Corte, Com Corte). Frederico Westphalen, 2016.

Sistemas de cultivo	Experimento II	Experimento III	
		Sem corte	Com corte
Angico em Linha	879,3 c	1551,9 cA	1561,6 aA
Canafístula em Faixa	1166,2 b	1431,1 dA	1325,4 dB
Canafístula em Linha	820,4 d	1802,5 aA	1562,8 aB
Eucalipto em Faixa	716,2 e	1192,5 fB	1602,9 aA
Eucalipto em Linha	869,6 cd	1711,9 bA	1461,0 bB
Guapuruvu em Linha	748,8 e	1283,3 eB	1407,9 bcA
Pleno Sol	1462,8 a	1206,4 fB	1367,3 cdA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

No experimento II, o número de outras células epidérmicas na face abaxial foi maior quando estas foram cultivadas sob pleno sol, bem como observado na face adaxial. No experimento III, com exceção do SSP eucalipto em faixa (1094,3 células/mm²), todos os demais SSP's evidenciaram maiores valores quando comparados ao pleno sol (1296,5 células/mm²).

A partir da realização do manejo de corte, SSP's com angico em linha (1654,8 para 1574,1 células/mm²), canafístula em faixa (1436,8 para 1119 células/mm²), canafístula em

linha (1835,3 para 1681,2 células/mm²) e eucalipto em linha (1645,9 para 1554,9 células/mm²), reduziram os valores dessa variável morfológica. Semelhante ao cultivo em pleno sol (1296,5 para 1316,6 células/mm²), SSP's com eucalipto em faixa (1094,3 para 1697,3 células/mm²) e guapuruvu em linha (1473,4 para 1633,6 células/mm²) proporcionaram incrementos na densidade de outras células epidérmicas na face abaxial da folha de trigo (Tabela 8).

Tabela 8 – Número de outras células vegetais na epiderme abaxial (células/mm²) de folhas de trigo cultivado em sistemas silvipastoris e submetido à manejos de corte (Sem Corte, Com Corte). Frederico Westphalen, 2016.

Sistemas de cultivo	Experimento II	Experimento III	
		Sem corte	Com corte
Angico em Linha	739,5 b	1654,8 bA	1574,1 cB
Canafístula em Faixa	703,7 b	1436,8 cA	1119,0 eB
Canafístula em Linha	641,0 c	1835,3 aA	1681,2 abB
Eucalipto em Faixa	636,6 c	1094,3 eB	1697,3 aA
Eucalipto em Linha	739,0 b	1645,9 bA	1554,9 cB
Guapuruvu em Linha	548,6 d	1473,4 cB	1633,6 bA
Pleno Sol	1160,0 a	1296,5 dA	1316,6 dA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

No experimento II não se observou resposta para índice estomático em relação a intensidade luminosa, no entanto, no experimento III, sem a realização do manejo de corte, observou-se que em plantas cultivadas sob pleno sol, o índice estomático foi maior quando comparado ao SSP's (Tabela 9).

Tabela 9 – Índice estomático adaxial de folhas de trigo cultivado em sistemas silvipastoris e submetido à manejos de corte (Sem Corte, Com Corte). Frederico Westphalen, 2016.

Sistemas de cultivo	Experimento II	Experimento III	
		Sem corte	Com corte
Angico em Linha	18,894 a	10,133 eA	11,194 cA
Canafístula em Faixa	16,467 d	12,830 bcB	14,594 aA
Canafístula em Linha	16,352 d	12,283 cdA	8,084 dB
Eucalipto em Faixa	16,720 cd	11,313 dA	10,222 cB
Eucalipto em Linha	17,672 bc	12,265 cdA	11,205 cA
Guapuruvu em Linha	18,215 ab	13,422 bA	10,901 cB
Pleno Sol	17,114 cd	14,550 aA	12,416 bB

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Coupe et al. (2006) também constatou aumento no índice estomático em *Arabidopsis* quando cultivada sob alta incidência de luminosidade. O manejo de corte da espécie forrageira incrementou o número de outras células adaxiais apenas no SSP composto por canafístula em faixa, alcançando superioridade apenas ao pleno sol. Observou-se também que os valores sob o cultivo pleno sol mantiveram-se superiores aos demais SSP's. Nos demais cultivos, foram verificadas reduções para essa variável

No experimento II, também não foi observado resposta do índice estomático com a intensidade luminosa, no entanto, no experimento III, percebeu-se que o cultivo pleno sol (21,608) obteve os maiores valores. O manejo de corte da espécie forrageira acarretou em reduções ($p < 0,05$) para esses valores em sub-bosques de angico em linha (18,567 para 17,191), eucalipto em faixa (19,915 para 16,321), guapuruvu em linha (19,655 para 17,132) e cultivo ao pleno sol (21,608 para 17,950) e não modificou essa variável em SSP's com canafístula em faixa e em linha e eucalipto em linha (Tabela 10).

Tabela 10 – Índice estomático abaxial de folhas de trigo cultivado em sistemas silvipastoris e submetido à manejos de corte (Sem Corte, Com Corte). Frederico Westphalen, 2016.

Sistemas de cultivo	Experimento II	Experimento III	
		Sem corte	Com corte
Angico em Linha	22,240 ab	18,567 cA	17,191 abB
Canafístula em Faixa	17,446 d	19,180 bcA	17,288 abB
Canafístula em Linha	18,568 c	12,258 eA	12,301 cA
Eucalipto em Faixa	23,078 a	19,915 bA	16,321 bB
Eucalipto em Linha	23,122 a	16,784 dA	17,695 aA
Guapuruvu em Linha	21,670 b	19,655 bA	17,132 abB
Pleno Sol	19,281 c	21,608 aA	17,950 aB

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Ressalta-se que além das variáveis morfoanatômicas, é de suma importância compreender os demais atributos funcionais da planta durante seu ciclo de crescimento e desenvolvimento, já que essas características interagem com o ambiente de forma interligada e complexa, de modo a formar diferentes combinações, possibilitando a essa espécie sobreviver em uma área antes não propícia (HALLIK et al., 2009). Os fenótipos podem expressar diferentes níveis de aclimatação, apresentando plasticidade distinta a cada ambiente, o que torna a avaliação e interpretação das características morfoanatômicas e fisiológicas mais complexa. As espécies arbóreas que compuseram o estudo apresentaram copas distintas,

tornando a interação das mesmas com a radiação solar também desigual. Estudos demonstram que dosséis vegetais fechados aumentam de forma significativa a proporção radiação difusa/direta, melhorando as taxas fotossintéticas de vegetais no seu interior (JOHNSON; SMITH, 2006). Dessa forma, copas arbóreas constituintes de SSP's podem proporcionar maior fluxo de radiação solar difusa sobre o dossel da espécie em sub-bosque.

O eucalipto, por exemplo, possui crescimento mais avançado em comparação as demais espécies componentes do estudo, perfazendo maior estatura de planta. O manejo de copa arbórea realizado anteriormente a implantação do estudo proporcionou maior altura entre a superfície do solo e as primeiras ramificações do fuste em relação as demais espécies. Essas características asseguraram maior interceptação da radiação solar direta, no entanto, facilitou possivelmente a entrada de radiação multidirecional (difusa), aceita na literatura como mais eficiente na contribuição fotossintética.

Mas cabe ressaltar que além da qualidade da radiação solar, a quantidade ainda é um fator considerável. A quantidade de energia que incide no interior do dossel é intrinsecamente importante para o funcionamento do aparato fotossintético da planta. Além disso, o momento em que a radiação incide sobre o dossel vegetativo da espécie em sub-bosque também é primordial. Espécies arbóreas caducifólias como o angico, canafístula e guapuruvu apresentaram queda de suas folhas na estação do inverno. Com o decorrer do tempo e o aumento da temperatura, a emissão foliar dessas espécies arbóreas foi incrementada, transmitindo menor quantidade de radiação direta e possivelmente maior fluxo de radiação difusa ao interior do seu dossel. Dessa forma, maior parte da fase vegetativa do trigo transcorreu sob altas intensidades luminosas, enquanto a fase reprodutiva, inclusive o enchimento de grãos, e desenvolvimento vegetativo pós-corte, transcorreram sob baixas transmissividades de luz.

O entendimento da influência da radiação difusa sobre o crescimento e desenvolvimento vegetal ainda é pouco elucidado, devido principalmente a dificuldade e complexidade de sua aferição em condições de pesquisas que envolvem diversos fatores de interferência, como é o caso dos sistemas silvipastoris. De modo geral, alterações anatômicas podem ser encontradas em folhas de plantas que são submetidas ao ambiente sombreado. O principal objetivo dessas alterações é a manutenção do desenvolvimento e crescimento vegetal mesmo em condições antes limitantes. No entanto, ressalta-se a importância de estudos direcionados a cada espécie em específico, devido que características anatômicas distintas podem ser observadas mesmo em espécies diferentes e até em mesmos indivíduos, dada a influência direta que o ambiente e o microclima de cultivo exercem sobre os vegetais.

2.4 CONCLUSÃO

O sombreamento natural de sistemas silvipastoris estimula a plasticidade anatômica de trigo, alterando a espessura de epiderme, mesofilo e folha, densidade estomática, número de outras células epidérmicas e índice estomático. Tal característica é desenvolvida com o intuito de tornar-se mais eficiente frente aos recursos disponíveis no sistema, mostrando-se suscetível a variação dos elementos meteorológicos. No entanto, é primordial para o crescimento e desenvolvimento do trigo sob sombreamento natural.

Folhas de trigo cultivadas sob sombreamento, de modo geral apresentaram maiores espaços intercelulares e câmaras subestomáticas, menores níveis de esclerificação nas células, mesofilo menos compacto e, em ambientes com até 15% de transmissividade de luminosidade, maiores prominências na superfície foliar.

Dependente da espécie arbórea componente do sistema asseguram-se diferentes comportamentos as variáveis anatômicas de folhas de trigo, promovidos possivelmente pela interação das distintas formas de copas de cada espécie arbórea com a radiação solar direta, originando diferentes fluxos de radiação difusa no sub-bosque.

A realização do manejo de corte em indivíduos cultivados sob pleno sol altera densidade estomática, número de outras células epidérmicas e índice estomático de folhas de trigo. Com déficit de radiação, além dessas variáveis, o corte altera a espessura da epiderme, mesofilo foliar e espessura total de folha.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUNDCHEN, M.; BOEGER, M. R. T.; REISSMANN, C. B. Estrutura foliar de espécies lenhosas de dossel e sub-bosque em uma floresta subtropical do sul do Brasil. **Iheringia**, Série Botânica, Porto Alegre, v. 70, n. 1, p. 105-114, 2015.
- CASAS, R. R. de; VARGAS, P.; PÉREZ-CORONA, E.; MANRIQUE, E.; GARCÍA-VERDUGO, C.; BALAGUER, L. 2011. Sun and shade leaves of *Olea europaea* respond differently to plant size, light availability and genetic variation. **Functional Ecology**, v. 25, p. 802-812, 2011.
- COUPE, S. A.; PALMER, B. G.; LAKE, J. A.; OVERY, S. A.; OXBOROUGH, K.; WOODWARD, F. I.; GRAY, J. E.; QUICK, W. P. Systemic signalling of environmental cues in *Arabidopsis* leaves. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, p. 329-341, 2006.
- CUNHA, N. G. da; SILVEIRA, R. J. C.; KOESTER, E.; OLIVEIRA, L. D. de; ALBA, J. M. F.; TERRES, V. C.; LOPES, R. T. **Estudos de Solos do Município de Frederico Westphalen, RS**. Circular Técnica 116, Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. 2011. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/45561/1/CIRCULAR-TECNICA-116.pdf>>, acesso em: 8 de janeiro de 2016.
- DAVID, S.; RAUSSEN, T. The agronomic and economic potential of tree fallows on scoured terrace benches in the humid highlands of Southwestern Uganda. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 95, n. 1, p. 359-369, 2003.
- DEL DUCA, L. de J. A.; MOLIN, R.; SANDINI, I. **Experimentação de genótipos de trigo para duplo propósito no Paraná, em 1999**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 28 p. (Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa, 6).
- DEWALT, S. J.; DENSLOW, J. S. & HAMRICK, J. L. Biomass allocation, growth, and photosynthesis of genotypes from native and introduced ranges of the tropical shrub *Clidemia hirta*. **Oecologia**, v. 138, p. 521-531, 2004.
- DICKISON, W. C. **Integrative Plant Anatomy**. Academic Press, San Diego. 451 p., 2000.
- FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S. **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região Sul-Brasileira**. 2. ed. – Brasília, DF: Embrapa, 2012. 544p.
- HALLIK, L.; NIINEMETS, Ü.; WRIGHT, I. J. Tolerance to shade and drought in relation to foliage structural and functional traits in temperate woody species. **New Phytologist**, v. 184, p. 257-274, 2009.
- HARA, K.; KAJITA, R.; TORII, K. U.; BERGMANN, D. C.; KAKIMOTO, T. The secretory peptide gene EPF1 enforces the stomatal one-cell-spacing rule. **Genes & Development**, v. 21, n.14, p. 1720-1725 2007.

HARA, K.; YOKOO, T.; KAJITA, R.; ONISHI, T.; YAHATA, S.; PETERSON, K. M.; TORII, K. U.; KAKIMOTO, T. Epidermal cell density is autoregulated via a secretory peptide, EPIDERMAL PATTERNING FACTOR 2 in *Arabidopsis* leaves. **Plant & Cell Physiology**, v. 50, n. 6, p. 1019-1031, 2009.

HETHERINGTON, A. M.; WOODWARD, F. I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. **Nature**, v. 424, n. 6951, p. 901-908, 2003.

HILAL, M.; PARRADO, M. F.; ROSA, M.; GALLARDO, M.; ORCE, L.; MASSA, E. M.; GONZÁLEZ, J. A.; PRADO, F. E. Epidermal Lignin Deposition in Quinoa Cotyledons in Response to UV-B Radiation. **Photochemistry and Photobiology**, v. 79, n. 2, p. 205-210, 2004.

HUNT, L.; GRAY, J. E. The signaling peptide EPF2 controls asymmetric cell divisions during stomatal development. **Current Biology**, v. 19, n. 10, p. 864-869, 2009.

IVANOVA, L. A.; IVANOV, L. A.; RONZHINA, D. A.; P'YANKOV, V. I. Shading-induced changes in the leaf mesophyll of plants of different functional types. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 55, n. 2, p. 211-219, 2011.

JOHANSEN, D. A. **Plant micro technique**. Mc Graw Hill, New York, 1940.

JOHNSON, D. M.; SMITH, W. K. Low clouds and cloud immersion enhance photosynthesis in understory species of a southern Appalachian spruce–fir forest (USA). **American Journal of Botany**, v. 93, n. 11, p. 1625-1632, 2006.

LABOURIAU, L. G.; OLIVEIRA, J. G.; LABOURIAU, M. L. S. Transpiração de *Schizolobium parayba* (Vell.) Toledo. I – Comportamento na estação chuvosa, nas condições de Caeté, Minas Gerais, Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. v. 33, n. 2, p. 237-258, 1961.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 531p., 2000.

LARGE, E. C. Growth stages in cereals illustration of the Feeks scales. **Plant Pathology**, v. 4, p. 22-24, 1954.

LEE, J. S.; KUROHA, T.; HNILOVA, M.; KHATAYEVICH, D.; KANAOKA, M. M.; MCABEE, J. M.; SARIKAYA, M.; TAMERLER, C.; TORII, K. U. Direct interaction of ligand-receptor pairs specifying stomatal patterning. **Genes & Development**, v. 26, n. 2, p. 126-136, 2012.

LÜTTGE, U. **Physiological ecology of tropical plants**. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1997.

MAÁ CZ, G. J.; VÁ GÁS, E. A new method for staining of cellulose and lignified cells-walls. **Mikroskopie**, v. 16, p. 40-43, 1961.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, p. 141-150, 2000.

MÜLLER, M. D.; NOGUEIRA, G. S.; CASTRO, C. R. T. de; PACIULLO, D. S. C.; ALVES, F. de F.; CASTRO, R. V. O.; FERNANDES, E. N. Economic analysis of an agrosilvipastoral system for a mountainous area in Zona da Mata Mineira, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1148-1153, 2011.

OGUCHI, R.; HIKOSAKA, K.; HIURA, T.; HIROSE, T. Leaf anatomy and light acclimation in woody seedlings after gap formation in a cool-temperate deciduous forest. **Oecologia** n. 149, p. 571-582, 2006.

PACIULLO, D. S. C.; CASTRO, C. R. T.; GOMIDE, C. A. M.; MAURICIO, R. M.; PIRES, M. F. A.; MULLER, M. D.; XAVIER, D. F. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock Science**, v. 141, n. 2, p. 166-172, 2011.

PACIULLO, D. S. C.; CARVALHO, C. A. B. de; AROEIRA, L. J. M.; MORENZ, M. J. F.; LOPES, F. C. F.; ROSSIELLO, R. O. P. Morphophysiology and nutritive value of signal grass under natural shading and full sunlight. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 573-579, 2007.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. 183p. Piracicaba: FEALQ, 1997.

RODRIGUES PEREIRA, T. A.; DA SILVA, L. C.; AZEVEDO, A. A.; FRANCINO, D. M. T.; DOS SANTOS COSER, T.; PEREIRA, J. D. Leaf morpho-anatomical variations in *Billbergia elegans* and *Neoregelia mucugensis* (Bromeliaceae) exposed to low and high solar radiation. **Botany**, v. 91, n. 6, p. 327-334, 2013.

ROZENDAAL, D. M. A.; HURTADO, V. H.; POORTER, L. Plasticity in leaf traits of 38 tropical tree species in response to light, relationships with light demand and adult stature. **Functional Ecology**, n. 20, v. 2, p. 207-216, 2006.

SAS Learning Edition. **Getting started with the SAS Learning Edition**. Cary, 200p. 2000.

SCHLUTER, U.; MUSCHAK, M.; BERGER, D.; ALTMANN, T. Photosynthetic performance of an Arabidopsis mutant with elevated stomatal density (sdd1-1) under different light regimes. **Journal of Experimental Botany**, v. 54, n. 383, p. 867-874, 2002.

SMITH, W.; VOGELMANN, T.; DELUCIA, E.; BELL, D.; SHEPHERD, K. Leaf form and photosynthesis. **Bioscience**, v. 47, p. 785-793, 1997.

SOARES, A. B.; SARTOR, L. R.; ADAMI, P. F.; VARELLA, A. C.; FONSECA, L.; MEZZALIRA, J. C. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 3, p. 443-451, 2009.

SOUZA, H. N. de; DE GOEDE, R. G. M.; BRUSSAARD, L.; CARDOSO, I. M.; DUARTE, E. M. G.; FERNANDES, R. B. A.; GOMES, L. C.; PULLEMAN, M. M. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 146, n. 1, p. 179-196, 2012.

- SUGANO, S. S.; SHIMADA, T.; IMAI, Y.; OKAWA, K.; TAMAI, A.; HARA-NISHIMURA, I. Stomagen positively regulates stomatal density in *Arabidopsis*. **Nature**, v. 463, n. 7278, p. 241-244, 2010.
- TANAKA, Y.; SUGANO, S. S.; SHIMADA, T.; HARA-NISHIMURA, I. Enhancement of leaf photosynthetic capacity through increased stomatal density in *Arabidopsis*. **New Phytologist**, v. 198, n. 3, p. 757-764, 2013.
- TEODORO, A. V.; SOUSA-SOUTO, L.; KLEIN, A.-M.; TSCHARNTKE, T. Seasonal Contrasts in the Response of Coffee Ants to Agroforestry Shade-Tree Management. **Environmental Entomology**, v. 39, n. 6, p. 1744-1750, 2010.
- TERASHIMA, I.; MIYAZAWA, S. I.; HANBA, Y. T. Why are Sun Leaves Thicker than Shade Leaves? — Consideration based on Analyses of CO₂ Diffusion in the Leaf. **Journal of Plant Research**, v. 114, n. 1, p. 93-105, 2001.
- TORRE, S.; FJELD, T.; GISLEROD, H. R.; MOE, R. Leaf anatomy and stomatal morphology of greenhouse roses grow at moderate or high air humidity. **Journal American Society of Horticulture Science**, v. 128, n. 4, p. 598-602, 2003.
- VOGELMANN, T. C.; NISHIO, J. N.; SMITH, W. K. Leaves and light capture: light propagation and gradients of carbon fixation within leaves. **Trends in Plant Science**, v. 1, n. 2, p. 65-70, 1996.
- VOISIN, A. **Productivité de l'herbe**. Paris: Flammarion, 1957. 457 p.
- VOLTOLINI, C. H.; SANTOS, M. Leaf morphoanatomy variation in *Aechmea lindenii* (*E. Morren*) Baker var. *lindenii* (Bromeliaceae) under distinct environmental conditions. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 1, p. 2-10, 2011.
- WANG, Y.; ZHANG, B.; LIN, L.; ZEPP, H. Agroforestry system reduces subsurface lateral flow and nitrate loss in Jiangxi Province, China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 140, n. 3-4, p. 441-453, 2011.
- ZHANG, J.; HE, S.; LI, L.; YANG, H. Auxin inhibits stomatal development through MONOPTEROS repression of a mobile peptide gene STOMAGEN in mesophyll. **Proceeding of National Academy of Science of the United States of America**, v. 111, n. 29, p. 3015-3023, 2014.

3 ARTIGO II – CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA DO USO DA RADIAÇÃO SOLAR DE TRIGO DUPLO PRÓPOSITO CULTIVADO EM SISTEMAS SILVIPASTORIS

3.1 INTRODUÇÃO

Com o incremento em tamanho das copas das árvores que compõem um sistema silvipastoril (SSP), a interceptação da radiação solar aumenta progressivamente, reduzindo a luminosidade disponível, acarretando em possíveis alterações de crescimento sobre a espécie mantida em sub-bosque (BERNARDINO; GARCIA, 2010), podendo estas alterações serem deletérias (GUENNI; SEITER; FIGUEROA, 2008) ou benéficas (SOUSA et al., 2010). O crescimento das plantas é condicionado principalmente ao saldo de matéria seca acumulado pelo processo de fotossíntese (CARON et al., 2012), no qual é ativado pela luminosidade (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Em plantas consideradas saudáveis, com livre disponibilidade de nutrientes e água, a produção de matéria seca é dependente totalmente da radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_i) (MONTEITH, 1965). Monteith e Moss (1977) afirmam que a eficiência do uso da radiação (ϵ_b) revela a relação da RFA interceptada convertida em matéria seca. Comumente, essa relação demonstra função linear, onde o coeficiente angular da curva entre essas variáveis determina a ϵ_b para os vegetais (MOREIRA et al., 2005; MULLER; BERGAMASCHI, 2005; HEINEMANN et al., 2006; CARON et al., 2012).

A ϵ_b da cultura é variável de acordo com o genótipo e depende basicamente do seu índice de área foliar, estrutura foliar, época do ano e nebulosidade (VARLET-GRANCHER et al., 1989; RADIN et al., 2003; SILVA JÚNIOR et al., 2011). Essa variável decresce com o aumento da intensidade de radiação solar acima do ótimo, assim saturando principalmente folhas localizadas no terço superior da planta (RADIN et al., 2003). Com o avanço do crescimento e desenvolvimento da cultura, comumente há incremento do IAF e da ϵ_b devido aos maiores valores de radiação difusa, pelo qual a contribuição relativa de cada folha também apresenta acréscimos (RADIN et al., 2003).

A emissão foliar é o principal interesse de pesquisa no crescimento de espécies forrageiras devido as folhas representarem as estruturas da planta mais palatáveis ao animal, incrementar o volumoso vegetal e, dessa forma, compor a oferta forrageira. Ao longo dos anos se acreditou que a luminosidade não apresentava efeito sobre a taxa de emissão foliar devido ao fato de que o meristema apical, estrutura responsável pela divisão celular e

crescimento foliar, localizava-se entre folhas do vegetal, impedindo a incidência de luminosidade sobre o mesmo.

No entanto, o desenvolvimento de novos trabalhos indicou que plantas cultivadas sob ausência de luz paralisaram a emissão e expansão foliar (YOSHIDA; MANDEL; KUHLEMEIER, 2011), demonstrando que a variação no fluxo de luminosidade acarreta em alterações na emissão foliar.

Devido a expansão das copas de espécies arbóreas que compõem um sistema silvipastoril (SSP), o dossel vegetativo da espécie cultivada em sub-bosque recebe quantidade menor de radiação solar, podendo alterar dessa forma seu crescimento (GUENNI; SEITER; FIGUEROA, 2008). Contudo, a produção de matéria seca pela planta limita-se ao processo de fotossíntese (CARON et al., 2012), desencadeado pela presença de luminosidade (TAIZ; ZEIGER, 2013). Assim, reduções da energia incidente sobre a planta, também acarretam em reduções nas taxas fotossintéticas e conseqüentemente na produção de novas estruturas.

Wilhelm and McMaster (1995) determinaram que o período compreendido entre a emissão de duas folhas consecutivas na planta é chamado de filocrono. Pode-se afirmar que a redução na condição luminosa do ambiente causa modificações no filocrono de plantas.

Frente a estímulos ambientais de redução no fluxo da radiação solar direta, organismos vegetais podem desenvolver formas de aclimação, com o objetivo de tornar-se mais eficientes no uso da energia solar (CARON et al., 2012). Assim, a complexidade dos resultados torna-se dependente da capacidade genética do organismo vegetal, onde cada genótipo pode evidenciar filocrono alterado. O trabalho objetivou observar a influência do sombreamento sobre o filocrono de trigo duplo propósito quando cultivado em sistemas silvipastoris.

No entanto, conclusões referentes à dinâmica vegetal e eb são retiradas de sistemas isolados, não considerando, na maioria dos casos, a coexistência de duas espécies em consórcio, como é caracterizado o SSP. O presente trabalho buscou compreender a dinâmica da eficiência de conversão da radiação solar pela cultura do trigo duplo propósito cultivado em sistemas silvipastoris.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Descrições da área experimental

O trabalho de campo foi conduzido entre junho e novembro de 2014 em Frederico Westphalen-RS. O local possui latitude 27°23'26"S, longitude 53°25'43" e altitude 461,3 m. Os dados climatológicos foram coletados pela estação automática A854 do INMET, vinculada ao Laboratório de Agrometeorologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/RS).

O município de Iraí, localizado no estado do Rio Grande do Sul – Brasil e distante aproximadamente 30 km de Frederico Westphalen, é tomado como referência para os dados de classificação climática. Conforme proposta de MALUF (2000), Iraí apresenta clima de tipo subtropical subúmido, sendo a temperatura média anual de 18,8 °C e temperatura média do mês mais frio de 13,3 °C. O solo da área experimental é classificado como Neossolo litólico eutrófico típico pouco profundo, com afloração de rochas e razoável fertilidade natural (CUNHA et al., 2011).

3.2.2 Manejo cultural

O experimento foi implantado em junho de 2014 e maio de 2015. A semeadura se caracterizou pelo método ao lanço com posterior gradagem leve, com o implemento totalmente fechado. Devido às altas precipitações da época, o objetivo desse método foi evitar a alta profundidade de semeadura e redução de população de plantas. Objetivou-se população final de aproximadamente 350 plantas.m⁻² (DEL DUCA et al., 1999; FONTANELI et al., 2012).

As adubações se subdividiram em três momentos. No primeiro momento, no dia da semeadura se realizou a adubação de base, utilizando adubo formulado 10-20-20 com dose de 250 kg ha⁻¹. No segundo momento, 15 dias após a emergência do trigo, no estágio de desenvolvimento de pleno perfilhamento (LARGE, 1954), realizou-se adubação de cobertura com Uréia (45% de N) com dose de 100 kg ha⁻¹. No terceiro momento, após o corte da espécie forrageira, realizou-se a adubação de reposição com dose de 50 kg ha⁻¹ apenas para as unidades experimentais que receberam o tratamento de corte.

Aos 20 dias antes da semeadura foi realizada a aplicação de Glifosato Nortox WG (glyphosate) com dose de 750 g p.c. ha⁻¹. Para o controle da espécie daninha *Lolium multiflorum*, aos 15 (quinze) dias após a emergência do trigo, aplicou-se Hussar

(Iodosulfurom-metílico) com dose de 70 g p.c. ha⁻¹. A aplicação de defensivos do tipo fungicida teve como objetivo proteger a espécie forrageira de ataques de fungos e evitar dessa forma a redução da área foliar fotossinteticamente ativa. Realizou-se a aplicação de Opera (Epoxinazol + piraclostrobina) com dose de 1,0 L p.c. ha⁻¹. O corte da espécie forrageira foi baseado no ponto ótimo de repouso, proposto por (VOISIN, 1957).

3.2.3 Condução dos fatores de variação

A condução do delineamento experimental se caracterizou como blocos ao acaso. Foi composto por fatorial triplo 7x2x2 (Sistema de cultivo x Manejo de corte x Ano de avaliação), compondo 28 tratamentos com presença de 3 (três) repetições. No entanto, para a determinação do filocrono apenas o fatorial duplo 7x2 (Sistema de cultivo x Ano de avaliação) foi abordado.

Os sistemas de cultivo diferenciaram-se de acordo com o espaçamento utilizado entre os renques de árvores e espécies arbóreas. O sistema de cultivo em linha apresentou 6 m entre renques (linhas) e 1,5 m entre plantas. O sistema de cultivo em faixa apresentou 12 m entre renques e 1,5 m entre plantas. O sistema era composto de três renques com cinco indivíduos cada. As espécies arbóreas que compuseram os sistemas de cultivo foram angico vermelho (*Parapiptadenia rigida*), canafístula (*Peltophorum dubium*), eucalipto (*Eucaliptus grandis*) e guapuruvu (*Schizolobium parahyba*), além do tratamento pleno sol, onde conduziu-se a espécie forrageira sem que houvesse interceptação luminosa pela copa das árvores. Devido a perdas por morte de plantas, angico e guapuruvu, ambos em faixa não constam nos tratamentos.

Utilizou-se a espécie forrageira trigo duplo propósito, genótipo BRS Tarumã. O manejo de corte caracterizou-se pela ausência do corte (sem corte) e presença de corte (com corte) da espécie forrageira. Para os sistemas de cultivo angico vermelho em linha, canafístula em linha, canafístula em faixa, guapuruvu em linha e eucalipto em faixa, realizou-se o corte na data de 26 de setembro de 2014. O corte para o sistema eucalipto em linha deu-se na data de 11 de outubro de 2014. Justificou-se a disparidade das épocas da realização do manejo de corte ao menor crescimento e desenvolvimento do trigo sob o sistema de cultivo em linha com eucalipto.

Implantou-se os sistemas silvipastoris no ano de 2007 e anteriormente a semeadura da espécie forrageira, realizou-se manejo de desrama com redução de aproximadamente 40% da

copa arbórea, retirando-se os galhos mais próximos à superfície do solo. Dessa forma a área experimental total foi composta por aproximadamente 600 m².

3.2.4 Coleta de dados e variáveis analisadas

Realizou-se as observações dos elementos meteorológicos no interior do experimento com auxílio de um piranômetro acoplado à um datalogger modelo LI-COR 1400 (radiação solar) e de um higrotermômetro (umidade relativa do ar e temperatura instantânea do ar). Realizou-se três observações para cada SSP, obedecendo uma distância, respectivamente de 0, 1,5 e 3 m de distância do renque de árvores para o sistema espaçado em linha e 0, 3 e 6 m de distância do renque de árvores para o sistema espaçado em faixa. Para o sistema pleno sol aferiu-se em três pontos aleatórios.

Transmissividade (T): obteve-se oito pontos de avaliação. As observações foram determinadas nos dias de cada coleta de biomassa e compreendidas no horário entre 11h e 12h. Posteriormente, calculou-se as médias de transmissividade para cada SSP através da relação da radiação solar incidente no interior e no exterior dos mesmos de modo representado pela fórmula (1):

$$T = \frac{R_{sin}}{R_{sex}} \times 100 \quad (1)$$

em que, T é a taxa transmissividade dada em porcentagem (%); R_{sin} é a radiação solar incidente no interior do dossel vegetativo da espécie arbórea dada em W m⁻²; R_{sex} é a radiação solar incidente no exterior do dossel vegetativo da espécie arbórea dada em W m⁻², ou seja, ao pleno sol.

Com o conhecimento da taxa de transmissividade, coletaram-se dados contínuos de radiação solar incidente (MJ m⁻²) da estação automática do INMET A854 do 8º DISME/INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), vinculada ao Laboratório de Agrometeorologia da UFSM, localizada a aproximadamente três quilômetros do experimento e calculou-se a radiação solar incidente sobre o dossel vegetativo da espécie forrageira de cada sistema.

- **Massa seca (MS):** unidade dada em gramas (g). Realizou-se a coleta de uma amostra de biomassa verde em todas as unidades experimentais com auxílio de um quadrado metálico com área de 625 cm². A amostra foi pesada e levada à estufa de ventilação forçada de ar com temperatura média de 55 °C até peso constante em balança analítica de precisão.

- **Eficiência de conversão (ϵ_b):** A produção de matéria seca foi estudada com base no modelo proposto por Monteith e Moss (1977), em que esta é uma variável dependente da quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada e multiplicada pela ϵ_b . Em resumo, a ϵ_b pode ser calculada através da produção média de matéria seca acumulada e da radiação fotossinteticamente ativa interceptada envolvida nessa produção, conforme a fórmula (2):

$$MS = \epsilon_b * RFAi \quad (2)$$

em que MS é a produção de matéria seca ($g.m^{-2}$); RFAi é a radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada ($MJ.m^{-2}$) e ϵ_b é a eficiência de conversão da RFAi em matéria seca ($g.MJ^{-1}$).

A radiação fotossinteticamente ativa (400-700 ηm) interceptada foi determinada com base no modelo proposto por Varlet-Grancher et al. (1989) representado pela fórmula (3):

$$RFAi = 0,95 * (RFAinc) * (1 - e^{(-k*IAF)}) \quad (3)$$

em que RFAi é a radiação fotossinteticamente ativa interceptada ($MJ.m^{-2}$), K uma constante adimensional que depende das propriedades óticas das folhas e da geometria do dossel vegetal (0,815) (LUNAGARIAN E SHEKH, 2006), IAF o índice de área foliar médio (adimensional) e RFAinc a radiação fotossinteticamente ativa incidente ($MJ.m^{-2}$).

- **Índice de área foliar (IAF):** foi determinado a partir da área foliar total de cada planta e da área da parcela explorada por esta, em cada tratamento no período de condução do estudo, calculado através da equação (4):

$$IAF = \frac{AF}{APE} \quad (4)$$

em que , IAF é o índice de área foliar (adimensional); AF é a área foliar (cm^2); APE é a área da parcela explorada pelas plantas, dada em cm^2 . A área foliar foi determinada através de um determinador de área foliar modelo LI-3000.

Três plantas aleatórias foram marcadas em cada sistema silvipastoril e com periodicidade de duas vezes semanais, a partir dos 35 dias após a semeadura (DAS) foram coletadas as variáveis de comprimento da última e penúltima folha emitida e número de folhas na planta para determinação do índice de Haun (HAUN, 1973), dado pela fórmula (1) e o cálculo do filocrono.

- **Filocrono:** caracterizou-se como a soma térmica (STd, $^{\circ}C.dia$) para a emissão de uma folha (GILMORE JUNIOR; ROGERS, 1958; STRECK et al., 2007). A soma térmica foi calculada pelo método proposto por Gilmore Junior e Rogers (1958):

$$- STd = (Tmed - Tb), \text{ quando } Tb < Tmed \leq Tot, \text{ e}$$

- $STd = \{(Tot-Tb) \cdot [(TB-Tmed)/(TB-Tot)]\}$, quando $Tot < Tmed \leq TB$; se $Tmin < Tb$, então $Tmin = Tb$; se $Tmax > TB$, então $Tmax = TB$;

em que $Tmed$ é a temperatura média diária do ar, calculada pela média aritmética entre 24 valores diários; e Tb , Tot e TB são as temperaturas cardinais de aparecimento de folhas (temperatura base inferior, temperatura ótima e temperatura base superior, respectivamente). Considerou-se $Tb = 0^{\circ}C$, $Tot = 22^{\circ}C$ e $TB = 35^{\circ}C$ (STRECK et al., 2003, ALBERTO et al., 2010). A soma térmica diária foi acumulada a partir da emergência das plantas e resultou na soma térmica acumulada (STa , $^{\circ}C$ dia), calculada por $STa = \sum STd$.

- Índice de Haun (IH) determina o número de folhas presente numa planta levando em consideração o comprimento da última folha, ainda emergente.

$$IH = \left(\frac{CFem}{CFexp} \right) + (N - 1) \quad (1)$$

onde, $CFem$ é o comprimento da folha emergente; $CFexp$ é o comprimento da folha já totalmente expandida; N é o número total de folhas na planta.

Assim, o filocrono foi determinado através do inverso do coeficiente angular da regressão linear entre IH e STa (XUE et al., 2004). Os valores de temperatura média, mínima e máxima diárias do ar, correspondentes ao período experimental, também foram obtidas na estação meteorológica A854 do 8° DISME/INMET.

3.2.5 Estudo e tratamento de dados

Submeteu-se as variáveis eficiência de conversão e produtividade de grãos ao teste F, a 5% de probabilidade e com observação de diferenças significativas ($p < 0,05$) submetidas ao teste de comparação de médias por Tukey a 5% de significância. As variáveis radiação fotossinteticamente ativa, matéria seca, número de folhas e soma térmica acumulada foram submetidas a análise de regressão. Análises realizadas com auxílio do programa “*Statistical Analysis System*” (SAS, 2000).

Utilizou-se valores médias para as variáveis Transmissividade, Radiação solar incidente, temperatura instantânea do ar, umidade relativa do ar, IAF e MS. Confeccionou-se os gráficos de ambas variáveis com o programa Microsoft Office Excel 2013.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Análise estatística

A análise de variância revelou significância para interação tripla dos fatores Sistemas de cultivo x Manejo de corte x Ano de avaliação para as variáveis eficiência de conversão e produtividade de grãos. A análise de regressão entre as variáveis radiação fotossinteticamente ativa e matéria seca mostrou-se linear, bem como para número de folhas e soma térmica acumulada.

3.3.2 Elementos meteorológicos

Durante o período de condução do experimento houve incremento nos valores médios quinzenais tanto para radiação solar incidente tanto para temperatura média do ar para a região de Frederico Westphalen, de acordo com a estação meteorológica automática do INMET localizada no mesmo município e vinculada ao Laboratório de Agrometeorologia da UFSM, campus de Frederico Westphalen. O fluxo médio de radiação solar durante o período foi de $17,9 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e $14 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ com temperatura média do ar de $18,5 \text{ }^\circ\text{C}$ e $17,9 \text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente para os anos de 2014 e 2015.

A radiação solar incidente em cada sistema de cultivo, no ano de 2014 e 2015 respectivamente, foi em média $0,926 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ e $0,871 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ para eucalipto em faixa; $0,425 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ e $0,442 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ para eucalipto em linha; $1,717 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ e $0,743 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ para canafístula em faixa; $1,4 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ e $1,295 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ para canafístula em linha; $2,43 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ e $1,374 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ para angico em linha; $2,49 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ e $467,1 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ para guapuruvu em linha; e $3,501 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ e $2,198 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ no pleno sol (Figura 1A1 e 1A2). Dessa forma, as copas das árvores obtiveram médias de transmissividade de 27% e 43,5% para eucalipto em faixa; 12% e 24% para eucalipto em linha; 49% e 37,8% para canafístula em faixa; 40% e 60% para canafístula em linha; 71% e 63,3% para angico em linha; e 73% e 75,8% para guapuruvu em linha (Figura 1B1 e 1B2).

Taxas de transmissões de radiação solar através da copa da espécie arbórea acima de 50% podem ser caracterizadas como sombra fraca, consideradas ideais para o crescimento da espécie cultivada em sub-bosque, do mesmo modo que taxas menores que 50% caracterizam-se como sombra moderada a intensa e causam alterações no crescimento e desenvolvimento da espécie agrícola (PACIULLO et al., 2007).

Os SSP's compostos com eucalipto em faixa, eucalipto em linha e canafístula em faixa e canafístula em linha proporcionaram sombra moderada a intensa, SSP's com guapuruvu e angico em linha proporcionaram sombra fraca.

No entanto, com o decorrer das estações do ano, especificamente a partir da data de 02 de outubro de 2014, todos os sistemas com presença de espécies arbóreas apresentaram taxas de transmissividade abaixo ou próximas a 50%. Devido a estação fria, concomitante à implantação e fase inicial do estudo, SSP's com as espécies caducifólias guapuruvu em linha, canafístula em faixa e angico em linha, apresentaram queda das folhas, permitindo maiores valores de transmissividade de radiação solar para o interior do sistema. Com o decorrer do desenvolvimento, essas espécies incrementaram seu volume foliar e, por conseguinte, aumentaram a interceptação da luminosidade.

O período de condução do estudo em 2015, como descrito anteriormente, obteve uma média de fluxo de radiação solar de 14 MJ.dia^{-1} , inferior ao ano anterior com média de $17,9 \text{ MJ.dia}^{-1}$. Reduções significativas na radiação solar incidente também foram observadas no interior da maioria dos SSP's, com exceção dos compostos com eucalipto em linha e eucalipto em faixa.

A principal causa dessas alterações foi a ocorrência de maior número de dias nublados no período de avaliação, do ano de 2015. Além disso, no mesmo ano, as médias dos valores de temperatura instantânea do ar foram menores e a umidade relativa do ar aumentou no interior dos sistemas silvipastoris em relação ao ano anterior. Como consequência, percebeu-se o alongamento do ciclo de desenvolvimento do trigo, ou seja, o crescimento e o desenvolvimento do trigo foi altamente afetado pela alteração no fluxo de radiação solar, temperatura do ar e umidade relativa do ar, ocorridos entre os anos de avaliação 2014 e 2015.

Apesar dos inúmeros efeitos causados pelo SSP sobre o estruturação e fertilidade do solo, o que normalmente está relacionado à presença de espécies arbóreas, foi possível observar que essa influência engloba também a modificação do microclima local, alterando principalmente, elementos meteorológicos como a temperatura do ar e umidade relativa do ar, ambos dependentes do fluxo de radiação solar. Sistemas de cultivo com maiores valores de transmissividade propiciaram maiores valores de temperatura instantânea do ar (Figura 2A1 e 2A2) e menores valores para umidade relativa do ar (Figura 2B1 e 2B2).

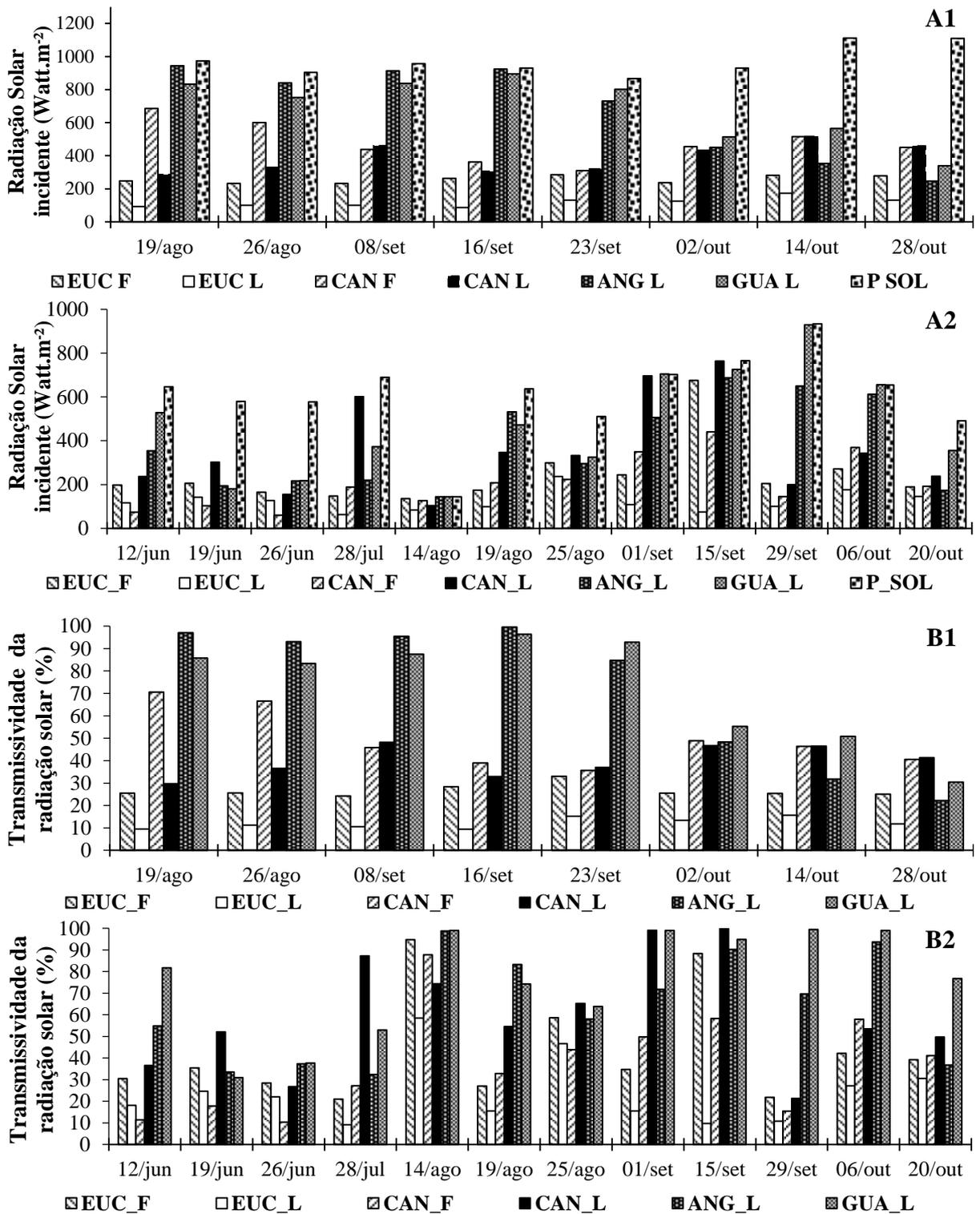


Figura 1 – Comportamento para radiação solar incidente (A) e transmissividade da radiação solar (B) nos diferentes sistemas silvipastoris nos anos agrícolas de 2014 (1) e 2015 (2). EUC_F: Eucalypto em Faixa; EUC_L: Eucalypto em Linha; CAN_F: Canafístula em Faixa; CAN_L: Canafístula em Linha; ANG_L: Angico em Linha; P_SOL: Pleno Sol. Frederico Westphalen, 2016.

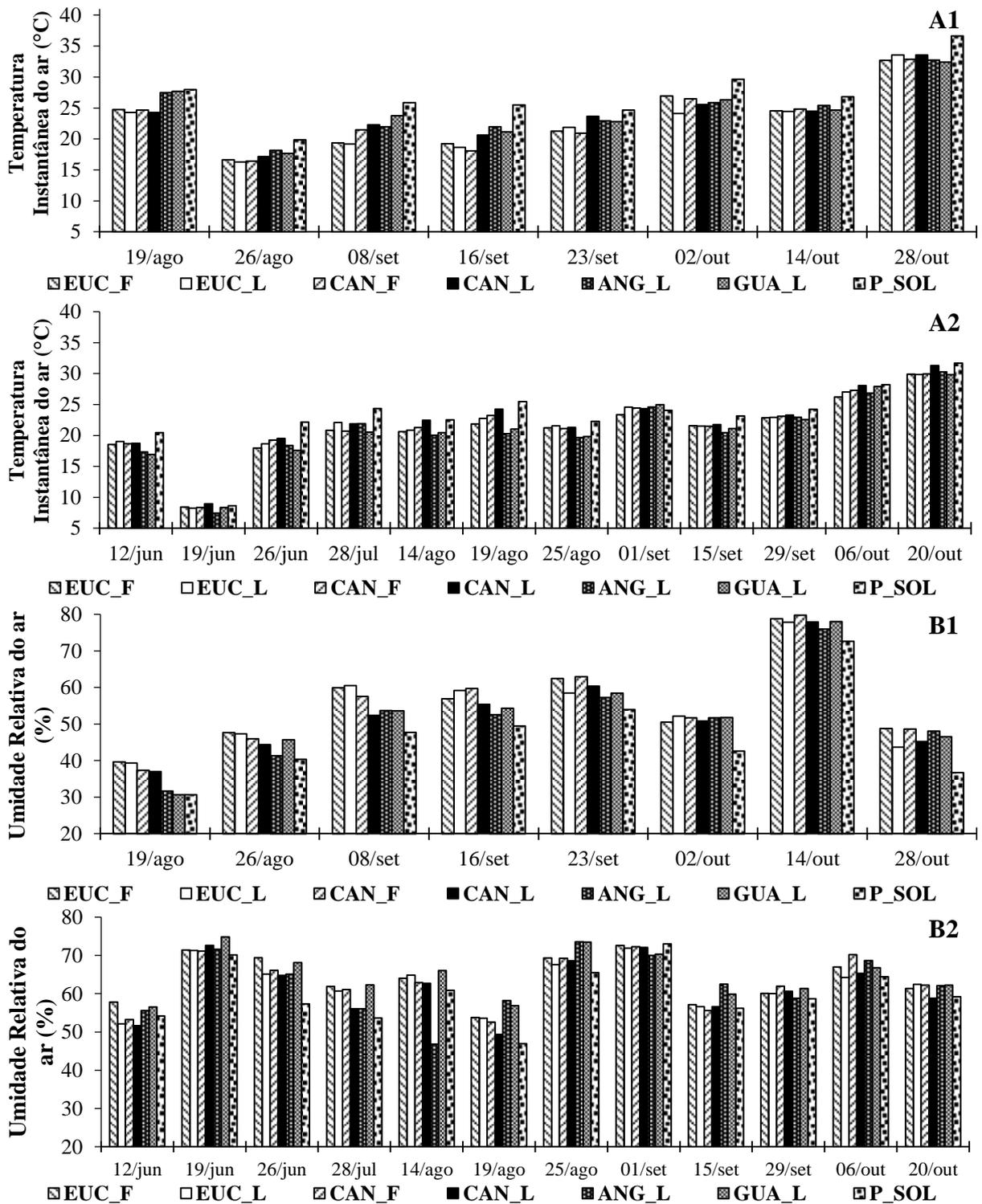


Figura 2 – Comportamento para temperatura instantânea do ar (A) e umidade relativa do ar (B) nos diferentes sistemas silvipastoris nos anos agrícolas de 2014 (1) e 2015 (2). EUC_F: Eucalypto em Faixa; EUC_L: Eucalypto em Linha; CAN_F: Canafístula em Faixa; CAN_L: Canafístula em Linha; ANG_L: Angico em Linha; P_SOL: Pleno Sol. Frederico Westphalen, 2016.

Com valores reduzidos de radiação solar, no interior do SSP, o processo de aquecimento das moléculas contidas no ar por irradiação torna-se amortizado. Ou seja, são observados menores valores de temperatura do ar. Pela Lei de Dalton das pressões parciais, o ar funciona como um reservatório que pode expandir ou contrair, respectivamente, com o acréscimo ou decréscimo nos valores de temperatura (PEREIRA; VILA NOVA; SEDIYAMA, 1997). Com a redução da temperatura do ar, a pressão de saturação do ar (es) diminui, fazendo com que a atmosfera desse ambiente suporte menor volume de água. Como a umidade relativa do ar é determinada pela relação entre a pressão parcial de vapor (ea) e a pressão de saturação (es), no interior de SSP's podem ocorrer menores valores para umidade relativa do ar em relação ao cultivo em pleno sol.

3.3.3 Eficiência de conversão e crescimento

3.3.3.1 Filocrono

A emissão foliar diferiu entre os sistemas silvipastoris e entre os anos de observação (Figura 3). Considerando a realidade de uma propriedade rural, o produtor de trigo obteria uma redução na emissão foliar dessa forrageira, acarretando em atrasos no planejamento de pastejo dos animais ou reduções na oferta forrageira.

O SSP composto com canafístula em faixa apresentou um filocrono para o trigo de $76,3 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ no ano de 2014, enquanto que no ano de 2015 foi observado um incremento significativo para variável, $172,4 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ (Figura 3A). O SSP com eucalipto em faixa não obteve grandes alterações no fluxo de radiação solar no interior do sistema, no entanto, reduziu os valores de temperatura instantânea do ar e aumentou a umidade relativa do ar. Assim, apresentou um filocrono para o trigo de $78,7 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ no ano de 2014, enquanto que em 2015 foi aferido $204,1 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ (Figura 3B).

O SSP formado por angico em linha demonstrou um filocrono de $69,4 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ no ano de 2014, enquanto que no ano de 2015 foi observado aumento para $196,1 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ (Figura 3C). Quando cultivado sob canafístula em linha o trigo demonstrou o filocrono de $75,8 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ em 2014, enquanto no ano de 2015 foi observado o maior valor de filocrono, $227,3 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ (Figura 3D). O SSP composto com guapuruvu em linha propiciou condições para evidenciar filocrono no trigo de $75,8 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ em 2014 e $200 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ em 2015 (Figura 3E).

O maior filocrono no trigo em 2014 foi observado no SSP composto com eucalipto em linha, considerado o SSP com a menor transmissividade de radiação solar (Figura 3F). Os

SSP's com eucalipto em faixa, canafístula em linha e eucalipto em linha assegurou ao trigo fluxos de radiação solar muito baixas (Figura 1A e 1B), como consequência obtiveram os maiores filocronos observados. Pode-se afirmar que a intensidade de luz refletiu na alteração da emissão foliar em trigo.

Os menores valores para o filocrono no trigo foram observados quando cultivado sob pleno sol (Figura 3G). Essa condição fez com que o filocrono no trigo atingisse $65,8 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ em 2014 e $98 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ em 2015. Nota-se que esse ambiente demonstrou a menor discrepância do filocrono entre os anos de cultivo, propondo que o sombreamento causado pelas copas arbóreas se caracterizou como fator que potencializou a redução na emissão foliar do trigo em anos que possuem menores fluxos de radiação solar.

Yoshida, Mandel e Kuhlemeier (2011) dizem que as folhas dos vegetais se originam do meristema apical localizado e protegido entre as folhas mais velhas, e devido a essa característica dos organismos vegetais, por muito tempo se acreditou que a emissão foliar não dependia de fatores ambientais. No entanto, através de trabalho realizado recentemente pelos autores com a cultura do tomate, foi possível observar que plantas cultivadas no escuro paralisavam a emissão foliar e retomavam essa atividade apenas após serem direcionada ao ambiente luminoso.

Contudo, o presente estudo revelou que a cultura do trigo também depende intrinsecamente da luminosidade para emitir novas folhas, de modo que através do sombreamento natural causado pelas copas arbóreas essa cultura agrícola obteve reduções significativas no número de folhas.

Os fenótipos podem expressar diferentes níveis de aclimação, apresentando plasticidade distinta a cada ambiente (CASAS et al., 2011), o que torna a avaliação e interpretação mais complexa das características morfológicas, anatômicas e fisiológicas (BUNDCHEN; BOEGER; REISSMANN, 2015). As espécies arbóreas, que compuseram o estudo, apresentaram copas distintas, tornando desigual a interação destas com a radiação solar.

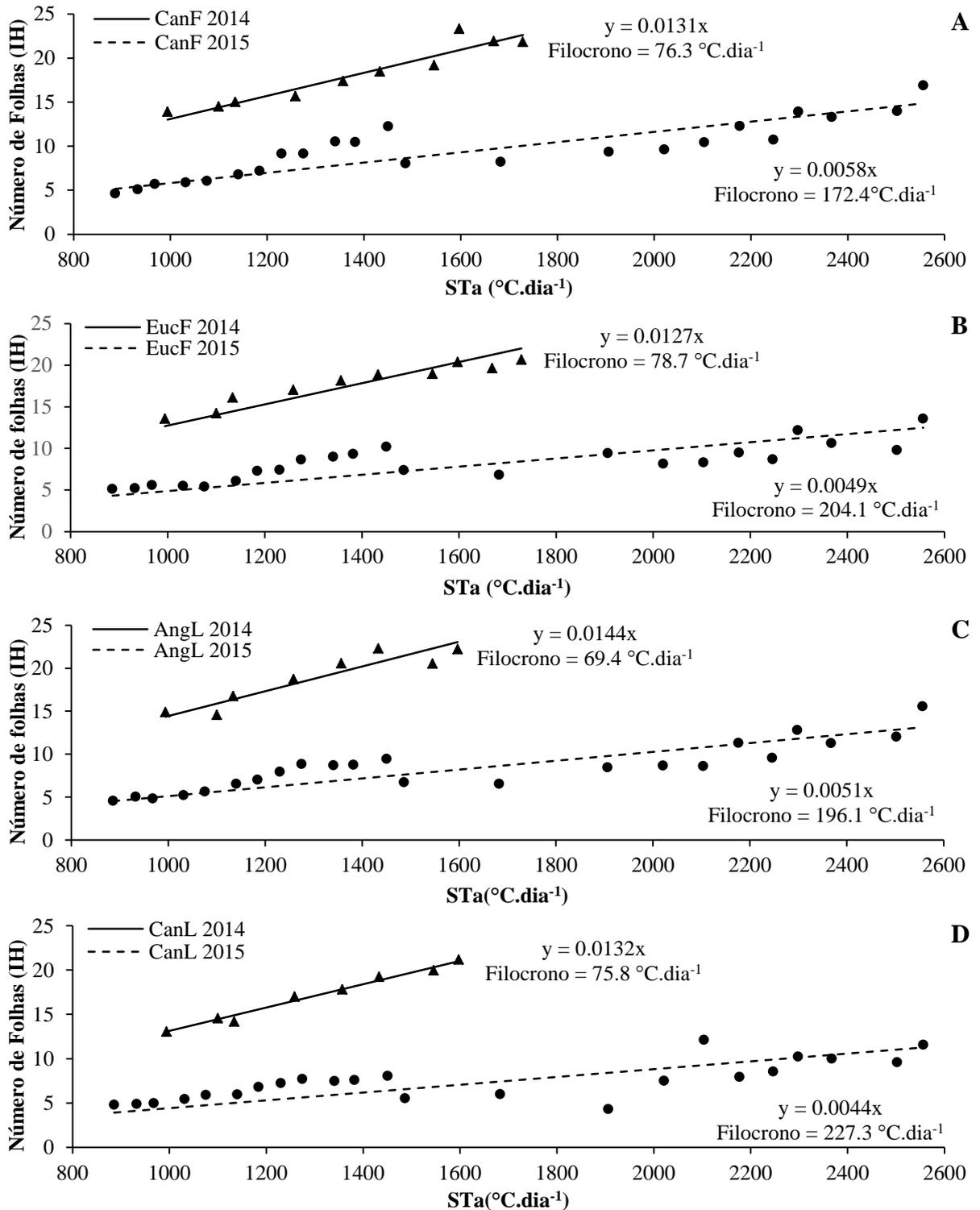


Figura 3 – Continua na próxima página. Frederico Westphalen, 2016.

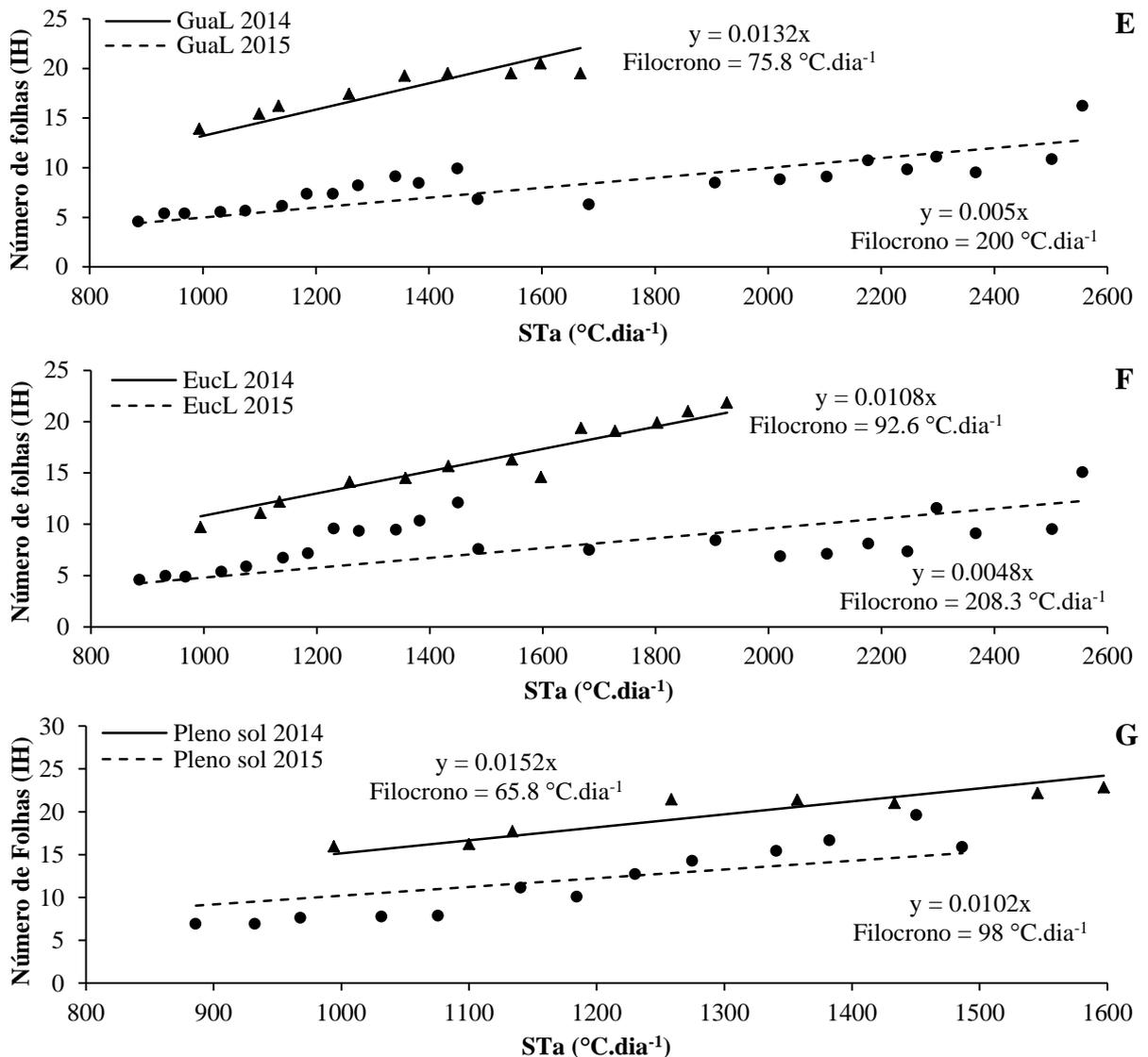


Figura 3 – Filocrono de trigo cultivado em sistemas silvipastoris. CanF: canafístula em faixa (A); EucF: eucalipto em faixa (B); AngL: angico em linha (C); CanL: canafístula em linha (D); GuaL: guapuruvu em linha (E); Psol: pleno sol (F); EucL: eucalipto em linha (G). Frederico Westphalen, 2016.

3.3.3.2 Índice de área foliar (IAF)

Nem toda radiação incidente pode ser interceptada pela planta e essa quantidade altera-se de acordo com o IAF. O IAF representa a relação da área foliar vegetal com a área de solo que essa ocupa e evidencia a capacidade da planta em interceptar a radiação solar. Assim, fatores como estrutura foliar e densidade populacional podem afetar o IAF.

Na Figura 4, destacaram-se os SSP's angico em linha (Figura 4C), guapuruvu em linha (Figura 4E) e pleno sol (Figura 4G), nos quais receberam maior fluxo de radiação solar e

evidenciaram maiores médias para IAF. Percebe-se que esses tratamentos evidenciaram os menores valores para filocrono, ou seja, obtiveram maior emissão foliar (Figura 3).

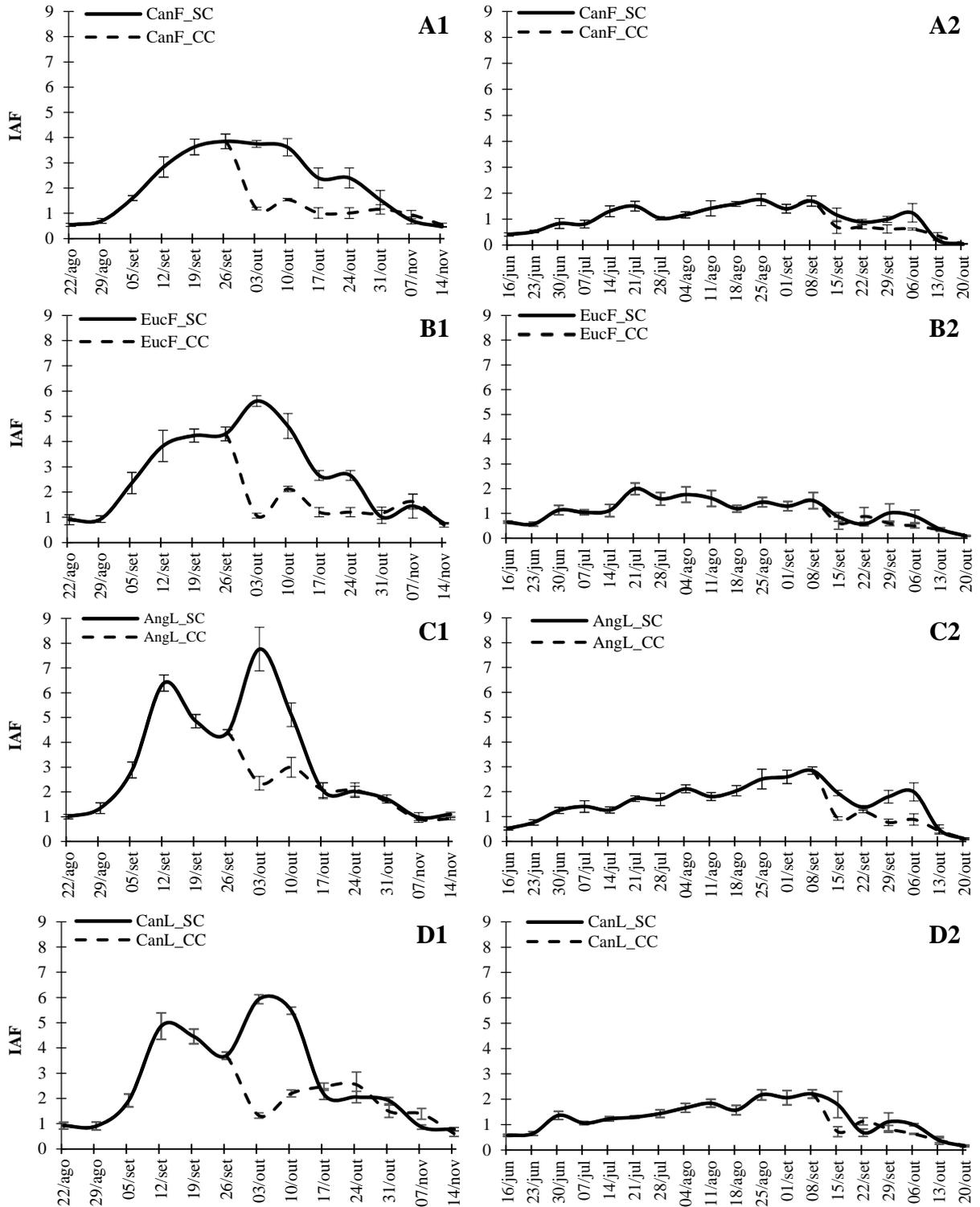


Figura 4 – (Continua na próxima página). Frederico Westphalen, 2016.

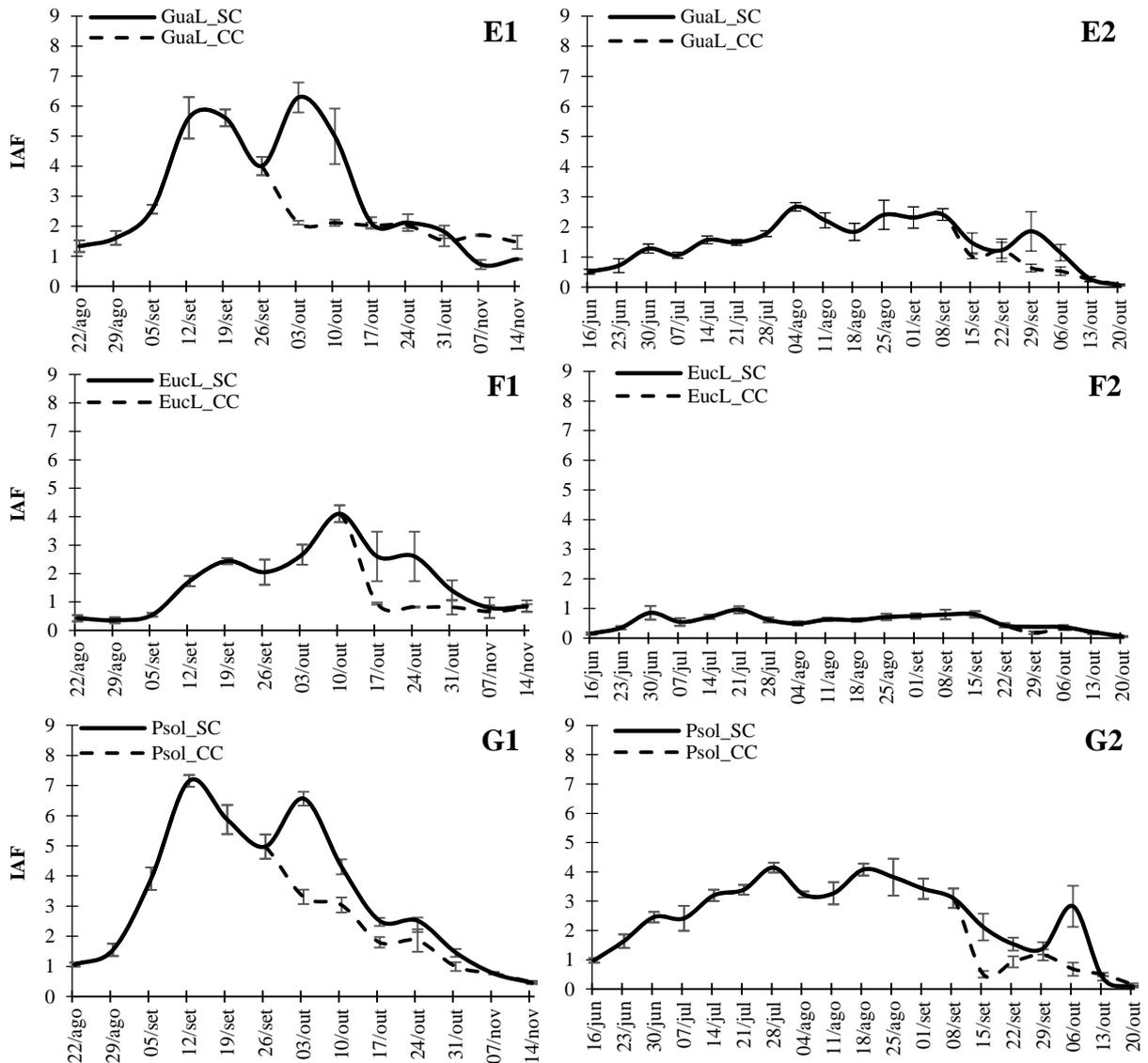


Figura 4 – Índice de área foliar (IAF) do trigo duplo proposito cultivado em distintos SSP's no ano agrícola de 2014 (1) e 2015 (2). CanF: canafístula em faixa (A); EucF: eucalipto em faixa (B); AngL: angico em linha (C); CanL: canafístula em linha (D); GuaL: guapuruvu em linha (E); Psol: pleno sol (F); EucL: eucalipto em linha (G); SC: Sem corte; CC: Com corte. Frederico Westphalen, 2016.

Através da realização do manejo de corte da espécie forrageira foi possível observar a redução drástica no IAF. É importante afirmar que, no ano de 2014, se realizou o manejo de corte do trigo na data de 26 de setembro para eucalipto em faixa, canafístula em linha e em faixa, guapuruvu em linha e angico em linha. Assim, realizado após a redução drástica nos valores de transmissividade, observada na Figura 1B1. Dessa forma, o rebrote da cultura em todos os sistemas no ano de 2014 aconteceu sob sombra moderada a intensa.

Apesar da redução foliar realizada em todos os SSP's, observou-se que nos sistemas no qual a transmissividade de radiação solar foi maior, também houve maiores valores de IAF

após o corte. Tal comportamento ocorreu devido a capacidade da planta em armazenar maior quantidade de fontes de energia na parte radicular, e após o corte, possuir maior capacidade de rebrote (VOISIN, 1957). Devido à baixa incidência do fluxo de radiação nos demais tratamentos durante o período vegetativo, a energia acumulada no sistema radicular foi menor e de certa forma reduziu sua capacidade de rebrotar. Ao encontro desses resultados, Andrade et al. (2004) constataram reduções na taxa de crescimento de plantas de *Brachiaria brizantha* quando submetidas a sombreamento maior que 50% e Zhang et al. (2013) observaram reduções no comprimento e volume radicular de *Triticum aestivum* cultivado sob árvores de *Zizyphus jujuba* Mill.

3.3.3.3 Eficiência de conversão

Quando avaliados os coeficientes angulares de cada equação gerada foi possível determinar a eficiência de uso da radiação solar em matéria seca (g.MJ^{-1}). Em média, incluindo valores com corte e sem corte, foi determinado em eucalipto em linha, ϵ_b de $3,2 \text{ g.MJ}^{-1}$ em 2014 e de $0,97 \text{ g.MJ}^{-1}$ em 2015. Dessa forma caracterizou, em ambos os anos, umas das maiores ϵ_b dentre os sistemas de cultivo estudados. O cultivo de trigo em SSP com eucalipto em faixa também demonstrou uma ϵ_b alta, em torno de $2,1 \text{ g.MJ}^{-1}$ em 2014 e $0,83 \text{ g.MJ}^{-1}$ em 2015. Sistemas de cultivo compostos com eucalipto interceptaram maior quantidade de radiação solar, estimulando a planta a aumentar sua ϵ_b (Tabela 1).

Com eficiências de conversão bem menores, canafístula em linha ($0,79 \text{ g.MJ}^{-1}$) e canafístula em faixa ($0,64 \text{ g.MJ}^{-1}$) foram os SSP's em que apresentaram valores intermediários de ϵ_b . SSP's com angico em linha e guapuruvu em linha, apresentaram as menores eficiências de conversão, semelhantes ao cultivo ao pleno sol ($0,64 \text{ g.MJ}^{-1}$).

Os cultivos em pleno sol e nos SSP's com angico e guapuruvu em linha, constatados com as menores eficiências de conversão, foram tratamentos que evidenciaram os maiores IAF's. A eficiência de conversão está ligada diretamente ao IAF da cultura, pois este influencia no desenvolvimento, duração da área foliar e no potencial de produção da matéria seca (MAYERS; LAWN; BYTH, 1991), no qual, com aumento do IAF ocorre incremento na interceptação de radiação solar (CARON et al., 2012). Além disso, folhas submetidas a altas intensidades de radiação solar podem reduzir a eficiência de conversão devido à maior probabilidade de sofrerem saturação luminosa (JIANG et al., 2004).

Os maiores valores de IAF proporcionaram interceptar maior quantidade de radiação solar em relação às plantas cultivadas sob os demais SSP's. Contudo, plantas cultivadas sob

tais condições não apresentaram necessidades de adaptações tão significativas para manter sua sobrevivência.

Tabela 1 – Eficiência de conversão (g.MJ^{-1}) de trigo submetido à sistemas silvipastoris. Frederico Westphalen, 2016.

Sistema de cultivo	Sem corte		Com corte	
	2014	2015	2014	2015
Angico em Linha	0.922	0.600	0.993	0.657
Canafístula em Faixa	1.115	0.983	1.074	0.970
Canafístula em Linha	1.480	0.631	1.456	0.698
Eucalipto em Faixa	2.042	0.808	2.153	0.856
Eucalipto em Linha	3.317	0.875	3.089	1.059
Guapuruvu em Linha	0.824	0.486	0.764	0.522
Pleno Sol	0.684	0.664	0.773	0.586

A matéria seca do trigo duplo propósito apresentou resposta crescente linear ao incremento da radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada em todos os SSP's e ao pleno sol com presença de altos coeficientes de determinação (R^2). Com exceção do SSP com canafístula em faixa, todos os sistemas mostraram menores eficiências no ano de 2015, caracterizado com média de fluxo de radiação menor em relação ao ano de 2014 (Figura 5).

A redução na média do fluxo de radiação solar foi consequência do maior número de dias nublados durante o ciclo agrícola do trigo, acarretando em queda significativa na produção de matéria seca e na interceptação da radiação solar. Com a redução da radiação interceptada pelas folhas, a eficiência de conversão das plantas de trigo se tornaram mais eficientes na conversão da radiação solar em matéria seca. No entanto, essa aclimatação do organismo vegetal não é suficiente para aumentar a matéria seca final e a emissão foliar, e como consequência, afeta diretamente os processos fisiológicos de crescimento.

Essa situação é explicada através da realização de estatísticas de ajuste das relações obtidas entre eficiência de conversão e produção de matéria seca, onde essa relação explica mais de 96% da produção de matéria seca e com erro padrão da estimativa menor que 12% nesses casos (MULLER; BERGAMASCHI, 2005).

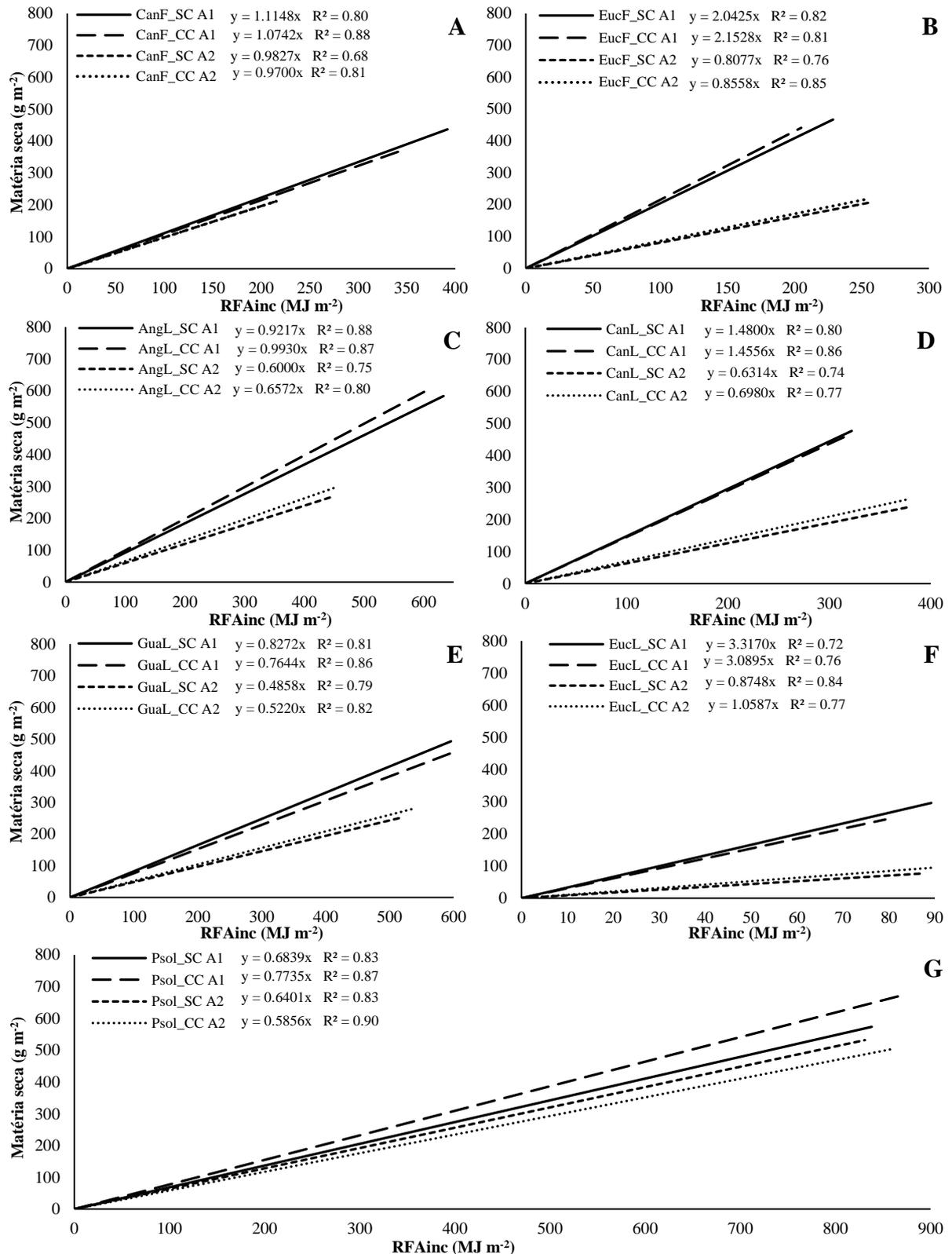


Figura 5 – Eficiência no uso da radiação solar em matéria seca de trigo cultivado em SSP's. CanF: canafístula em faixa (A); EucF: eucalipto em faixa (B); AngL: angico em linha (C); CanL: canafístula em linha (D); GuaL: guapuruvu em linha (E); PsoL: pleno sol (F); EucL: eucalipto em linha (G); A1: Ano 1 – 2014; A2: Ano 2 – 2015; SC: Sem corte; CC: Com corte. Frederico Westphalen, 2016.

3.3.3.4 *Matéria seca da parte aérea*

Para enfatizar o efeito fidedigno do sombreamento sobre a comportamento da cultura do trigo, se realizou a demonstração dos valores de produção de matéria seca ao longo do ciclo de desenvolvimento (Figura 6) e a produção final de grãos (Tabela 2). A produção de matéria seca por plantas de trigo demonstrou incremento constante para todos os tratamentos sem o manejo de corte. No entanto, ao final do desenvolvimento, já no estágio de maturação fisiológica da semente, uma queda da produção de matéria seca proveniente da perda de umidade, senescência e posterior queda de folhas.

Ao incrementar o IAF, a planta eleva, por conseguinte, a superfície de absorção de radiação e o acúmulo de radiação solar fotossinteticamente ativa; proporcionalmente, a produção de matéria seca torna-se maior devido que essa apresenta função linear com o acúmulo de radiação fotossinteticamente ativa (CARON, et al., 2012), como observado na Figura 4.

Apesar dessa redução, SSP's como angico e guapuruvu em linha e pleno sol proporcionaram patamares de até 7 toneladas por hectares de matéria seca na cultura do trigo. Ressalta-se que nesses tratamentos foram observados maiores valores de transmissividade, confirmando a hipótese de que o maior fluxo de radiação fornece à planta maior capacidade de produção.

O manejo de corte proporcionou à planta um estresse mecânico, pois reduziu sua área foliar, o que acarretou em rebrote. O corte da planta deve ser realizado no momento adequado, de forma a possibilitar um armazenamento antecipado da energia no seu sistema radicular, fornecendo capacidade de rebrote pós-corte. Assim, em casos onde a planta é impedida de armazenar a energia necessária no sistema radicular, o rebrote é afetado, reduzindo a taxa de acúmulo de matéria seca (VOISIN, 1957).

Os valores apresentados na Figura 6 asseguram que o corte do trigo reduziu a taxa de acúmulo de matéria seca em todos os SSP's, apesar da maior eb em tratamentos mais sombreados. No entanto, reduções no incremento foram menos drásticas em SSP's menos sombreados, devendo-se ao fato de quando aferida a produção acumulada, os ambientes de cultivo com guapuruvu em linha e pleno sol submetidos ao corte demonstraram maior produção que os respectivos tratamentos sem a realização do corte. Em conseguinte ao proposto por Monteith (1965), afirma-se que ambientes que proporcionam condições mais adequadas de luminosidade, possuem maior probabilidade de obter altas produções de matéria seca.

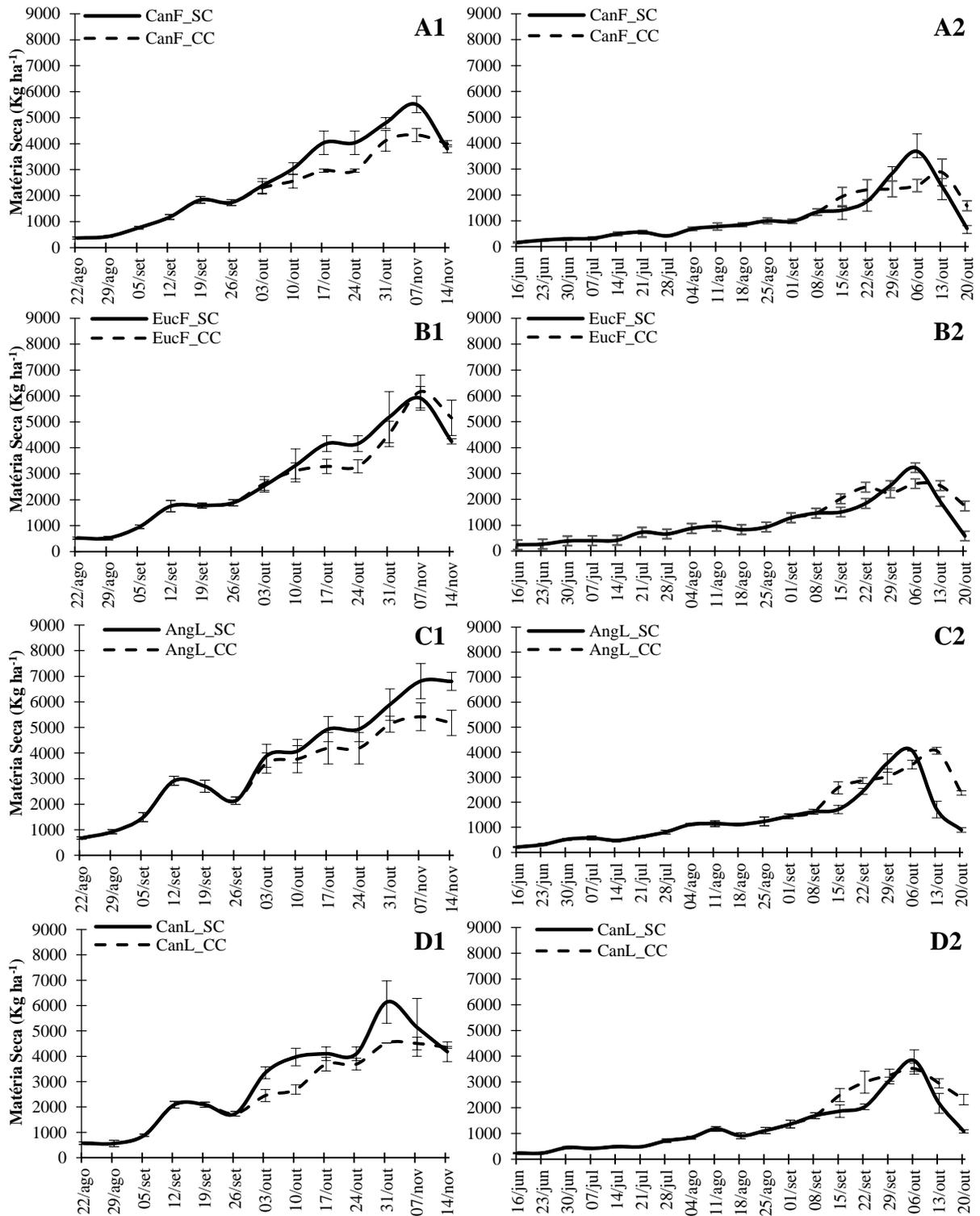


Figura 6 – Continua na próxima página. Frederico Westphalen, 2016.

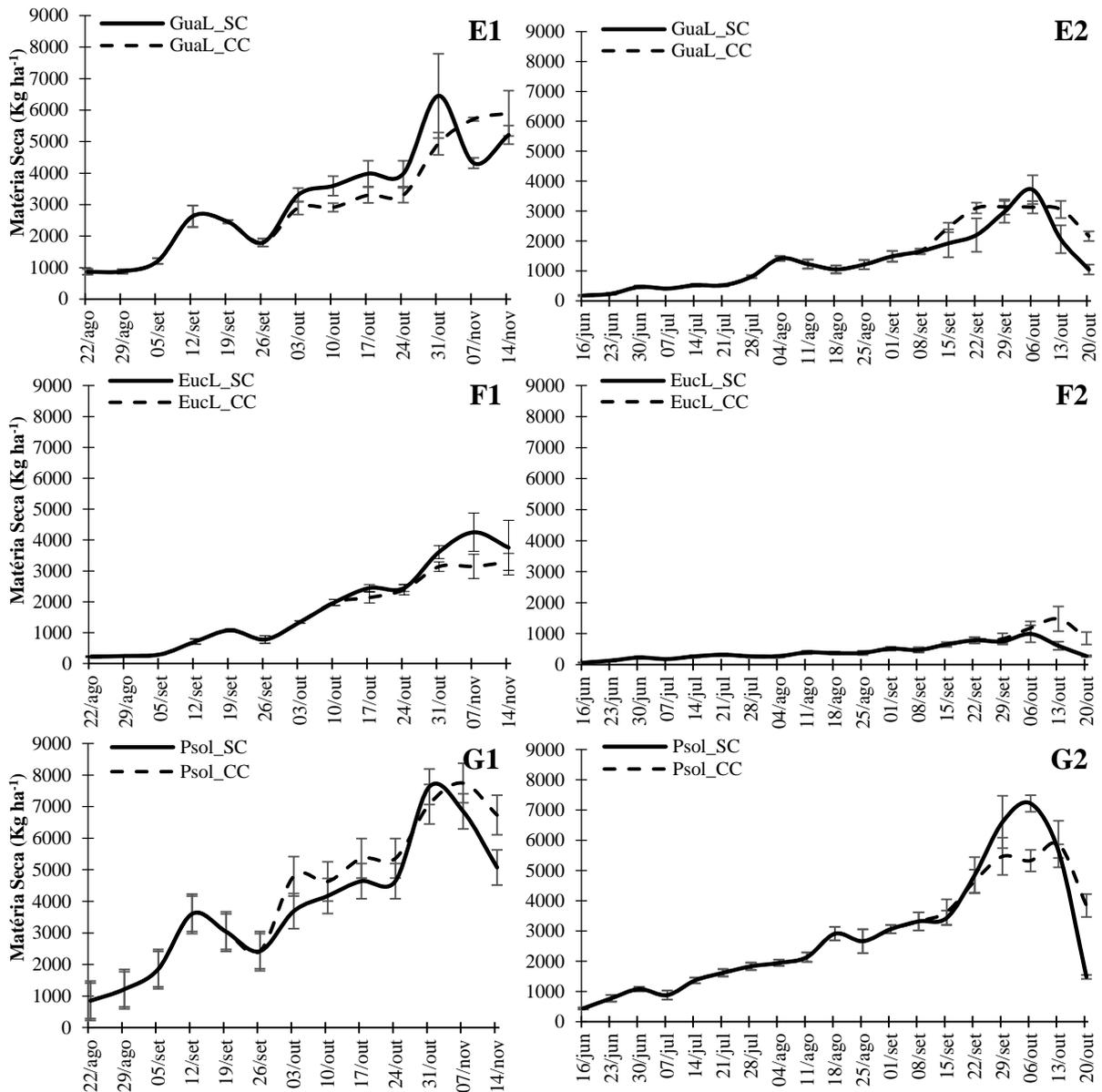


Figura 6 – Produtividade de matéria seca de trigo cultivado em SSP's nos anos de 2014 (1) e 2015 (2). CanF: canafístula em faixa (A); EucF: eucalipto em faixa (B); AngL: angico em linha (C); CanL: canafístula em linha (D); GuaL: guapuruvu em linha (E); Psol: pleno sol (F); EucL: eucalipto em linha (G); 1: Ano 1 – 2014; 2: Ano 2 – 2015; SC: Sem corte; CC: Com corte. Frederico Westphalen, 2016.

A baixa disponibilidade de energia em ambientes mais sombreados pode afetar a produção, bem como o ciclo da cultura do trigo. O SSP com eucalipto em linha, que recebeu menores quantidades de energia, somente sofreu o manejo de corte da espécie agrícola aproximadamente 15 dias após os demais SSP's. O manejo de corte foi realizado somente quando as primeiras folhas senescentes na parte basal da planta foram observadas. Assim, pode-se afirmar que plantas cultivadas em ambientes muito sombreados reduzem o IAF, e como consequência reduzem seu desenvolvimento (MAYERS; LAWN; BYTH, 1991),

podendo atrasar o ponto ótimo de repouso, momento adequado de realizar o pastejo animal. O atraso no ciclo da cultura pode causar possíveis problemas no planejamento do produtor pecuarista.

3.3.3.5 Produção de grãos

Observou-se que o cultivo ao pleno sol propiciou as maiores produtividades de grãos, devido principalmente a maior disponibilidade de energia durante todo o ciclo, inclusive durante o enchimento de grão. No entanto, apesar da maior transmissividade média durante o ciclo de cultivo do trigo, os SSP's com guapuruvu e angico não obtiveram os maiores valores de produtividade de grãos durante os dois anos observados (Tabela 2).

As produções de grãos foram superiores no ano de 2014 quando comparado ao ano de 2015 para todos os sistemas de cultivo ($p < 0,05$). Durante o cultivo no ano de 2014, o SSP com eucalipto em faixa sem corte proporcionou valores de produção de grãos superiores em relação aos demais cultivos com presença de espécies arbóreas, apenas superado pelo cultivo no pleno sol. Durante o cultivo no ano de 2015, o SSP com guapuruvu em linha, proporcionou maiores produções de grãos, superado apenas pelo cultivo no pleno sol. Chirko et al. (1996) observaram reduções no peso de mil sementes de trigo com a redução da quantidade de luminosidade, decorrente da redução da distância entre os renques de árvores da espécie *Paulownia*.

Tabela 2: Produtividade de grãos de trigo ($\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) submetido à sistemas silvipastoris. Frederico Westphalen, 2016.

Sistema de Cultivo	Sem corte		Com corte	
	2014	2015	2014	2015
CanF	671.640 eA α	486.577 dB α	564.147 eA β	152.779 dB β
EucF	1389.575 bA α	213.445 eB α	945.133 cA β	210.561 cB α
AngL	1097.880 cA α	675.920 cB α	789.413 dA β	196.096 cB β
CanL	737.720 dA α	631.892 cB α	615.253 eA β	390.207 bB β
GuaL	1111.293 cA α	939.761 bB α	1083.120 bA α	416.304 abB β
EucL	626.680 eA α	241.555 eB α	457.720 fA β	86.819 eB β
Psol	1817.533 aA α	1575.640 aB α	1552.693 aA β	473.035 aB β

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, mesma letra maiúscula entre os dois anos de cultivo (2014 e 2015) e mesma letra grega entre os manejos de corte no mesmo ano não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. SSP: Tipos de Sistemas Silvipastoris; CanF: Canafístula em faixa; EucF: Eucalipto em Faixa; AngL: Angico em Linha; CanL: Canafístula em Linha; GuaL: Guapuruvu em Linha; EucL: Eucalipto em Linha; Psol: Pleno Sol.

Os cultivos de guapuruvu e angico em linha foram submetidos a altas transmissividades apenas no início do desenvolvimento no ano de 2014 e evidenciaram pequenos valores para ϵ_b , no entanto não mantiveram valores de IAF altos ao final do ciclo. Como citado por Mayers, Lawn e Byth (1991), o IAF é importante para o desenvolvimento da cultura. O maior desenvolvimento foliar desses SSP's, observado pelos altos IAF's, proporcionou maior autosombreamento de folhas, gerando senescência de folhas antecipadamente (IAF menor que 2 em 17 de outubro). No momento do enchimento de grãos, a baixa disponibilidade de energia nesse período paralelo a baixa ϵ_b e baixo IAF não possibilitou a esse SSP maiores produtividades.

Foram constatados também grandes rendimentos no cultivo de eucalipto em faixa, onde no início do seu desenvolvimento obteve médias de IAF mais baixo quando comparado aos sistemas de cultivo guapuruvu e angico em linha. No entanto, manteve o IAF mais uniforme até o final do ciclo – obteve queda do IAF abaixo de 2 apenas em 31 de outubro, 14 dias após os cultivos de angico e guapuruvu em linha (Figura 4). Apesar dos baixos valores de transmissividade observados sob eucalipto em faixa, a alta ϵ_b já a partir do início do crescimento do trigo e os maiores valores de IAF, proporcionaram a planta uma estrutura foliar ideal para a maior interceptação de energia. Dessa forma, as plantas cultivadas sob eucalipto em faixa, propiciaram maiores translocações de matéria seca para o grão.

3.3.3.6 *Discussões gerais*

Estudos demonstram que dosséis vegetais fechados aumentam de forma significativa a proporção radiação difusa/direta, melhorando as taxas fotossintéticas de vegetais no seu interior (JOHNSON; SMITH, 2006). Isso deve-se ao fato de que a radiação solar, incidente sobre as copas arbóreas constituintes de SSP's, possuem maior número de obstáculos e realizam maior interação quando comparado ao cultivo no pleno sol.

O eucalipto, por exemplo, possui crescimento avançado em comparação as demais espécies componentes do estudo, perfazendo maior estatura de planta. O manejo de copa arbórea realizado anteriormente a implantação do estudo proporcionou maior altura entre a superfície do solo e as primeiras ramificações do fuste em relação as demais espécies. Essas características asseguraram maior interceptação da radiação solar direta, no entanto, facilitou possivelmente a entrada de radiação multidirecional (difusa), aceita na literatura como mais eficiente na contribuição fotossintética.

Mas cabe ressaltar que além da qualidade da radiação solar, a quantidade ainda é um fator considerável. A quantidade de energia que incide no interior do dossel é intrinsicamente importante para o funcionamento do aparato fotossintético da planta. Além disso, o momento em que a radiação incide sobre o dossel vegetativo da espécie em sub-bosque é plausível. Espécies arbóreas caducifólias como o angico, canafístula e guapuruvu apresentaram queda de suas folhas na estação do inverno. Com o decorrer do tempo e o aumento da temperatura, a emissão foliar dessas espécies arbóreas foi incrementada, transmitindo menor quantidade de radiação direta e possivelmente maior fluxo de radiação difusa ao interior do seu dossel.

Dessa forma, como observado no ano de 2014 (Figura A1), maior parte da fase vegetativa do trigo transcorreu sob altas intensidades luminosas, enquanto a fase reprodutiva, inclusive o enchimento de grãos, e desenvolvimento vegetativo pós-corte, transcorreram sob baixas transmissividades de luz.

O entendimento da influência da radiação difusa sobre o crescimento e desenvolvimento vegetal ainda é pouco elucidado, devido principalmente a dificuldade e complexidade de sua aferição em condições de pesquisas que envolvem diversos fatores de interferência, como é o caso dos sistemas silvipastoris. No entanto, sabe-se que seu papel é fundamental para que as espécies vegetais se desenvolvam, e mesmo que com conhecimento superficial, a alteração no seu fluxo possa causar inferências significativas.

O trabalho proporcionou a observação da importância da análise conjunta de variáveis como transmissividade, eficiência do uso da radiação, valores de IAF e principalmente produção de matéria seca e granífera. De forma preliminar, remete-se que os SSP's compostos pelas espécies arbóreas angico e guapuruvu em linha são alternativas de cultivo que assemelham-se ao cultivo pleno sol quanto ao cultivo de trigo, por consequência de possibilitar a entrada de energia solar no sistema na quantidade e época adequada.

3.4 CONCLUSÃO

Os sistemas silvipastoris compostos com eucalipto em faixa, canafístula em faixa, guapuruvu em linha e angico em linha proporcionam melhores condições de luminosidade para maiores produtividades de matéria seca e grãos em trigo, e podem enquadrar-se como potenciais espécies que integram um sistema silvipastoril juntamente à essa cultura agrícola.

O sistema silvipastoril com eucalipto em linha e canafístula em linha apresentam alta interceptação de radiação solar, o que impede o crescimento e desenvolvimento do trigo em sub-bosque. Sua adequação para um espaçamento maior entre renques de árvores é recomendada para facilitar a entrada de luminosidade e a possibilidade de cultivo dessa cultura.

A intensidade luminosa altera a emissão de folhas e o índice de área foliar em trigo, tal que cultivos em pleno sol possibilitam à cultura valores menores de filocrono e maiores para índice de área foliar quando comparado a sistemas sombreados. Sistemas silvipastoris com eucalipto em linha e canafístula em linha obtiveram baixa emissão foliar e baixos índices de área foliar.

A eficiência no uso da radiação do trigo cultivado em sistemas sombreados é maior em relação ao cultivo em pleno sol, no entanto, a limitação da luminosidade pode reduzir a produção de massa seca e de grãos.

O manejo de corte demonstra efeito sinérgico para reduzir a produção de folhas, matéria seca e grãos em sistemas silvipastoris.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTO, C. M.; STRECK, N. A. L.; WALTER, L. C.; ROSA, H. T.; MENEZES, N. L. de; HELDWEIN, E. A. B. Modelagem do desenvolvimento de trigo considerando diferentes temperaturas cardinais e métodos de cálculo da função de resposta à temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 6, p. 545-553, nov. 2010.
- ANDRADE, C. M. S. de; VALENTIM, J. F.; CARNEIRO, J. da C.; VAZ, F. A. Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 263-270, 2004.
- BERNARDINO, F. S.; GARCIA, R. Sistemas Silvopastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 60, p. 77-87, 2009.
- BUNDCHEN, M.; BOEGER, M. R. T.; REISSMANN, C. B. Estrutura foliar de espécies lenhosas de dossel e sub-bosque em uma floresta subtropical do sul do Brasil. **Iheringia**, Série Botânica, Porto Alegre, v. 70, n. 1, p. 105-114, 2015.
- CARON, B. O.; SOUZA, V. Q.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; SCHMIDT, D.; BAMBERG, R.; ELOY, E. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa de mudas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 833-842, 2012.
- CASAS, R. R. de; VARGAS, P.; PÉREZ-CORONA, E.; MANRIQUE, E.; GARCÍA-VERDUGO, C.; BALAGUER, L. 2011. Sun and shade leaves of *Olea europaea* respond differently to plant size, light availability and genetic variation. **Functional Ecology**, v. 25, p. 802-812, 2011.
- CHIRKO, C. P.; GOLD, M. A.; NGUYEN, P. V.; JIANG, J.P. Influence of direction and distance from trees on wheat yield and photosynthetic photon flux density (Qp) in a *Paulownia* and wheat intercropping system. **Forest Ecology and Management**, v. 83, p. 171-180, 1996.
- CUNHA, N. G. da; SILVEIRA, R. J. C.; KOESTER, E.; OLIVEIRA, L. D. de; ALBA, J. M. F.; TERRES, V. C.; LOPES, R. T. **Estudos de Solos do Município de Frederico Westphalen, RS**. Circular Técnica 116, Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. 2011. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/45561/1/CIRCULAR-TECNICA-116.pdf>>, acesso em: 8 de janeiro de 2016.
- DEL DUCA, L. de J. A.; MOLIN, R.; SANDINI, I. **Experimentação de genótipos de trigo para duplo propósito no Paraná, em 1999**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000a. 28p. (Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa, 6).
- FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S. **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região Sul-Brasileira**. 2. ed. – Brasília, DF: Embrapa, 2012. 544p.
- GILMORE JUNIOR, E. C.; ROGERS, J. S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, v. 50, p. 611-615, 1958.

- GUENNI, O.; SEITTER, S.; FIGUEROA, R. Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply. **Tropical Grasslands**, v. 42, n. 2, p. 75-87, 2008.
- HASTENPFLUG, M.; MARTIN, N.; CASSOL, L. C.; BRAIDA, J. A.; BARBOSA, D. K.; MOCHINSKI, A. Desempenho vegetativo de cultivares de trigo duplo propósito submetidas a adubações nitrogenadas. **Revista da FZVA**. Uruguaiana, v. 16, n. 1, p. 66-78. 2009.
- HAUN, J. R. Visual quantification of wheat development. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, n. 1, p. 116-119, 1973.
- HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; DIDONET, A. D.; TRINDADE, M. DA G.; SOARES, B. B.; MOREIRA, J. A. A.; CÁNOVAS, A. D. Solar radiation use efficiency on the wheat grain yield as a function of nitrogen fertilizer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 352-356, 2006.
- JOHNSON, D.; SMITH, W. Low clouds and cloud immersion enhance photosynthesis in understory species of a southern Appalachian spruce–fir forest (USA). **American Journal of Botany**, v. 93, n. 11, p. 1625-1632, 2006.
- JIANG, C. D.; GAO, H. Y.; ZOU, Q.; JIANG, G. M.; LI, L. H. Leaf orientation, photorespiration and xanthophyll cycle protect young soybean leaves against high irradiance in field. **Environmental and Experimental Botany**, v. 30, n. 2, p. 1-10, 2004.
- LARGE, E. C. Growth stages in cereals illustration of the Feeks scales. **Plant Pathology**, v. 4, p. 22-24, 1954.
- LUNAGARIAN, M. M.; SHEKH, A. M. Radiation interception, light extinction coefficient and leaf area index of wheat (*Triticum aestivum* L.) crop as influenced by row orientation and row spacing. Department of Agricultural Meteorology, **Anand Agricultural University**, Anand-388 110, India, 2010.
- MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 141-150, 2000. Disponível em: <<http://www.ufsm.br/rba/p14181.html>>. Acesso em: 27 mai. 2010.
- MAYERS, J. D.; LAWN, R. J.; BYTH, D. E. Agronomic studies on soybean (*Glycine max* L. Merrill) in the dry seasons of the tropics. II. Interaction of sowing date and sowing density. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 42, n. 7, p. 1093-1107, 1991.
- MONTEITH, J. L. Light Distribution and Photosynthesis in Field Crops. **Annals of Botany**, v. 29, n. 1, p. 17-37, 1965.
- MONTEITH, J. L.; MOSS, C. J. Climate and the Efficiency of Crop Production in Britain [and Discussion]. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 281, n. 980, p. 277-294, 1977.
- MOREIRA, M. A.; RUDORFF, B. F. T.; FELÍCIO, J. C.; FREITAS, J. G. DE; TARGA, M. DOS S. Spectral variation and radiation use efficiency in a wheat genotype trial. **Bragantia**, v. 64, n. 3, p. 331-338, 2005.

MÜLLER, A. G.; BERGAMASCHI, H. Eficiências de interceptação, absorção e uso da radiação fotossinteticamente ativa pelo milho (*Zea mays* L.) em diferentes disponibilidades hídricas e verificação do modelo energético de estimativa da massa seca acumulada. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, p. 27-33, 2005.

PACIULLO, D. S. C.; CARVALHO, C. A. B. de; AROEIRA, L. J. M.; MORENZ, M. J. F.; LOPES, F. C. F.; ROSSIELLO, R. O. P. Morphophysiology and nutritive value of signalgrass under natural shading and full sunlight. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 573-579, 2007.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(trans)piração**. 183p. Piracicaba: FEALQ, 1997.

RADIN, B.; BERGAMASCHI, H.; REISSER JUNIOR, C.; BARNI, N. A.; MATZENAUER, R.; DIDONÉ, I. A. Use efficiency of photosynthetically active radiation by tomato plants grown in different environments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1017-1023, 2003.

SAS Learning Edition. **Getting started with the SAS Learning Edition**. Cary, 200p. 2000.

STRECK, N. A.; WEISS, A.; XUE, Q.; BAENZIGER, P. S. Incorporating a chronology response into the prediction of leaf appearance rate in winter wheat. **Annals of Botany**, v.92, p.181-190, 2003.

STRECK, N. A.; PAULA, F. L. M. de; BISOGNIN, D. A.; HELDWEIN, A. B.; DELLAI, J. Simulating the development of field grown potato (*Solanum tuberosum* L.). **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 142, p. 1-11, 2007.

SOUSA, L. F.; MAURÍCIO, R. M.; MOREIRA, G. R.; GONÇALVES, L. C.; BORGES, I.; PEREIRA, L. G. R. Nutritional evaluation of “Braquiarão” grass in association with “Aroeira” trees in a silvopastoral system. **Agroforestry Systems**, v. 79, n. 2, p. 189-199, 2010.

SILVA JÚNIOR, L. C.; LUCAS, F. T.; BORGES, B. M. M. N.; SILVA, W. J. Influência da radiação fotossinteticamente ativa no crescimento e desenvolvimento de forrageiras tropicais. **FAZU em Revista**, n. 7, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

VARLET-GRANCHER, C.; GOSSE, G.; CHARTIER, M.; SINOQUET, H.; BONHOMME, R.; ALLIRAND, J. M. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 9, n. 5, p. 21, 1989.

VOISIN, A. **Productivité de l'herbe**. Paris: Flammarion, 1957. 457 p.

WILHELM, W. W.; MCMASTER, G. S. Importance of the phyllochron in studying development and growth in grasses. **Crop Science**; v. 35, p. 1-3, 1995.

XUE, Q.W.; WEISS, A.; BAENZIGER, P.S. Predicting leaf appearance in field-grown winter wheat: evaluating linear and non-linear models. **Ecological Modelling**, v. 175, p. 261-270, 2004.

YOSHIDA, S.; MANDEL, T.; KUHLEMEIER, C. Stem cell activation by light guides plant organogenesis. **Genes & Development**, v. 25, n. 13, p. 1439-1450, 1 jul. 2011.

ZHANG, W.; AHANBIEKE, P.; WANG, B. J.; XU, W. L.; LI, L. H.; CHRISTIE, P.; LI, L. Root distribution and interactions in jujube tree/wheat agroforestry system. **Agroforestry System**, v. 87, n. 4, p. 929-939, 2013.

DISCUSSÃO GERAL

Frente ao sombreamento natural causado pela copa de espécies arbóreas, a cultura do trigo demonstra capacidade de alterar sua morfoanatomia foliar. Com luminosidade reduzida, as plantas realizam compensação à menor incidência de energia em relação ao pleno sol. Inúmeras espécies vegetais possuem essa característica, com o objetivo de aclimatar-se à um ambiente antes não propício ao seu crescimento e desenvolvimento.

Apesar das alterações morfoanatômicas, as plantas podem não alterar sua produção final de matéria seca e grãos, sendo essa uma consequência direta da disponibilidade de energia encontrada nos sistemas silvipastoris. Acredita-se que a principal consequência da redução na disponibilidade de radiação solar seja a alteração na fisiologia de produção da planta, acarretando em maior eficiência no uso da radiação. Para tanto, uma planta pode alterar o direcionamento no acúmulo de matéria seca e, em casos de redução drástica na luminosidade, reduzir sua produção final de matéria seca ou grãos.

Essa produção alterada principalmente pela emissão foliar, antes não cogitada como variável influenciada pela disponibilidade de luz no ambiente. O maior número de folhas emitidas em menor período de tempo acarreta ao produtor de forrageiras, maiores produções de matéria seca e disponibilidade de alimento aos animais também em tempo reduzido, perfazendo melhor ganho ao mesmo. Assim, com um filocrono menor, a cultura do trigo oferece maior aporte forrageiro quando cultivado em ambientes mais iluminados.

De forma ampla, sistemas silvipastoris compostos com guapuruvu em linha e angico em linha, eucalipto em faixa e canafístula em faixa podem ser empregados como alternativas de produção. Esses tipos de ambientes de cultivo fornecem as plantas de trigo condições de crescer e desenvolver-se, mesmo com luminosidade reduzida. No entanto, vale ressaltar que manejos de desrama devem ser realizados periodicamente de acordo com o fechamento das copas arbóreas.