

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

SARAH MARIA HOPPEN

**CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE ALFAFA (*Medicago sativa* L.) COM
DIFERENTES NÍVEIS DE DORMÊNCIA E FREQUÊNCIAS DE DESFOLHAÇÃO
CONTRASTANTES**

**Marechal Cândido Rondon
2021**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

SARAH MARIA HOPPEN

**CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE ALFAFA (*Medicago sativa* L.) COM
DIFERENTES NÍVEIS DE DORMÊNCIA E FREQUÊNCIAS DE DESFOLHAÇÃO
CONTRASTANTES**

Tese de Doutorado apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração “Produção e Nutrição de Ruminantes/Forragicultura”, para obtenção do título de Doutora em Zootecnia.

Orientadora: Marcela Abbado Neres

Co-orientador: Derrick Jan Moot

**Marechal Cândido Rondon
2021**

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Hc	Hoppen, Sarah Maria Crescimento e desenvolvimento de alfafa (<i>Medicago sativa</i> L.) com diferentes níveis de dormência e frequências de desfolhação contrastantes / Sarah Maria Hoppen; orientadora Marcela Abbado Neres; coorientador Derrick Jan Moot. -- Marechal Cândido Rondon, 2021. 213 p. Tese (Campus de Marechal Cândido Rondon) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2021. 1. Leguminosas. 2. Pastagens. 3. Particionamento de componentes orgânicos. 4. taxa de expansão foliar. I. Abbado Neres, Marcela , orient. II. Jan Moot, Derrick, coorient. III. Título.
----	--

SARAH MARIA HOPPEN

Crescimento e desenvolvimento de genótipos da alfafa (*Medicago sativa* L.) com diferentes níveis de dormência e frequências de desfolhação contrastantes

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de “Doutora em Zootecnia”, Área de Concentração “Produção e Nutrição Animal”, Linha de Pesquisa “Produção e Nutrição de Ruminantes / Forragicultura”, APROVADA pela seguinte Banca Examinadora:



Orientadora / Presidente – Prof.^a Dr.^a Marcela Abbado Neres
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) - *Campus* de Mal. Cândido Rondon



Membro – Prof. Dr. Eduardo Eustáquio Mesquita
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) - *Campus* de Mal. Cândido Rondon



Membro – Prof. Dr. Vandeir Francisco Guimarães
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) - *Campus* de Mal. Cândido Rondon



Membro – Prof. Dr. Américo Fróes Garcez Neto
Universidade Federal do Paraná (UFPR) – Setor Palotina



Membro – Dr. Edmar Imperatrice Teixeira
Plant and Food Research – New Zealand

Marechal Cândido Rondon, 25 de fevereiro de 2021.

DEDICATÓRIA

*À minha família.
A todos aqueles que incentivam crianças a sonhar.
A todos que compartilham dos sentimentos de empatia e altruísmo.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, que mesmo sob fortes questionamentos e inseguranças minhas, jamais me abandonou.

Ao Centro de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, por ter financiado este projeto.

À professora Marcela Abbado Neres, pela orientação e amizade, mas principalmente pelo incentivo incondicional nos últimos seis anos.

Ao professor Américo Garcez Neto, por ter desbravado este caminho anteriormente e, assim, possibilitar e facilitar a conexão entre as universidades.

Ao professor Derrick J. Moot, por cada reunião, conselho e por todo o conhecimento transmitido a mim e aos seus demais estudantes e pela sua confiança.

Ao pessoal da Lincoln University, Dan, Dave, Alistair, Malcolm, Keith, Stephen, Hung, além dos meninos que auxiliaram nas coletas e separações, em especial a Annamaria Mills. Vocês tornaram tudo mais fácil e mais prazeroso, nos receberam de braços abertos e deixaram uma marca em nossos corações. Jamais nos esqueceremos.

À Xiumei Yang, pelo companheirismo e amizade, por notar sutis mudanças de humor e sempre ter uma palavra gentil. Por não se cansar, aparentemente, da minha constante demonstração de ignorância em diversas situações. Por ter sido, também, uma orientadora.

À Carmem, Edmar, Juliano, Marcus, Giselle, Mazinho, por nos fazer sentir em casa, acolhidos e seguros. A Heather e Kevin, pelo incrível chalé e biscoitos. A Thinzar, por abrir a minha mente. Às minhas amigas, por seu companheirismo, mesmo eu estando sempre ausente.

Aos meus pais, Marinês e Elio, que mesmo de coração partido, nunca deixaram de me incentivar e nunca duvidaram de mim. À minha irmã, Mariana, por ter mais uma vez dividido essa incrível experiência comigo. Ao Paulo, Regiane e Ana, pela compreensão e companheirismo.

Agradeço, principalmente, a Paulo Henrique Wagner. Por ter dividido todos esses momentos comigo, por provar mais uma vez e a cada dia que está ao meu lado. Por segurar as lágrimas para que eu pudesse sorrir. Por ter crescido tanto nesse período, e ainda assim, permanecido com o espírito leve. Por me permitir viver ao seu lado.

Gratidão!

Declaração

A responsabilidade da coleta de dados e manejos aplicados ao experimento a campo no período entre janeiro de 2015 a janeiro de 2017 coube a Hung Ta. Entre fevereiro de 2017 e setembro de 2018 tal responsabilidade foi passada a Xiumei Yang, com o auxílio de José Jaurégui. A partir de outubro de 2018 as coletas de material a campo, bem como análises laboratoriais e estatísticas foram de minha responsabilidade.

It's a dangerous business, Frodo, going out of your door. You step onto the road, and if you don't keep your feet, there's no knowing where you might be swept off to.

(J. R. R. Tolkien)

RESUMO

O intervalo entre desfolhações é um dos fatores de maior impacto no valor nutritivo e persistência das pastagens; tem influência na eficiência da planta em converter luz, água e nutrientes em tecido fotossinteticamente ativo e reservas orgânicas. O objetivo desta pesquisa foi quantificar os efeitos dos intervalos entre desfolhações em três níveis de dormência da alfafa ao longo de cinco anos. Os níveis de dormência foram selecionados pelas suas diferenças fisiológicas quanto às reservas radiculares em resposta aos fatores externos. Enquanto os regimes de desfolhação tiveram o objetivo de causar diferentes níveis de estresse nas plantas. O estudo foi desenvolvido na área experimental da Lincoln University, na região de Canterbury, Nova Zelândia, entre fevereiro de 2015 e abril de 2019. O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, com três parcelas (intervalos entre desfolhações - CF), três subparcelas (nível de dormência das plantas - FD) e quatro repetições. Os intervalos entre desfolhações ocorreram a cada 28 (CF 28), 42 (CF 42) e 84 dias (CF 84) combinados com níveis FD2 (AgR Palatable), FD5 (Grassland Kaituna) e FD10 (SARDI 10), totalizando 9 tratamentos. As análises consistiram de coletas de material aéreo e subterrâneo para determinação de variáveis agronômicas, fisiológicas e nutritivas; e avaliações não destrutivas para compreensão do desenvolvimento do dossel forrageiro em rebrotação. O menor intervalo entre desfolhações foi eficaz na limitação de carbono (C) quanto ao crescimento e desenvolvimento das plantas, resultando em menor produção de matéria seca (MS) (média anual de 7,5 t ha⁻¹ de MS), maior intensidade de queda populacional e menor índice de área foliar (IAF). Nestes tratamentos houve menor radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_i) (593,3 MJ m⁻² ano⁻¹, 1050,5 MJ m⁻² ano⁻¹ e 1415,9 MJ m⁻² ano⁻¹ em CF 28, CF 42 e CF 84, respectivamente), que reduziu a eficiência no uso da radiação total (EUR_{total}), e exigiu maior mobilização de reservas radiculares para a rebrotação dos tecidos. Por outro lado, o CF 84 causou a maior senescência foliar e entrada das plantas em fase reprodutiva devido ao longo intervalo entre desfolhações, o que refletiu na redução do IAF e da relação folha:haste, com impacto na redução do valor nutritivo. Os danos foram cumulativos ao longo do estudo, causando a degradação no dossel de todos os níveis de dormência testados sob CF 28, porém com diferentes intensidades. Dentre os níveis de dormência, o FD2 e FD5 mostraram maior capacidade de particionamento de componentes orgânicos às raízes, resultando no aumento de biomassa deste órgão e maior absorção de água e nutrientes, o que impeliu maior suporte energético para a rápida expansão do dossel. A limitação de C foi acompanhada de limitação de nitrogênio (N), potencializada pela baixa disponibilidade de água e menor

desenvolvimento das raízes menos dormentes. Conclui-se que as plantas de FD2 CF 42, sob tais condições climáticas, são as mais indicadas à região de Canterbury, sendo mais eficientes na captura, uso e particionamento de N e água.

Palavras-chave: AgR Palatable, Grassland Kaituna, particionamento de componentes orgânicos, SARDI 10, taxa de expansão foliar.

GROWTH AND DEVELOPMENT OF DIFFERENT FALL DORMANCY LEVELS OF LUCERNE (*Medicago sativa* L.) WITH CONTRASTING DEFOLIATION FREQUENCIES

ABSTRACT

The interval between defoliations is one of the factors with the greatest impact on the nutritive value and persistence of pastures; it has an influence on the plant's efficiency in converting light, water and nutrients into photosynthetically active tissue and organic reserves.

The aim of this research was quantifying the effects of defoliation frequencies on three dormancy levels of lucerne over five years. The dormancy levels were selected by their physiological differences of perennial reserves in response to external factors, as photoperiod and temperature. Whereas the defoliation frequencies were performed aiming the different stress caused. This study was carried out at the Lincoln University experimental area, in Canterbury, New Zealand, from 2015 to 2019. The experimental design was in blocks, with three main plots (defoliation frequencies – CF); three sub plots (fall dormancy genotypes – FD) and four replications. The defoliation frequencies were at every 28 days (CF 28), every 42 days (CF 42) and every 84 days (CF 84), in genotypes FD2 (AgR Palatable), FD5 (Grassland Kaituna) and FD10 (SARDI 10), resulting in 9 treatments. The analyses consisted in aerial and perennial harvesting to agronomical variables determination, physiological and nutritional; as non-destructive evaluations that aimed the canopy development comprehension over the regrowth process. The defoliation frequencies were efficient in generate different carbon (C) limitations, resulting in lower shoot yield (average of 7.5 t DM ha⁻¹ year⁻¹), greater intensity of plant population reduction, lower leaf area index (LAI) in plants submitted to CF 28. These differences were the result of photosynthetically active radiation intercepted (PAR_i) of this treatment (593.3 MJ m⁻² year⁻¹, 1050.5 MJ m⁻² year⁻¹ and 1415.9 MJ m⁻² year⁻¹ at CF 28, CF 42 and CF 84, respectively) that reduced the total radiation use efficiency (RUE_{total}), and demanded greater mobilization of perennial reserves to shoot regrowth. Contrary, the CF 84 caused greater leaf senescence and the plant inlet in reproductive phase due to the low defoliation frequency, which reflected on LAI and leaf:stem ratio reduction, with direct impact on nutritional quality decrease. The damage was cumulative over the study period, which caused collapse signals on all genotypes canopies under CF 28, however with different intensities. Among the dormancy levels, the FD2 and FD5 showed greater partitioning to perennial organs capacity that resulted in the increase of these organs biomass

yield and greater water and nutrients absorption, which impelled greater energy support to a faster canopy expansion. Though the FD10 plants naturally present greater LAI and shoot height, these advantages were annulled over the years, by the lower regrowth capacity that led to a more intense reduction of plant survival and, consequently, shoot yield. The C limitations were accompanied by nitrogen (N) limitation, empowered by the low water availability and lower perennial development in less dormant plants. It has been concluded that the FD2 CF 42, under that environment, are the most indicated to Canterbury region, as the most efficient in the interception, use and partitioning of N and water.

Keywords: AgR Palatable, Grassland Kaituna, leaf area expansion rate, partitioning of organic components, SARDI 10.

Lista de figuras

Capítulo 2

Figura 2.4.1 Ação de características do dossel sobre a produção de matéria seca.....29

Capítulo 3

Figura 3.2.1 Pluviosidade mensal acumulada (mm - colunas) e Penmann evapotranspiração potencial (PET; mm - pontos) para o período de junho de 2014 a maio de 2019 na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....49

Figura 3.2.2 Modelo de cálculo para a obtenção de graus-dia de acordo com a temperatura do ar.50

Figura 3.2.3 Quantidade total de água contida no solo (mm) do piquete 12 do Iversen Field por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....55

Figura 3.3.1 Produção acumulada de matéria seca ($t\ ha^{-1}$ de MS) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$), submetidos a três intervalos entre desfolhações (CF) durante cinco anos na região de Canterbury, Nova Zelândia.....59

Figura 3.3.2 Taxa de crescimento linear ($kg\ ha^{-1}\ ^\circ Cd^{-1}$) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$), sob três intervalos entre desfolhações (CF), cultivados por cinco anos em Lincoln, Canterbury, Nova Zelândia.....60

Figura 3.3.3 Taxa de crescimento linear ($kg\ ha^{-1}\ ^\circ Cd^{-1}$) em função de fotoperíodo crescente (símbolos abertos – linha cinza) ou decrescente (símbolos fechados – linha preta) de alfafa com nível de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob três regimes de desfolhação cultivados por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....62

Figura 3.3.4 Peso individual da haste (PIH, $g\ haste^{-1}$ de MS) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2, 5 e 10 sob intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias cultivados por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....63

Figura 3.3.5 Produção de MS ($t\ ha^{-1}$ de MS) em função do peso individual de hastes (PIH, $g\ MS\ haste^{-1}$) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias cultivados por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....64

Figura 3.3.6 Peso individual de haste (PIH, $g\ MS\ haste^{-1}$) estimado a partir da população de hastes ($haste\ m^{-2}$) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) cultivada em intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....65

Figura 3.3.7 População de plantas ($planta\ m^{-2}$) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob três intervalos entre desfolhações (CF) por cinco anos de graus-dia acumulados ($\sum^\circ Cd$) na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....66

Figura 3.3.8 População de hastes ($haste\ m^{-2}$) predita pela população de plantas ($planta\ m^{-2}$) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob intervalos entre desfolhações

(CF) de 28 (símbolos cinza), 42 (símbolos abertos) e 84 dias (símbolos fechados) por cinco anos em Lincoln, Canterbury, Nova Zelândia.....67

Figura 3.3.9 Produção de MS de plantas invasoras ($t\ ha^{-1}$ de MS) nos piquetes contendo alfafa com os níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob três regimes de desfolhação (CF 28, CF 42 e CF 84) por cinco anos em clima temperado.....69

Figura 3.3.10 Relação folha:haste de alfafa com os níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob intervalos entre desfolhações de 28, 42 e 84 dias cultivados por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....71

Figura 3.3.11 Produção dos componentes morfológicos ($t\ ha^{-1}$ de MS) de alfafa com os níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) cultivadas sob três intervalos entre desfolhações (CF 28, CF 42 e CF 84) por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....73

Figura 3.3.12 Produção de componentes morfológicos ($t\ ha^{-1}$ de MS) em função da produção de biomassa aérea ($t\ ha^{-1}$ de MS) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob CF 28 por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....74

Figura 3.3.13 Produção de componentes morfológicos ($t\ ha^{-1}$ de MS) em função da produção de biomassa aérea ($t\ ha^{-1}$ de MS) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob CF 42 por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....75

Figura 3.3.14 Produção de componentes morfológicos ($t\ ha^{-1}$ de MS) em função da produção de biomassa aérea ($t\ ha^{-1}$ de MS) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob CF 84 por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....75

Figura 3.3.15 Concentração de proteína bruta (PB, %) nas folhas (símbolo cinza), haste macia (símbolo aberto) e haste dura (símbolo fechado) dos níveis de dormência FD2 ($\circ$ – linha sólida), FD5 (Δ - linha tracejada) e FD10 ($\square$ – linha pontilhada) de alfafa sob as frequências de desfolhação de 28, 42 e 84 dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....77

Capítulo 4

Figura 4.2.1 Pluviosidade mensal acumulada (mm - colunas) e Penmann evapotranspiração potencial (PET; mm - pontos) para o período de junho de 2014 a maio de 2019 na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....95

Figura 4.2.2 Modelo de cálculo para a obtenção de graus-dia de acordo com a temperatura do ar.....96

Figura 4.2.3 Quantidade total de água contida no solo (mm) do piquete 12 do Iversen Field por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....101

Figura 4.2.4 Relação entre coroa e porção superior da raiz ($t\ MS\ ha^{-1}$) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob diferentes intervalos entre desfolhações (CF) de 28 dias (cinza), 42 dias (branco) e 84 dias (preto), por cinco anos na Universidade de Lincoln, Canterbury, Nova Zelândia.....102

Figura 4.3.1 Produção de biomassa radicular ($t\ ha^{-1}$ de MS) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2, 5 e 10 submetidos a três intervalos entre desfolhações (CF 28, CF 42 e CF 84) por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....107

Figura 4.3.2 Relação entre coroa e raízes ($14\ t\ MS\ ha^{-1}$) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) submetidos a três intervalos entre desfolhações (CF) de 28 dias (cinza), 42 dias (branco) e 84 dias (preto) em fotoperíodo decrescente (a) e crescente (b) por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....108

Figura 4.3.3 Concentração de amido (% na MS) na coroa (símbolos abertos) e raízes (símbolos fechados) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob diferentes intervalos entre desfolhações (CF 28, CF 42 e CF 84) por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....110

Figura 4.3.4 Açúcares solúveis (% da DM) na coroa (símbolos abertos) e raízes (símbolos fechados) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....112

Figura 4.3.5 Concentração de nitrogênio (N; % da MS) na coroa (símbolos abertos) e raízes (símbolos fechados) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob intervalos entre desfolhações de 28 (CF 28), 42 (CF 42) e 84 (CF 84) dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....113

Capítulo 5

Figura 5.2.1 Pluviosidade mensal acumulada (mm - colunas) e Penmann evapotranspiração potencial (PET; mm - pontos) para o período de junho de 2014 a maio de 2019 na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....128

Figura 5.2.2 Modelo de cálculo para a obtenção de graus-dia de acordo com a temperatura do ar.....129

Figura 5.2.3 Quantidade total de água contida no solo (mm) do piquete 12 do Iversen Field por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....134

Figura 5.2.4 Relação entre índice de área foliar (IAF) obtido a partir do equipamento Sunscan e o IAF obtido a partir de método destrutivo de alfafa com níveis de dormência 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob três intervalos entre desfolhações (CF) de 28 dias (símbolos cinza), 42 dias (símbolos abertos) e 84 dias (símbolos fechados) por cinco anos em clima temperado.....136

Figura 5.2.5 Logaritmo neperiano da transmissão de luz (R/R_0) obtido a partir do Sunscan e índice de área verde (IAV) de análises destrutivas do níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) de alfafa sob intervalos entre desfolhações de 28 dias (símbolos cinza), 42 dias (símbolos abertos) e 84 dias (símbolos fechados) por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....137

Figura 5.3.1 Relação entre a fração diária de radiação interceptada (Sunscan®) e índice de área foliar (IAF) proveniente de análises destrutivas de alfafa com os níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob as frequências de desfolhações de 28 dias (símbolos cinza), 42 dias (símbolos abertos) e 84 dias (símbolos fechados) por cinco anos em clima temperado.....139

Figura 5.3.2 Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_i) acumulada por ano durante o acúmulo de graus-dia ($^{\circ}\text{Cd}$) dos níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) de alfafa sob intervalos entre desfolhações de 28, 42 e 84 dias por cinco anos em Lincoln, Canterbury, Nova Zelândia.....	140
Figura 5.3.3 Índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) de cada ciclo de rebrote de alfafa com os níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob intervalos entre desfolhações de 28, 42 e 84 dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....	141
Figura 5.3.4 Número de folhas primárias na haste principal de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob intervalos entre desfolhações de 28, 42 e 84 dias, por cinco anos em clima temperado.....	143
Figura 5.3.5 Filocrono ($^{\circ}\text{Cd folha}^{-1}$) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) desfolhadas a cada 28, 42 e 84 dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....	144
Figura 5.3.6 Filocrono ($^{\circ}\text{Cd folha}^{-1}$) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob intervalos entre desfolhações de 28, 42 e 84 dias em fotoperíodo crescente (símbolos abertos – linha cinza) e decrescente (símbolos fechados – linha sólida), por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....	145
Figura 5.3.7 Taxa de expansão foliar (TEF, $\text{m}^2 \text{m}^{-2} ^{\circ}\text{Cd}^{-1}$) de alfafa com os níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob intervalos entre desfolhações de 28, 42 e 84 dias por cinco anos.....	147
Figura 5.3.8 Taxa de expansão foliar (TEF, $\text{m}^2 \text{m}^{-2} ^{\circ}\text{Cd}$) de alfafa com os níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob diferentes intervalos entre desfolhações (CF) em função de fotoperíodo crescente (símbolos abertos – linha cinza) e decrescente (símbolos fechados – linha sólida) por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....	148
Figura 5.3.9 Altura de haste principal (cm) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) submetidos a intervalos entre desfolhações de 28, 42 e 84 dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....	149
Figura 5.3.10 Taxa de alongamento de haste (TAH, $\text{cm } ^{\circ}\text{Cd}^{-1}$) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias por cinco anos em clima temperado.....	151
Figura 5.3.11 Estimação da produção de matéria seca aérea ($\text{t MS ha}^{-1} \text{cm}^{-1}$) a partir da altura de dossel de alfafas com os níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) submetidas a intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias, em fotoperíodo crescente (símbolos abertos – linha cinza) e decrescente (símbolos fechados – linha sólida) por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....	152
Figura 5.3.12 Número de ramos na haste principal de cultivares de alfafa com os níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) em intervalos entre desfolhações de 28, 42 e 84 dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....	153

Figura 5.3.13 Número de folhas senescentes de cultivares de alfafa com nível dormência (FD) 2 (○), 5 (Δ) e 10 (□) sob intervalos entre desfolhações de 28, 42 e 84 dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....154

Figura 5.3.14 Acúmulo de graus-dia (T_{b1}) e fotoperíodo requeridos para alcançar a fase de botão visível de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 (○), 5 (Δ) e 10 (□) submetidos a intervalos entre desfolhações de 28 dias (símbolos cinza), 42 dias (símbolos abertos) e 84 dias (símbolos fechados) durante fotoperíodo crescente (bordas vermelhas) e decrescente (bordas pretas) por cinco anos em clima temperado.....156

Capítulo 6

Figura 6.2.1 Pluviosidade mensal acumulada (mm - colunas) e Penmann evapotranspiração potencial (PET; mm - pontos) para o período de junho de 2014 a maio de 2019 na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....169

Figura 6.2.2 Modelo de cálculo para a obtenção de graus-dia de acordo com a temperatura do ar.....170

Figura 6.2.3 Quantidade total de água contida no solo (mm) do piquete 12 do Iversen Field por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....175

Figura 6.3.1 Produção de matéria seca acumulada anual ($g\ MS\ m^{-2}$) e acúmulo de radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_i , $MJ\ m^{-2}$) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 (○), 5 (Δ) e 10 (□) com intervalos entre desfolhações de 28 dias (símbolos cinza), 42 dias (símbolos abertos) e 84 dias (símbolos fechados) por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....177

Figura 6.3.2 Eficiência no uso da radiação aérea ($EUR_{aérea}$, $g\ MS\ MJ\ RFA_i^{-1}$) de plantas de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 (○), 5 (Δ) e 10 (□) sob intervalos entre desfolhações (CF) de 28 dias, 42 dias e 84 dias por cinco anos em clima temperado.....179

Figura 6.3.3 Eficiência no uso da radiação total (EUR_{total} , $g\ MS\ MJ\ RFA_i^{-1}$) de acordo com a temperatura média do ar ($^{\circ}C$) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 (○), 5 (Δ) e 10 (□) sob intervalos entre desfolhações (CF) de 28 dias, 42 dias e 84 dias por cinco anos em fotoperíodo crescente e decrescente na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....180

Figura 6.3.4 Particionamento de componentes orgânicos ao sistema radicular ($P_{raízes}$) em função da temperatura média do ar ($^{\circ}C$) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 (○), 5 (Δ) e 10 (□) sob intervalos entre desfolhações (CF) de 28 dias, 42 dias e 84 dias em fotoperíodo crescente e decrescente por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....181

Figura 6.3.5 Particionamento de componentes orgânicos ao sistema radicular ($P_{raízes}$) em função do fotoperíodo médio do ciclo de rebrote ($^{\circ}C$) de alfafa com níveis de dormência 2 (○), 5 (Δ) e 10 (□) sob intervalos entre desfolhações de 28 dias, 42 dias e 84 dias em fotoperíodo crescente (símbolos abertos) e decrescente (símbolos fechados) por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....182

Figura 6.3.6 Concentração de N na porção aérea (%) (a) e índice de N nutricional (INN) (b) em função da produção de MS aérea (t MS) de plantas de alfafa com níveis de dormência

(FD) 2, 5 e 10 submetidos a intervalos entre desfolhações de 28, 42 e 84 dias por cinco anos em clima temperado.....184

Lista de tabelas

Capítulo 3

Tabela 3.2.1 Médias mensais de 2014 a 2019 de radiação solar total (R_0), temperatura máxima ($T_{\max}$), mínima ($T_{\min}$) e média (T_{med}) do ar; médias históricas de 1960 a 2019 de evapotranspiração potencial (ETp), pluviosidade total e velocidade do vento mensurados na estação meteorológica Broadfield.....48

Tabela 3.2.2 Resultados de análise de solo da área I12 na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia nos períodos de 2014 e 2016.....51

Tabela 3.2.3 Período experimental para fase de estabelecimento e manejo de desfolhação de alfafa com níveis contrastantes de dormência na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....52

Tabela 3.2.4 Irrigação aplicada no piquete I12 no Field Research Centre, Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia, de 2015 a 2019.....54

Tabela 3.3.1 Produção de matéria seca acumulada no ano de rebrote e total (t ha^{-1} de MS) de três níveis de dormência (FD) de alfafa e três intervalos entre desfolhações (CF) durante cinco anos.....58

Tabela 3.3.2 População inicial e final (plantas m^{-2}), e taxa de sobrevivência de plantas (%) de diferentes níveis de dormência de alfafa sob intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias por cinco anos em clima temperado.....68

Tabela 3.3.3 Escores visuais (1 – 10) de níveis de dormência FD2, FD5 e FD10 de alfafa sob intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias cultivados por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....70

Tabela 3.3.4 Digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) de folhas, haste macia e haste dura de três níveis de dormência (FD2, FD5 e FD10) de alfafa sob intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias por cinco anos em clima temperado.....78

Tabela 3.3.5 Produção de proteína bruta (t ha^{-1} de MS) dos componentes morfológicos de níveis de dormência FD2, FD5 e FD10 sob três intervalos entre desfolhações (CF), durante cinco anos de cultivo na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....79

Tabela 3.3.6 Produção de energia metabolizável (EM, MJ t^{-1} de MS) de níveis de dormência FD2 ($\circ$), FD5 (Δ) e FD10 ($\square$) de alfafa submetida a intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....80

Capítulo 4

Tabela 4.2.1 Médias mensais de 2014 a 2019 de radiação solar total (R_0), temperatura máxima ($T_{\max}$), mínima ($T_{\min}$) e média (T_{med}) do ar; médias históricas de 1960 a 2019 de evapotranspiração potencial (ETp), pluviosidade total e velocidade do vento mensurados na estação meteorológica Broadfield.....94

Tabela 4.2.2 Resultados de análise de solo da área I12 na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia nos períodos de 2014 e 2016.....	97
--	----

Tabela 4.2.3 Período experimental para fase de estabelecimento e manejo de desfolhação de alfafa com níveis contrastantes de dormência na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....	98
--	----

Tabela 4.2.4 Irrigação aplicada no piquete I12 no Field Research Centre, Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia, de 2015 a 2019.....	100
---	-----

Tabela 4.3.1 Concentrações de amido (%), açúcares solúveis (%) e nitrogênio (N) nas coroas e raízes de alfafa com níveis de dormência (FD) 2, 5 e 10 sob intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias durante cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....	109
--	-----

Tabela 4.3.2 Produção de componentes das coroas ($t\ MS\ ha^{-1}$) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2, 5 e 10 sob intervalos entre desfolhações de 28, 42 e 84 dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....	114
--	-----

Tabela 4.3.3 Produção de componentes das raízes ($t\ MS\ ha^{-1}$) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2, 5 e 10 sob intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias por cinco anos em Lincoln, Canterbury, Nova Zelândia.....	115
--	-----

Capítulo 5

Tabela 5.2.1 Médias mensais de 2014 a 2019 de radiação solar total (R_0), temperatura máxima (T_{max}), mínima (T_{min}) e média (T_{med}) do ar; médias históricas de 1960 a 2019 de evapotranspiração potencial (ET_p), pluviosidade total e velocidade do vento mensurados na estação meteorológica Broadfield.....	127
--	-----

Tabela 5.2.2 Resultados de análise de solo da área I12 na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia nos períodos de 2014 e 2016.....	130
--	-----

Tabela 5.2.3 Período experimental para fase de estabelecimento e manejo de desfolhação de alfafa com níveis contrastantes de dormência na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....	131
--	-----

Tabela 5.2.4 Irrigação aplicada no piquete I12 no Field Research Centre, Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia, de 2015 a 2019.....	133
---	-----

Capítulo 6

Tabela 6.2.1 Médias mensais de 2014 a 2019 de radiação solar total (R_0), temperatura máxima (T_{max}), mínima (T_{min}) e média (T_{med}) do ar; médias históricas de 1960 a 2019 de evapotranspiração potencial (ET_p), pluviosidade total e velocidade do vento mensurados na estação meteorológica Broadfield.....	168
--	-----

Tabela 6.2.2 Resultados de análise de solo da área I12 na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia nos períodos de 2014 e 2016.....	171
--	-----

Tabela 6.2.3 Período experimental para fase de estabelecimento e manejo de desfolhação de alfafa com níveis contrastantes de dormência na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.....172

Tabela 6.2.4 Irrigação aplicada no piquete I12 no Field Research Centre, Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia, de 2015 a 2019.....174

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1 Alfafa pelo mundo	25
2.2 Dormência	26
2.3 Intervalos entre desfolhações	27
2.4 Produção de matéria seca	28
2.5 Armazenamento de componentes no sistema radicular	31
2.6 Estrutura do dossel	32
2.6.1 Taxa de aparecimento de folhas (TAF) e filocrono	33
2.6.2 Taxa de expansão de folhas (TEF)	34
2.7 Radiação solar.....	34
2.8 Referências	36
3 PRODUÇÃO, ESTRUTURA E VALOR NUTRITIVO DE DOSSEIS DE ALFAFA COM DIFERENTES NÍVEIS DE DORMÊNCIA, SUBMETIDOS A DISTINTOS INTERVALOS ENTRE DESFOLHAÇÕES	42
RESUMO	42
ABSTRACT	44
3.1 Introdução.....	46
3.2 Material e métodos	47
3.3 Resultados e discussão	57
3.4 Conclusão	84
3.5 Referências	85
4 PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DE ÓRGÃOS PERENES DE PLANTAS DE ALFAFA COM DIFERENTES NÍVEIS DE DORMÊNCIA SOB TRÊS INTERVALOS ENTRE DESFOLHAÇÕES POR CINCO ANOS.....	89
RESUMO.....	89
ABSTRACT.....	91
4.1 Introdução.....	93
4.2 Material e métodos	93
4.3 Resultados e discussão	106
4.4 Conclusão	119
4.5 Referências	119
5 ABSORÇÃO DE RADIAÇÃO E ESTRUTURA MORFOLÓGICA DE DOSSEIS DE ALFAFA DE DIFERENTES NÍVEIS DE DORMÊNCIA SUBMETIDOS A CONTRASTANTES INTERVALOS ENTRE DESFOLHAÇÕES.....	123
RESUMO.....	123
ABSTRACT.....	125
5.1 Introdução.....	126
5.2 Material e métodos	126
5.3 Resultados e discussão	138
5.4 Conclusão	159
5.5 Referências	160
6 EFICIÊNCIA NO USO DA RADIAÇÃO E PARTICIONAMENTO DE COMPONENTES ENTRE PORÇÃO AÉREA E RADICULAR DE ALFAFA COM CRESCENTES NÍVEIS DE DORMÊNCIA SOB DIFERENTES INTERVALOS ENTRE DESFOLHAÇÕES.....	164
RESUMO.....	164
ABSTRACT.....	166

6.1 Introdução	167
6.2 Material e métodos	167
6.3 Resultados e discussão	177
6.4 Conclusão	188
6.5 Referências	188
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	192
APÊNDICE 1... ..	196
APÊNDICE 2.	197
APÊNDICE 3.....	202
APÊNDICE 4.....	203
APÊNDICE 5.....	205
APÊNDICE 6.....	207
APÊNDICE 7.....	210
APÊNDICE 8.....	212

1 INTRODUÇÃO GERAL

A alfafa (*Medicago sativa* L.) é tida como a mais antiga forrageira a ser domesticada (RUSSELE, 2001). É amplamente utilizada pela sua alta adaptabilidade e produtividade em diferentes condições de clima e solo, o que permite que seja produzida em todos os continentes, exceto a Antártida, com finalidades diversas, dentre elas a produção de feno, pré-secado, forrageira verde fornecida no cocho, banco de proteínas, pellets, além de sua produção destinada ao consumo humano. Sua grande variabilidade genética, desenvolvida desde os primórdios da humanidade, permitiu que esta leguminosa desenvolvesse sistemas de dormência para a própria sobrevivência em situações adversas às ideais, o que desencadeia a redução da taxa metabólica em momento de escassez de recursos.

A frequência de desfolhação é apresentada como um dos fatores de maior impacto na qualidade e persistência de pastagens, uma vez que influencia na eficiência da planta em converter luz, água e nutrientes em tecido fotossinteticamente ativo e reservas orgânicas. Em situações de estresse causado pela desfolhação, a planta tende a mobilizar suas reservas orgânicas radiculares para dar início ao rebrote até que a parte aérea seja energeticamente autossuficiente. Para tanto, a planta deve, em momentos de equilíbrio produtivo, compensar seus depósitos de componentes orgânicos para estabilizar seu metabolismo e garantir a sobrevivência em momentos de estresse (TEIXEIRA et al., 2007a).

Contudo, em frequências de desfolhação muito altas não há tempo hábil para as plantas alcançarem este equilíbrio energético, o que leva ao esgotamento das reservas perenes e à degradação do dossel forrageiro. Por outro lado, plantas livres de estresse pela desfolhação tendem a acumular grande quantidade de material senescente e lignificado, devido à redução da entrada de luz nos horizontes mais baixos do dossel (LEMAIRE et al., 2019). O que leva ao baixo valor nutritivo, acamamento da pastagem e baixa eficiência de conversão energética.

A investigação das relações entre diferentes níveis de dormência com frequências de desfolhação é um campo de estudo que demanda tempo, uma vez que plantas perenes como a alfafa chegam a produzir por 10 anos ou mais, para a determinação da combinação que resultará em melhor produtividade e sustentabilidade do dossel.

O objetivo desta pesquisa foi quantificar os efeitos dos intervalos entre desfolhações em três níveis de dormência da alfafa ao longo de cinco anos. Os níveis de dormência foram selecionados pelas suas diferenças fisiológicas quanto às reservas orgânicas radiculares em resposta aos fatores externos, enquanto os regimes de desfolhação foram realizados com o

objetivo de causar diferentes níveis de estresse nas plantas. Para tanto, a produção, qualidade nutricional e variáveis fisiológicas foram acessadas durante fevereiro de 2015 e abril de 2019 em Canterbury, Nova Zelândia.

A hipótese inicial de que o menor intervalo entre desfolhações impactaria negativamente no desempenho produtivo da alfafa devido à limitação de C e N ao sistema radicular se opôs à hipótese de que o maior intervalo entre desfolhações criaria um ambiente sem limitações onde as plantas pudessem expressar seu potencial genético irrefreavelmente. A segunda hipótese considerou que sem limitações ambientais todos os níveis de dormência apresentariam seu pleno desenvolvimento de forma similar, enquanto que em casos de maior limitação de recursos as plantas mais dormentes superariam em persistência e produção aquelas menos dormentes.

Esta tese está estruturada em sete capítulos. Uma revisão de literatura é apresentada no Capítulo 2, relacionando situações ambientais e de manejo à fisiologia vegetal. Os objetivos específicos estão relacionados a cada capítulo desta tese.

1. Quantificar os efeitos dos intervalos entre desfolhações sobre os níveis de dormência de alfafa durante cinco anos na produção de matéria seca, componentes morfológicos e valor nutritivo (Capítulo 3).
2. Explicar o desenvolvimento do dossel pela dinâmica fisiológica e produtiva do sistema radicular (coroa e raízes), acessando o metabolismo de carboidratos e nitrogênio nestes órgãos (Capítulo 4).
3. Entender as diferentes respostas agronômicas reportadas no Capítulo 3, pela avaliação das respostas fenológicas, estrutura do dossel e os efeitos do fotoperíodo e temperatura na ciclagem de tecidos (Capítulo 5).
4. Relacionar os padrões sazonais da eficiência no uso da radiação (EUR), particionamento de biomassa entre porção aérea e perene, e a dinâmica do nitrogênio (Capítulo 6).

No Capítulo 7 serão discutidas as considerações finais e potenciais aplicações dos resultados obtidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo introduz dados da literatura sobre produção de biomassa da alfafa, relacionando este processo a fatores bióticos e abióticos, levando-se em consideração o manejo e a persistência da pastagem. Sendo assim, serão apresentados dados sobre estrutura do dossel, qualidade forrageira e a mobilização e particionamento de componentes para as reservas perenes.

2.1 Alfafa pelo mundo

A alfafa é a leguminosa mais utilizada no mundo (BOUTON, 2012) devido ao seu potencial e adaptabilidade em produzir em diferentes situações de disponibilidade de água no solo, temperatura, fotoperíodo e manejo. Esta planta pertence à família *Fabaceae*, subfamília *Papilonoideae* (RASSINI, 1999). Original da região dos Cáucaso, que engloba a Turquia e Irã, esta planta foi disseminada na Europa e na Ásia antes do Império Romano, e então para as Américas e Australásia. (BOUTON, 2012). Acredita-se que é cultivada em cerca de 32 milhões de hectares ao redor do mundo (BRUMMER, 2004), principalmente produzida nos Estados Unidos da América (EUA), Canadá, França, China, Argentina e Austrália (VERONESI et al., 2010). A alfafa pode ser cultivada para a produção de feno, silagem, pellets e foragem fresca em monocultura e consorciada com outras espécies, como azevém e centeio (MOOT, 2012).

Na Nova Zelândia, o cultivo de alfafa tem crescido nos últimos 30 anos com a melhoria dos genótipos e sistemas de irrigação das propriedades rurais, mas principalmente pelo seu enraizamento que atinge o lençol freático nos perfis mais profundos do solo (BROWN et al., 2005; MOOT, 2012) e o desenvolvimento de genótipos resistentes a pestes e doenças (HARVEY et al., 2014). Caracterizada pelo clima temperado, a Costa Leste da Ilha Sul tem uma pluviosidade média de 60 mm/mês de forma bem distribuída durante todo o ano, além de alta evapotranspiração no verão (RADCLIFFE & BAARS, 1987), o que demanda uma grande adaptabilidade à seca nas estações mais produtivas. A grande produtividade é sincronizada com a estação de parição de borregos no início da primavera, e terminação de cordeiros em novembro-dezembro, que torna a alfafa a principal fonte de energia e proteína para este processo (BROWN, 2004).

Mais de 12.000 km de distância, no Brasil, a intensificação do sistema de produção leiteiro tem aumentado o cultivo de alfafa nas regiões Sul e Sudeste, onde a leguminosa é mais usada como feno, pelas facilidades de armazenamento e transporte (VILELA et al., 2008). Acredita-se que a introdução desta espécie no Brasil tenha ocorrido em meados de 1850, na região Sul, principalmente no estado do Rio Grande do Sul, pela sua proximidade com Uruguai e Argentina (SAIBRO, 1985). Em 1990, os institutos de pesquisa da região Sudeste iniciaram investigações testando genótipos para as condições climáticas da região, mas o alto custo de importação de sementes da Argentina, Chile e EUA reduziam a viabilidade de cultivo da espécie. Hoje em dia, o genótipo mais comum no Brasil é a cultivar Crioula, um híbrido selecionado pela sua alta adaptabilidade, produção de matéria seca (MS) e proteína bruta (PB) em condições tropicais e subtropicais (BOTREL et al., 2001). Mas a escassez de outras cultivares impede o desenvolvimento de genótipos mais adequados (VILELA et al., 2008).

2.2 Dormência

A dormência é um processo fisiológico em resposta aos estresses provocados pelo ambiente. Comumente visto em sementes, este processo também ocorre em outras fases do ciclo de vida vegetal, tendo o objetivo principal de evitar a perda de energia de manutenção durante situações extremas relacionadas a variações de temperatura, osmose, fotoperíodo, pH e condições hídricas (SHIH et al., 1967; SEPPÄNEN et al., 2018). Caracterizada pela redução das atividades metabólicas, a dormência em fase vegetativa é regulada pelos hormônios ácido abscísico (ABA), ácido indole-3-acético (IAA) e giberilina (GA_3), responsáveis pela divisão celular; fechamento dos estômatos e redução da fotossíntese; e rebrote e florescimento, respectivamente. Os níveis de cada hormônio são relacionados com o nível de dormência e função, apesar de seu controle não ser bem esclarecido pelos geneticistas (LI et al., 2015). Han et al. (2011) relataram que alfafas não dormentes mostraram maior concentração de GA_3 e IAA, e baixas concentrações de ABA.

Uma alta variabilidade genética desenvolvida para a adaptação em condições extremas de ambiente (FEDIERE et al., 2003; TEIXEIRA et al., 2007a) desenvolveu uma grande variedade de cultivares e impactou em características de cunho econômico como a alta produção de alimento de excelente qualidade e persistência (WANG et al., 2009). Para classificar todos os genótipos de alfafa um ranking foi criado baseado nas

respostas a diferentes situações. De acordo com Barnes et al. (1979), plantas que cessam seu desenvolvimento durante a estação fria são classificadas como FD (fall dormancy) 1-3, plantas que apresentam alguma produção mas ainda são susceptíveis à dormência classificam-se como FD 4-6, e plantas com desenvolvimento normal durante esta estação são ranqueadas como FD 7-9. Alguns autores ainda incluem a classificação FD 10-11 como altamente não dormente (BRUMMER et al., 2000).

Para identificar o nível de dormência de determinado genótipo, é necessário avaliar seu crescimento quando exposto a situações de redução do fotoperíodo e temperatura, como uma resposta à GA₃. Plantas classificadas como não dormentes são normalmente mais altas comparadas às cultivares dormentes (CUNNINGHAM et al., 2001; HAAGENSEN et al., 2003), efeito da maior concentração de IAA, responsável pelo fototropismo (HAN et al., 2011).

De qualquer forma, alguns autores concordam que mais do que o nível de dormência, a principal característica que afeta a produção de MS e perenidade da alfafa é a frequência de desfolhação (VENTRONI et al., 2010; RIMI et al., 2014). Desta forma, este estudo irá avaliar as características de diferentes níveis de dormência sob os diferentes intervalos entre desfolhações.

2.3 Intervalo entre desfolhações

Historicamente, os campos de alfafa têm um padrão de desfolhação indicado aos 10-20% de florescimento, um indicativo de equilíbrio entre produção de MS aérea e sistema radicular, e em áreas tropicais durante os meses frios o pastejo deve ocorrer quando as hastes basais têm entre 3 a 5 cm de altura (RASSINI et al., 2015). Mas, estes sistemas não levam em consideração o valor nutritivo da pastagem, uma vez que o aumento da proporção de hastes aumenta a lignificação e reduz os teores de proteína e digestibilidade da forrageira. Segundo Tabacco et al. (2002), há três formas de produzir forragem de qualidade, 1) aumentar a frequência de desfolhação; 2) aumentar a altura de saída; e 3) selecionar genótipos mais nutritivos. Contudo, mesmo o genótipo mais nutritivo tem a digestibilidade reduzida pelo aumento da produção de hastes duras, o que significa que o principal agente do perfil nutricional é o manejo de desfolhação.

Na produção animal, a preconização da qualidade nutricional leva a pequenos intervalos entre cortes, com o pastejo antecipado das plantas, pela maior relação folha:haste, baixa concentração de fibras não digestíveis e alta concentração de PB

(KALLEMBACH et al., 2002; TABACCO et al., 2002). Mas estas plantas acabam apresentando baixa produção de MS comparado com dosséis desfolhados no início do florescimento (GRAMSHAW et al., 1993) o que pode representar altos custos com o aumento do manejo (TABACCO et al., 2002) e, ainda, a necessidade de suplementação energética aos animais.

No âmbito da fisiologia vegetal e persistência de cultivo, o aumento na frequência de desfolhação reduz a produção do sistema radicular (coroa e raízes) pela alta exigência de suprimento de recursos para a emissão de novos tecidos (TEIXEIRA et al., 2007a), o que reflete no potencial de rebrote (BROWN et al., 2006) e impacta negativamente na sobrevivência das plantas (VENTRONI et al., 2010). Em outro extremo, devido ao processo de senescência foliar acelerado, o dossel pastejado após os 10% de floração apresenta uma menor taxa de acúmulo que impacta na queda da performance do animal comparado com uma pastagem desfolhada antes da floração (BERONE et al., 2020).

Há casos de ausência de diferenças na persistência entre ciclo de rebrote longos e curtos na literatura (CHEN et al., 2013), o que levanta a questão do nível de dormência como fator mais importante, porém, é de comum acordo que encontrar o equilíbrio entre genética e manejo para cada situação seja a melhor maneira de otimizar as produções, tanto animal quanto vegetal.

2.4 Produção de matéria seca

A produção de MS é a variável de maior impacto para produtores e é a característica mais sensível, funcionando como indicador da comunidade de plantas, do vigor e do valor nutritivo do dossel. Um alfafal em condições ideais pode exceder as 20 t ha⁻¹ de MS ano⁻¹ (BROWN et al., 2005; TEIXEIRA et al., 2007b), influenciado diretamente pelas características do dossel, tais como densidade de hastes e peso individual das hastes (PIH) (MAAMOURI et al., 2017) (Figura 2.4.1). Estas são por sua vez influenciadas pela temperatura, fotoperíodo (TA et al., 2020), irrigação (GRAMSHAW et al., 1993), idade da planta, manejo de desfolhações (VENTRONI et al., 2010), nível de dormência (HARVEY et al., 2014), fertilidade do solo (LEMAIRE et al., 2019).

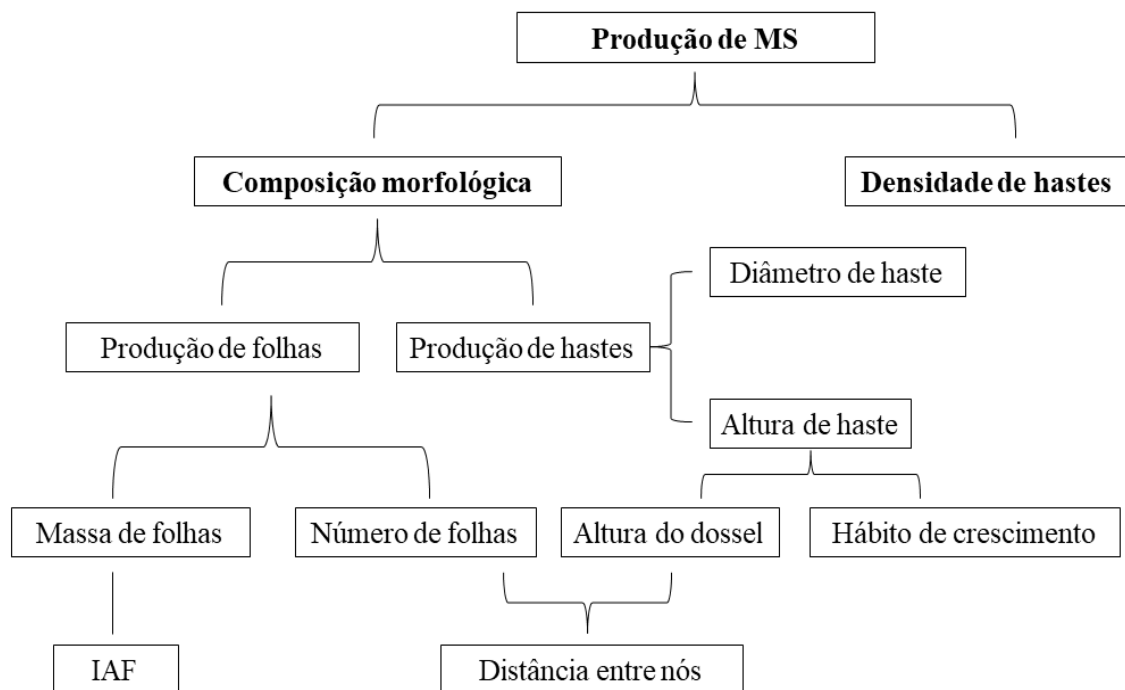


Figura 2.4.1 Ação de características do dossel sobre a produção de matéria seca.

IAF: índice de área foliar. Adaptado de Maamouri et al. (2017).

De acordo com Weller (1987), a população de plantas de dosséis vegetativos e, por consequência, a densidade de hastes em ausência de influências externas negativas (como doenças, fogo e estresse), são reguladas pela competição por luz e nutrientes. Esse processo é chamado de “auto desbaste” (self-thinning) e tem um valor constante de $-3/2$ (-1,5) sugerido por Yoda (1963) como a relação entre o logaritmo de peso de planta e logaritmo de densidade de plantas. Isso significa que plantas em competição constante por suprimentos matam as menores, enquanto as sobreviventes podem aumentar seu tamanho/peso pela emissão de novas hastes e/ou aumento do PIH.

Partindo deste princípio, um dossel em competição tem uma redução na interceptação luminosa (IL) e necessita da elevação das novas folhas para onde a luz é mais abundante, o horizonte superior. Este processo está associado com a absorção de carbono (C) e nitrogênio (N) dos tecidos sombreados e da emergência de novas hastes para suprir as exigências da planta. Uma consequência é o aumento de estruturas fibrosas, redução do valor nutritivo e a redução do IAF. Esse processo é chamado

“custo do aumento da produção” (LEMAIRE et al., 2019), assim, a relação folha:haste também é afetada. Lemaire et al. (1989) classificaram isso como mudanças relacionadas à idade da planta, um processo previsível e inevitável. A chave é a quebra deste processo natural pela desfolhação, e garantir que tais efeitos sejam reduzidos ao máximo.

Em larga escala, ambos os processos resultarão na degradação do dossel, caracterizado pela baixa população de plantas e produção de MS, associado com infestações de plantas invasoras e doenças. Ironicamente, neste cenário com baixa população, as plantas individualmente estão livres de competição e apresentam maior IAF e relação folha:haste (LEMAIRE et al., 2019). Contudo, não é uma melhoria suficiente para compensar a queda da produção em comparação com um dossel bem formado.

O intervalo entre desfolhações é um regulador desta plasticidade. Campos com longo intervalo entre desfolhações costumam apresentar hastes menores, porém em maior densidade, e alfafais destinados à produção de feno, por exemplo, com menor frequência de cortes normalmente apresentam hastes maiores e mais pesadas, mas em menor densidade (DAVIS, 1988). Ventroni et al. (2010) mostraram interação significativa entre frequência de desfolhação e nível de dormência (FD), em que plantas dormentes (FD3) tiveram maior capacidade de rebrote quando desfolhadas a cada 20 dias (aproximadamente 500 hastes m⁻²), enquanto que em frequência de 30 e 40 dias o nível de dormência teve maior altura. Contudo, também foi relatado que as hastes de FD3 (dormente) em desfolhação a cada 20 dias foram menores e mais leves, resultando em menor produção de MS.

Como o horizonte superior do dossel representa a região de maior atividade fotossintética, a remoção desta representa para a planta um déficit energético que desencadeia a mobilização das reservas energéticas perenes para o rebrote e crescimento inicial para, enfim, reestabelecer o balanço energético (LEMAIRE & AGNUSDEI, 2000). Essa regra requer que a planta armazene C e N nestes órgãos, uma característica geneticamente determinada.

2.5 Armazenamento de componentes no sistema radicular

O sistema radicular da alfafa (coroa e raiz) é caracterizado pela acentuada profundidade atingida, o que a faz ser uma planta altamente resistente à seca

característica da região de Canterbury, Nova Zelândia, onde há lençóis freáticos a cerca de 2-3 m de profundidade (MOOT et al., 2012). O desenvolvimento destes órgãos em dosséis já estabilizados é altamente dependente da exigência nutricional da porção aérea da planta, apresentando redução de massa em estação de rebrote (RIMI et al., 2014) e incremento de massa em situações de equilíbrio fotossintético (TEIXEIRA et al., 2007b).

A dinâmica de produção destes órgãos é linear, com simultâneo desenvolvimento de ambos, porém, com variações em sua proporção de acordo com o estágio de desenvolvimento da planta (TEIXEIRA et al., 2007b) e as exigências, tanto nutricionais quanto por água (PEMBLETOM et al., 2010). Sua estrutura, formada por reservas orgânicas, fibras estruturais e água, varia de acordo com o manejo de desfolhação (TEIXEIRA et al., 2007b; RIMI et al., 2014), nível de dormência escolhido (PEMBLETOM et al., 2010), qualidade do solo, disponibilidade de água e idade da planta.

Em situações de equilíbrio do dossel forrageiro, cerca de 95% de IL, há a intensa deposição de componentes orgânicos nos órgãos perenes (TEIXEIRA et al., 2007c). Estas reservas podem ser mobilizadas para o rebrote da porção aérea após desfolhações, assim como servirem de banco energético para a planta em situações de baixa atividade metabólica, como a dormência. De acordo com Haagenson et al. (2003) a correlação entre dormência e armazenamento de açúcares solúveis é positiva, significando que, quanto mais dormente a planta é, maior sua capacidade de estocar açúcares e, consequentemente, maior sua capacidade de resistir ao inverno. O mecanismo de utilização dos carboidratos é relacionado à respiração das raízes, quanto maior a concentração destes componentes, melhor suporte a planta fornece para cada célula individualmente, aumentando a capacidade de sobrevivência em invernos rigorosos (AVICE et al., 1996).

A taxa de deposição de componentes varia de acordo com sua função. Açúcares solúveis apresentam uma flutuação mais acentuada em sua concentração, uma vez que representam a fonte primária de energia para a planta, estando em alta mobilização entre órgãos (TEIXEIRA et al., 2007b). Sendo, portanto, mais sensíveis às exigências do rebrote. O amido tende a manter certa concentração no sistema radicular, apresentando-se em maior (mais de 250%) quantidade em plantas com menor frequência de desfolhações (MITCHELL et al., 2020). Por outro lado, Pembletom et al. (2010)

obtiveram diferenças na quantidade de amido estocado no sistema radicular das cultivares Grassland Kaituna (FD5) e SARDI 10 (FD10), relacionando a maior concentração em plantas com maior dormência e, conseqüentemente, com a maior persistência da pastagem.

O armazenamento de N nas raízes também parece estar positivamente relacionado à FD e resistência ao inverno, sem que haja uma tendência aparente de redução em sua concentração ao longo dos anos (CUNNINGHAM et al., 2001). Os efeitos da frequência de desfolhação na concentração de N foram apresentados por Teixeira et al. (2007b) em Grassland Kaituna, com variação entre 0,9% a 1,8% de N na MS perene. Os autores apresentaram redução brusca na concentração de N após a mudança do regime de desfolhação de 42 para 28 dias. Porém, com o mesmo padrão de flutuações entre estações e entre os dois regimes adotados, o que sugere que, além da frequência de desfolhação, a mobilização das reservas é modulada por fatores abióticos, tais quais temperatura e fotoperíodo (GRAMSHAW et al., 1993; TEIXEIRA et al., 2007b) e disponibilidade de água para a planta (PEMBLETOM et al., 2010).

2.6 Características morfogênicas

A produção de MS é o resultado da quantidade de luz absorvida, ou radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e a eficiência da planta em convertê-la em biomassa, ou eficiência no uso da radiação (EUR) (BROWN et al., 2006; TEIXEIRA et al. 2007a; JÁUREGUI et al., 2019). A absorção de RFA é vegetativamente regulada pelo IAF que, na alfafa, tem um ponto crítico variando entre 3,2 e 3,6 (TEIXEIRA et al., 2007c; TEIXEIRA et al., 2011). O ponto crítico representa o potencial máximo de absorção de RFA pelo dossel, em baixo IAF o potencial real do dossel não é alcançado, mas em alto IAF há o sombreamento dos tecidos basais e a aceleração dos processos de senescência (COSTA et al., 2011). Ao alcançar o ponto crítico, as plantas ativam a mobilização de C para os tecidos sombreados e reservas perenes (LEMAIRE & CHAPMAN, 1996), estimado a ser aos 90% de IL (GOSSE et al., 1988), apesar de alguns estudos mais recentes terem mostrado que tal processo se inicia aos 93-95% de IL (TEIXEIRA et al., 2007c).

O IAF é uma característica morfológica resultante de três fatores principais, a taxa de aparecimento de folhas (TAF), taxa de expansão de folhas (TEF) e duração de vida da folha (DVF), que agem no tamanho da folha, densidade de hastes e número de folhas

por haste, todos relacionados ao acúmulo de graus-dia (KHAITI & LEMAIRE, 1992), fotoperíodo, N, irrigação, etc. (LEMAIRE & CHAPMAN, 1996). Apesar da DVF ser uma constante genética, todas as variáveis morfológicas são afetadas pelos fatores abióticos.

2.6.1 Taxa de aparecimento de folhas (TAF) e filocrono

A TAF (número de folhas primárias °Cd⁻¹) é o fator mais impactante agindo sobre o IAF, sendo regulado diretamente pela temperatura (TEIXEIRA et al., 2007c; BALDISSERA et al., 2014) e intensidade de luz absorvida (GASTAL & LEMAIRE, 2015). Essa característica é oposta ao filocrono (°Cd número de folhas primárias⁻¹), o que representa a quantidade necessária de graus-dia para a maturação de folhas novas.

Na alfafa, folhas são morfológicamente separadas como folhas primárias e axilares, o que representa a distribuição vertical aérea de cada planta. A distância entre nós e a posição destes também influencia o número de folhas axilares, uma vez que quanto mais alto o nó, menor o número de folhas axilares e número de ramos (BALDISSERA et al., 2014), uma característica correlacionada com o fotoperíodo (JÁUREGUI et al., 2019).

Inicialmente, considerou-se que as desfolhações frequentes agiam negativamente na TAF, uma vez que a remoção da área mais produtiva forçaria um platô na curva de desenvolvimento devido ao tempo destinado à mobilização de nutrientes perenes, aumentando o filocrono (LEMAIRE & CHAPMAN, 1996). Porém, esse processo pode resultar em benefícios, como maior entrada de luz nos horizontes inferiores reduzindo a senescência de folhas, estimulando a ramificação e a emissão de novas hastes (GASTAL & LEMAIRE, 2015). Mattera et al. (2013) obtiveram um aumento no IAF com a maior distância entre linhas de plantio, sugerindo que o aumento da IL na região basal promove o aumento da TAF, e resulta em maior EUR, sem alterações na produção final. Da mesma forma, Teixeira et al. (2007c) constataram um aumento do filocrono com a redução do fotoperíodo, reforçando a alta correlação entre quantidade de luz e emissão de novas folhas.

De acordo com a literatura, outro fator que age na TAF é a idade da planta, comparando a fase de estabelecimento com os anos subsequentes, Baldissera et al. (2014) apresentaram um aumento da TAF com o aumento do número de rebrotes. Este processo é devido à formação de tecidos de reserva na fase de estabelecimento (TA et

al., 2016). Contudo, com a necessidade de expansão de folhas para atingir o IAF ideal, a planta mobiliza parte de sua energia da TAF para a TEF (GASTAL & LEMAIRE, 2015).

2.6.2 Taxa de expansão de folhas (TEF)

Diferente da TAF, a TEF ($\text{m}^2 \text{m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{Cd}^{-1}$) é regulada pelas reservas de N e tem a desfolhação como principal fator externo (TEIXEIRA et al., 2007c), o que também afeta o IAF e IL. Após a desfolhação, há um rápido aumento da TEF das folhas remanescentes, já que esse processo tem menor custo energético em comparação à TAF. Porém, em situações em que a intensidade de pastejo é alta, sem a presença de folhas remanescentes, há a necessidade de mobilização das reservas para a emissão de novas folhas, o que impacta diretamente nas reservas antes destinadas à TEF (GASTAL & LEMAIRE, 2015).

A TEF, apesar de uma resposta natural da planta, deve ser considerada uma variável de resposta à TAF a trabalhar de maneira análoga e proporcional com o intuito de atingir a área foliar da planta necessária à manutenção e produção (BALDISSERA et al., 2014). Sendo assim, quando o número de folhas é baixo, há a necessidade da expansão destas para atingir o equilíbrio. À afirmação feita por Lemaire & Chapman (1996) quanto aos componentes morfogênicos atuantes na IAF, Brown et al. (2005) acrescentaram a população de plantas como mais um fator sobre esta variação. Os autores apontam o fotoperíodo como principal agente sobre a TEF, uma vez que plantas em fotoperíodo decrescente apresentaram maior TEF para maior IL em tempos de escassez deste recurso.

Ta et al. (2016) reportaram diferença entre os níveis de dormência no arranjo das folhas, com o FD10 produzindo folhas mais pesadas que FD2 e FD5. O resultado foi FD10 sendo mais produtivo pela maior IL, um processo modulado pelas diferenças da TEF entre os níveis de dormência. Teixeira et al. (2007c) apontaram a alta frequência de desfolhação agindo negativamente sobre a TEF, os autores explicam que a alta demanda de nutrientes pelo rebrote, principalmente em ciclos curtos demais para a planta atingir o $\text{IAF}_{\text{crítico}}$, acaba por esgotar as reservas nutricionais da planta e leva degradação da pastagem.

2.7 Radiação solar

A RFA abrange os comprimentos de onda entre 400 e 700 nm (LIANG et al., 2014), que correspondem a aproximadamente 50% de toda a radiação incidente no dossel. Sendo dependente da radiação incidente, a RFA pode ainda ser variável de acordo com o ângulo zenital, comprimento do dia e condição climática (luz difusa) (FRANÇA et al., 1997; RADIN et al., 2003), além das condições intrínsecas ao dossel, como número de folhas verdes (NFV) e concentração de clorofila nas folhas (índice SPAD).

A RFA_i associada à produção de biomassa resulta na EUR (g MS MJ RFA^{-1}), tanto da parte aérea ($EUR_{aérea}$) quanto na total (EUR_{total}). Após a desfolhação, por exemplo, quando a planta não tem material fotossinteticamente ativo suficiente para suprir a demanda de geração de novos tecidos, há a mobilização de material orgânico radicular para a parte aérea ($P_{aéreo}$). Esse cenário caracteriza perda da EUR_{total} , porém aumento da $EUR_{aérea}$, uma vez que a planta está produzindo muito mais tecido com a mesma RFA_i . Após a geração de tecidos e suprimento de energia de manutenção, a planta entra em fase produtiva e com isso retoma a deposição de materiais orgânicos nos órgãos subterrâneos ($P_{raízes}$).

Acredita-se que esse processo de reposição dos componentes orgânicos radiculares ocorra em maior expressividade, e de maneira natural em alfafa, durante períodos com temperaturas entre 6 e 18°C, caracterizando o final do inverno e começo da primavera na região de Canterbury. O baixo fotoperíodo desta época faz com a temperatura seja o principal fator de controle de tal característica (BROWN et al., 2006; TEIXEIRA et al., 2008; TEIXEIRA et al., 2011).

Em condições de equilíbrio do dossel, em que não há estresse causado por fatores limitantes, tais como rebrote, doença, praga, deficiência nutricional, etc., há uma manutenção do tecido fotossinteticamente ativo, com a ciclagem de nutrientes na parte aérea e $P_{raízes}$, as plantas se encontram no platô da curva de EUR_{total} , e apresentam manutenção no IAF do dossel (COSTA et al., 2011).

De acordo com esta revisão, é necessário avaliar qual nível de dormência da alfafa é apropriado para as condições ambientais locais, uma vez que ambos extremos da dormência têm suas vantagens e desvantagens, enquanto que há a baixa produção, há a maior sobrevivência, ou alta produção por um ou dois anos com replantio antecipado. Há também a necessidade de investigação do melhor manejo de desfolhação a ser

realizado para promover uma maior produção de MS, qualidade nutricional, perenidade e eficiência do dossel forrageiro em longo prazo.

2.8 Referências bibliográficas

- AVICE, J.C.; OURRY, G.A.; LEMAIRE, G.; et al. Nitrogen and carbon flows estimates by ^{15}N e ^{13}C pulse-chase labeling during regrowth of alfalfa. **Plant physiology**, v.290, p.112-281, 1996.
- BALDISSERA, T.C.; FRAK, E.; CARVALHO, P.C.F.; et al. Plant development controls leaf area expansion in alfalfa plants competing for light. **Annals of Botany**, v.113, p.145-157, 2014. Doi: 10.1093/aob/mct251
- BARNES, D.K.; SMITH, D.M.; STUCKER, R.E.; et al. Fall dormancy in alfalfa: A valuable predictive tool. In: BARNES, D.K. (ed.) **Report of the 26th Alfalfa Improvement Conference**, Brookings, South Dakota State University, SD, 1979.
- BERONE, G.D.; SARDIÑA, M.C.; MOOT, D.J. Animal and forage responses on lucerne (*Medicago sativa* L.) pastures under contrasting grazing managements in a temperate climate. **Grass and Forage Science**, v.00, p.1-14, 2020. Doi: 10.1111/gfs.12479
- BOTREL, M. A.; FERREIRA, R. P.; ALVIM, M. J.; et al. Cultivares de alfafa em área de influência da Mata Atlântica no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.11, p.1437-1442, 2001.
- BOUTON, J.H. Breeding lucerne for persistence. **Crop and Pasture Science**, v.63, n.2, p.95-106, 2012. Doi: 10.1071/CP12009
- BROWN, H.E. **Understanding yield and water use of dryland forage crops in New Zealand**. 2004. 306p. Tese (Doutorado em Filosofia) – Lincoln University, Canterbury, New Zealand.
- BROWN, H.E.; MOOT, D.J.; POLLOCK, K.M. Herbage production, persistence, nutritive characteristics and water use of perennial forages grown over 6 years on a Wakanui silt loam. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.48, p.423-439, 2005.
- BROWN, H.E.; MOOT, D.J.; TEIXEIRA, E.I. Radiation use efficiency and biomass partitioning of lucerne (*Medicago sativa* L.) in a temperate climate. **European Journal Agronomy**, v.25, p.319-327, 2006. Doi: 10.1016/j.eja.2006.06.008
- BRUMMER, E.C.; SHAH, M.M.; LUTH, D. Reexamining the relationship between fall dormancy and winter hardiness in alfalfa. **Crop Science**, n.40, p.971-977, 2000. Doi: 10.2135/cropsci2000.404971x.

- BRUMMER, E.C. Genomic research in alfalfa, *Medicago sativa* L. In: WILSON, R.F.; STALKER, H.T.; BRUMMER, C.E. (Ed.). **Legume Crop Genomics**, AOCS Press, Champaign, Illinois, Chapter 7, 2004.
- CHEN, J.; GAO, C.; DI, G.; et al. Effects of cutting on alfalfa yield and quality in Northeast China. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v.12, n.2, p.253-26, 2013.
- COSTA, N.L.; MORAES, A.; GIANLUPPI, V.; et al. Acúmulo de forragem e eficiência de utilização da radiação em pastagens de *Axonopus aureus*, durante o período seco, nos cerrados de Roraima. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.5, n.2, p.143-147, 2011.
- CUNNINGHAM, S.M.; GANA, J.A.; VOLENEC, J.J.; et al. Winter hardiness, root physiology and gene expression in successive fall dormancy selection of “Mesilla” and “CUF 101” alfalfa. **Crop Science**, v.41, p.1091-1098, 2001.
- DAVIS, A. The Regrowth of grass swards. In: JONES, M. B.; LAZENBY, A. (Eds.). **The Grass Crop**, Chapman and Hall Ltda, London, chap.3, p.85-127, 1988.
- FÉDIÈRE, G.; EL-SHEIKH, M. A. K.; MERGAWY R. E.; et al. Record of densoviral diseases occurring among the noctuid populations in lucerne field at El-Bahareya oasis in Egypt. **Insect Pathogens and Insects Parasitic Nematodes**, v.26, n.1, p.237-240, 2003.
- FRANÇA, S.; ROSA, L. M. G.; BERGAMASCHI, H.; et al. Radiação fotossinteticamente ativa e sua relação com a radiação solar global em dossel de alfafa, em função do índice de área foliar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.2, p.147-153, 1997.
- GASTAL, F.; LEMAIRE, G. Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilization in pasture: review of the underlying ecophysiological process. **Agriculture**, v.5, p.1146-1171, 2015. Doi: 0.3390/agriculture5041146
- GRAMSHAW, D.; LOWE, K.F.; LLOYD, D.L. Effect of cutting interval and winter dormancy on yield, persistence, nitrogen concentration, and root reserves of irrigated lucerne in the Queensland subtropics. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.33, p.847-854, 1993.
- GOSSE, G.; LEMAIRE, G.; CHARTIER, M.; et al. Structure of a lucerne population (*Medicago sativa* L.) and dynamics of stem competition for light during regrowth. **Journal of Applied Ecology**, v.25, p.609-617, 1988.
- HAAGENSON, D.M.; CUNNINGHAM, S.M.; VOLENEC, J.J. Root physiology of less fall dormant, winter hardy alfalfa selections. **Crop Science**, v.43, p.1441-1447, 2003.

- HAN, Q.; MENG, H.; JIA, Z.; et al. Characteristics of endogenous hormone variations in the roots of alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars of different fall dormancy during spring regrowth stages. **Agriculture science in China**, v.10, n.7, p.1032-1040, 2011.
- HARVEY, B.M.; WIDDUP, K.H.; BARRETT, B.A. An evaluation of lucerne for persistence under grazing in New Zealand. In: **Proceeding of ...**, Alexandra, New Zealand, 2014.
- JÁUREGUI, J.M.; MILLS, A.; BLACK, D.B.S.; et al. Yield components of lucerne were affected by sowing dates and inoculation treatments. **European Journal of Agronomy**, v.103, p.1-12, 2019. Doi: 10.1016/j.eja.2018.10.005
- KALLENBACH, R.L.; NELSON, C.J.; COUTTS, J.H. Yield, quality, and persistence of grazing- and hay-type alfalfa under three harvest frequency. **Agronomy Journal**, v.94, p.1094-1103, 2002.
- KHAITI, M.; LEMAIRE, G. Dynamics of shoot and root growth of lucerne after seeding and after cutting. **European Journal of Agronomy**, v.1, n.4, p.241-247, 1992.
- LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. Tissue flows in grazed plant communities. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A.W. (Eds.). **The ecology and management of grazing systems**, CABI, Wallingford, p.3-36, 1996.
- LEMAIRE, G.; DURAND, J.L.; LILA, M. Effet de la sécheresse sur la valeur énergétique et azotée de la luzerne (*Medicago sativa* L.). **Agronomie**, v.9, n.9, p.841-848, 1989.
- LEMAIRE, G.; AGNUSDEI, M. Leaf tissue turnover and efficiency of herbage utilization. In: LEMAIRE, G., HODGSON, J., DE MORAES, A., DE CARVALHO, P.C.F., NABINGER, C. (Eds.). **Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology**; CABI Publishing, Wallingford, UK, p.265–287, 2000.
- LEMAIRE, G.; SINCLAIR, T.; SADRAS, V.; BÉLANGER, G. Allometric approach to crop nutrition and implications for crop diagnosis and phenotyping. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, p.39-27, 2019. Doi: 10.1007/s13593-019-0570-6
- LI, X.; ALARCON-ZUNIGA, B.; KANG, J.; et al. Mapping fall dormancy and winter injury in tetraploid alfalfa. **Crop Science**, v.55, p.1995-2011, 2015.
- LIANG, S.; ZHANG, X.; XIAO, Z.; et al. Incident Photosynthetic Active Radiation. In: LIANG, S.; ZHANG, X.; XIAO, Z.; CHENG, J.; LIU, Q.; ZHAO, X. (Eds.). **Global Land Surface Satellite (GLASS) Products**. Springer, New York. 2014. Doi: 10.1007/978-3-319-02588-9_6.
- MAAMOURI, A.; LOURAN, G.; BÉGUIER, V.; et al. Performance of lucerne genotypes for biomass production and nitrogen content differs in monoculture and in

- mixture with grasses and is partially predicted from traits recorded on isolated plants. **Crop & Pasture Science**, v.68, n.11, p.942-951, 2017.
- MATTERA, J.; ROMERO, L. A.; CUATRIN, A. L.; et al. Yield components, light interception and radiation use efficiency of Lucerne (*Medicago sativa* L.) in response to row spacing. **European Journal of Agronomy**, v.45, p.87-95, 2013.
- MITCHELL, M.L.; CLARCK, S.G.; BUTLER, K.L.; et al. Harvest initial affects lucerne (*Medicago sativa* L.) taproot total yield, starch, nitrogen and water-soluble carbohydrates. **Journal of Agronomy, Crop Science**, v.0, p.1-11, 2020. Doi: 10.1111/jac.12397
- MOOT, D.J.; TEIXEIRA, E.I.; BROWN, H. Alfalfa. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2012.
- PEMBLETOM, K.G.; CUNNINGHAM, S.M.; VOLENEC, J.J. Effects of summer irrigation on seasonal changes in taproot reserves and the expression of winter dormancy/activity in four contrasting lucerne cultivars. **Crop & Pasture Science**, v.61, p.873-884, 2010. Doi: 10.1071/CP10030
- RADCLIFFE, J.E.; BAARS, J.A. The productivity of temperate grasslands. In: SNAYDON, R. W. (Eds). **Ecosystems of the world**. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands. 1987.
- RADIN, B.; BERGAMASCHI, H.; REISSER JUNIOR, C.; et al. Eficiência no uso de radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do tomateiro em diferentes ambientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.9, p.1017-1023, 2003.
- RASSINI, J. B. Alfafa (*Medicago sativa* L.): estabelecimento e cultivo no Estado de São Paulo. In: BARBOSA, R.; et al. (Ed.). Utilização de forrageiras para intensificação da produção de carne e leite. **Anais...**, EMBRAPA – Pecuária Sudeste, São Carlos, São Paulo, p.140, 1999.
- RASSINI, J.B.; FERREIRA, R.P.; COMERO, E.A.; et al. Manejo da forragem. In: FERREIRA, R.P.; VILELA, D.; COMERON, E.A.; et al. (Ed.). **Cultivo e utilização de alfafa na alimentação de vacas leiteiras**. EMBRAPA, Brasília, p.47-51, 2015.
- RIMI, F.; MACOLINO, S.; LEINAUER, B.; et al. Fall dormancy and harvest stage impact on alfalfa persistence in a subtropical climate. **Agronomy Journal**, v.106, n.4, p.1258-2014, 2014.
- RUSSELE, M.P. Alfalfa: after 80,000-year journey, the “Queen of Forages” stands poised to enjoy renewed popularity. **American Scientist**, v.89, n.3, p.252-261, 2001.
- SAIBRO, J.C. Produção de alfafa no Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM. **Anais...**, Piracicaba: FEALQ, p. 61-106, 1985.

- SEPPÄNEN, M. M.; ALITALO, V.; BACKSTROM, H. K.; et al. Growth, freezing tolerance, and yield performance of alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars grown under controlled and field conditions in northern latitudes. **Canadian Journal of Plant Science**, v.98, p.1109-1118, 2018.
- SHIH, S.C.; JUNG, G.A.; SHELTON, D.C. Effects of temperature and photoperiod on metabolic changes in alfalfa in relation to cold hardiness. **Crop Science**, v.7, p.385-389, 1967.
- TA, H.T.; TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J. Impact of autumn (fall) dormancy rating on growth and development of seedling Lucerne. **Journal of New Zealand Grasslands**, v.78, p.169-176, 2016.
- TA, H.; TEIXEIRA, E.I.; BROWN, H.E.; et al. Yield and quality changes in lucerne of different fall dormancy rates under three defoliation regimes. **European Journal of Agronomy**, v.115, 2020. Doi: 10.1016/j.eja.2020.126012
- TABACCO, E.; BORREANI, G.; ODOARDI, M.; et al. Effect of cutting frequency on dry matter yield and quality of lucerne (*Medicago sativa* L.) in the Po Valley. **Italian Journal of Agronomy**, v.6, n.1, p.27-33, 2002.
- TEIXEIRA, E. I.; MOOT, D. J.; BROWN, H. E.; et al. The dynamics of lucerne (*Medicago sativa* L.) yields components in response to defoliation frequency. **European Journal of Agronomy**, v.26, p.394-400, 2007a. Doi: 10.1016/j.eja.2006.12.005
- TEIXEIRA, E. I.; MOOT, D. J.; MICKELBART, M. V. Seasonal patterns of root C and N reserves of lucerne crops (*Medicago sativa* L.) grown in a temperate climate were affected by defoliation regimes. **European Journal of Agronomy**, v.26, p.10-20, 2007b. Doi: 10.1016/j.eja.2006.08.010
- TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J.; BROWN, H.E.; et al. How does defoliation management impact on yield, canopy forming process and light interception of lucerne (*Medicago sativa* L.) crops? **European Journal of Agronomy**, v.27, p.154-164, 2007c. Doi: 10.1016/j.eja.2007.03.001
- TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J.; BROWN, H.E. Defoliation frequency and season affected use radiation efficiency and dry matter partitioning to roots of lucerne (*Medicago sativa* L.) crops. **European Journal of Agronomy**, v.28, n.2, p.103-111, 2008. Doi: 10.1016/j.eja.2007.05.004
- TEIXEIRA, E.I.; BROWN, H.E.; MEENKEN, E.D.; et al. Growth and phenological development patterns differ between seedling and regrowth lucerne crop (*Medicago sativa* L.). **European Journal of Agronomy**, v.35, p.47-55, 2011. Doi: 10.1016/j.eja.2011.03.006
- VENTRONI, L.M.; VOLENEC, J.J.; CANGIANO, C.A. Fall dormancy and cutting frequency impact on alfalfa yield and yields components. **Field Crop Research**, v.119, p.252-259, 2010. Doi: 10.1016/j.fcr.2010.07.015

- VERONESI, F.; BRUMMER, E.C.; HUYGHE, C. Alfalfa. In: BOLLER, B.; POSSELT, U.K.; VERONESI, F. (Eds.). **Fodder crops and amenity grasses**, Handbook of Plant Breeding, v.5, Springer, New York, 2010. Doi: 10.1007/978-1-4419-0760-8_17
- VILELA, D.; FERREIRA, R. P.; RODRIGUES, A. A.; et al. Prioridades de pesquisa e futuro da alfafa no Brasil. In: FERREIRA, R. D. P. et al (Ed.). **Cultivo e utilização de alfafa nos trópicos**. São Carlos: EMBRAPA Pecuária Sudeste, 489 p., 2008.
- YODA, K. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivate or natural conditions (Intraspecific competitions among higher plants). **Journal of the Institute Polytechnic of Osaka**, v.14, p.107-129, 1963.
- WANG, C.; MA, B.L.; YAN, X.; et al. Yields of alfalfa varieties with different fall-dormancy levels in temperate environment. **Agronomy Journal**, v.101, n.5, p.1146-1152, 2009.
- WELLER, D. E. Self-thinning exponent correlated allometric measures of plant geometry. **Ecology**, v.68, n.4, p.813-821, 1987. Doi: 10.2307/1938352

3 PRODUÇÃO, ESTRUTURA E VALOR NUTRITIVO DE DOSSEIS DE ALFAFA COM DIFERENTES NÍVEIS DE DORMÊNCIA SUBMETIDOS A DISTINTOS INTERVALOS ENTRE DESFOLHAÇÕES

RESUMO

A produção e estrutura do dossel forrageiro são características moduladas por diversas ações, dentre elas as características genótípicas das plantas e o manejo de desfolhação ao longo dos anos. O objetivo com este estudo foi compreender os processos relacionados à produção de matéria seca (MS), crescimento e desenvolvimento das plantas e composição do dossel forrageiro, com efeitos no valor nutritivo, em resposta aos níveis de dormência e manejo de desfolhação em alfafas ao longo de cinco anos de cultivo. O estudo foi desenvolvido na área experimental da Lincoln University, na região de Canterbury, Nova Zelândia, entre os anos de 2015 e 2019. O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, com três parcelas (intervalos entre desfolhações - CF), três subparcelas (nível de dormência das plantas - FD) e quatro repetições. Os intervalos entre desfolhações foram de 28 dias (CF 28), 42 dias (CF 42) e 84 dias (CF 84) combinados com níveis FD2 (AgR Palatable), FD5 (Grassland Kaituna) e FD10 (SARDI 10), totalizando 9 tratamentos. As avaliações se iniciaram após a estabilização da pastagem em fevereiro de 2015, e encerraram em abril de 2019, e se resumiram à coleta de material vegetal aéreo e subterrâneo nos momentos de corte, determinação de MS da parte aérea, obtenção da relação folha:haste e análise do valor nutritivo dos componentes, contagem de plantas e hastes a partir do material radicular, cálculo de peso individual de hastes (PIH) e da taxa de crescimento linear aéreo das plantas. Entre os níveis de dormência, o FD10 apresentou redução brusca ($P < 0,05$) na produção de MS ao longo dos anos, enquanto que o FD2 e FD5 tiveram reduções gradativas com totais acumulados de 56,8 t ha⁻¹ de MS (FD2), 58,4 t ha⁻¹ de MS (FD5) e 51,7 t ha⁻¹ de MS (FD10). Entre os intervalos entre desfolhações, CF 42 e CF 84 tiveram produções superiores ($P < 0,05$) a partir de 2015/16. A principal razão para tais resultados em CF 28 foi o declínio populacional de plantas, com menor taxa de sobrevivência para o FD10 (com média de 7% ao final do experimento). Em CF 42 e CF 84 a menor produção de MS foi uma combinação de efeitos na população de plantas e PIH (interceptos superiores a 1 g MS haste⁻¹). O manejo foi o principal fator sobre as características

nutritivas. Com menor digestibilidade do CF 84 (73% para folhas, 54% para hastes macias e 38% para hastes duras), em função do efeito quadrático da produção de folhas com relação à produção de MS, e aumento das estruturas lignificadas com esse processo. O CF 42 foi o manejo mais apropriado, independentemente do nível de dormência da alfafa, com resultados produtivos satisfatórios para a condição hídrica das plantas, associados ao valor nutritivo e persistência. Dentre os níveis de dormência, FD2 e FD5 obtiveram melhor equilíbrio entre as variáveis de interesse, como produção, persistência e valor nutritivo. O uso da FD10 deve ser limitado aos primeiros dois anos de cultivo, com posterior replantio da espécie.

Palavras-chave: digestibilidade, energia metabolizável, peso individual de hastes, persistência, população de plantas, relação folha:haste.

SHOOT YIELD, CANOPY STRUCTURE AND NUTRITIONAL QUALITY OF LUCERNE WITH DIFFERENT LEVELS OF DORMANCY UNDER CONTRASTING DEFOLIATION FREQUENCIES

ABSTRACT

Shoot yield and canopy structure are characteristics modulated by different actions, as genetic characteristics and defoliation frequency over the years. This work aimed to understand the process related to shoot yield, plant growth and development and canopy composition, with effects on nutritional quality, in response to genotypes and defoliations over five years. The experiment was performed at Lincoln University, Canterbury, New Zealand, between 2015 and 2019. The experimental design was in blocks, with three main plots (defoliation frequencies – CF); three sub plots (fall dormancy levels – FD) and four replications. The defoliation frequencies were at every 28 days (CF 28), 42 days (CF 42) and 84 days (CF 84), in genotypes FD2 (AgR Palatable), FD5 (Grassland Kaituna) and FD10 (SARDI 10). The analyses started after the canopy establishment phase, in January 2015 and finished in April 2019, and consisted of above and below ground samplings at the defoliation time, to determine shoot yield, leaf:stem ratio, botanical components nutritional quality, plant and shoot density from the perennial material, individual shoot mass (ISM) and above ground linear growth rate. Among genotypes, FD10 showed a sharp fall ($P<0.05$) on shoot yield over the years, while FD2 and FD5 had a more subtle decrease. Among the defoliation frequencies, CF 42 and CF 84 had greater ($P<0.05$) shoot yield from 2015/16. The main reason for CF 28 was the decrease of plant population, with lower ($P<0.05$) survival index for FD10. On CF 42 and CF 84 the shoot yield reduction was a combination of plant population decrease and ISM (intercepts higher than 1 g DM shoot⁻¹). The defoliation was the main factor on nutritional differences, with lower ($P<0.05$) digestibility in CF 84 (73% to leaves, 54% to soft stems and 38% to hard stems), due to the quadratic leaf yield behavior with the increase on shoot yield, and increase of lignify structures within this process. The CF 42 was the more adequate defoliation frequency, associated with nutritional parameters and lucerne persistence. Among genotypes, FD2 and FD5 had the best balance between the yield and quality. The FD10 use must be limited to the two initial years with subsequent area reform.

Keywords: digestibility, individual shoot weight, leaf:stem ratio, metabolizable energy, persistence, plant population.

3.1 Introdução

Historicamente, a alfafa tem sido manejada de acordo com seu desenvolvimento morfológico, o ponto mais recomendado de desfolhação é aos 10% de florescimento do alfafal, praticado ao redor do mundo (BERONE et al., 2020; DOUGLAS, 1986), mas também pela altura do dossel forrageiro (HAKL et al., 2012; ISON et al., 2020). Tais tecnologias foram desenvolvidas objetivando o máximo de oferta de forragem aos animais. Em consequência, tem-se baixa digestibilidade e menor retorno financeiro. Por outro lado, a alta frequência de desfolhação na alfafa gera pastagens mais digestíveis e de mais alto valor nutritivo, com produção acumulada variando conforme o número de rebrotes, menor persistência devido à frequente demanda pelas reservas perenes para o rebrote (RIMI et al., 2010) e necessidade de reforma da pastagem antecipada.

Os genótipos da alfafa, por si só, causam um grande impacto nas principais características agronômicas, devido à adaptabilidade às condições ambientais, como fotoperíodo, temperatura e disponibilidade de água (RIMI et al., 2010); tais genótipos são classificados de acordo com seu nível de dormência invernal (FD). Na Nova Zelândia os genótipos mais comuns são o Wairau (FD4) e o Kaituna (FD5) (MOOT et al., 2003) devido à sua tolerância a estiagem e perenidade (BROWN et al., 2006). Contudo, alguns estudos têm demonstrado genótipos menos dormentes como mais produtivos nos anos iniciais (VENTRONI et al., 2010; TA et al., 2020). Tal dualidade leva produtores a cultivarem genótipos não dormentes devido à sua produção mais imediata, mas dependendo dos tratos culturais isso leva à degradação antecipada da pastagem pela menor sobrevivência ao longo dos anos (CORUH & TAN, 2010).

A hipótese foi de obter melhor equilíbrio entre produtividade e valor nutritivo na frequência de corte de 42 dias, com maior perenidade em pastagens com níveis de dormência FD2 e FD5, o que resultaria em maior produtividade para tais níveis de dormência.

Este capítulo visa quantificar as características agronômicas, tais como produção de massa, relação folha:haste, demografia do dossel e valor nutritivo de alfafa com diferentes níveis de dormência, sob três intervalos entre desfolhações ao prazo de cinco anos em clima temperado.

3.2 Material e métodos

Caracterização da área

O experimento foi conduzido no Field Research Centre (FRC) pertencente a Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia (43°38'S e 172°8'L, 10 m) em área de 0,61ha (135 x 45 m) localizada no piquete 12 do Iversen Field (I12). O solo é classificado como “Wakanui silt loam” (Aquic Haplustept, USDA Soil Taxonomy), caracterizado como um solo jovem e pálido, seco no verão e úmido no inverno (HEWITT, 2010). Seu perfil é composto por 0,3 m de superfície densa e argilosa, com horizontes arenosos de profundidade de 2 a 3 m. Essa distribuição de horizontes resulta em uma camada superficial de alta densidade e baixa drenagem. A concentração de água disponível varia de 120 a 180 mm m⁻¹ (WEBB et al., 2000).

O clima na região de Canterbury é caracterizado por pluviosidade anual de aproximadamente 640 mm, com estação de chuvas definida (Tabela 3.2.1). A temperatura média anual é 11,4 °C com variação mínima de 6,4 °C em junho e máxima de 16,6 °C em janeiro. Os dados meteorológicos da área experimental foram coletados na Estação Meteorológica Broadfields (NIWA, Instituto Nacional de Águas e Pesquisas Atmosféricas, Nova Zelândia), localizada a 2 km ao norte da área experimental.

Tabela 3.2.1 Médias mensais de 2014 a 2019 de radiação solar total (R_0), temperatura máxima ($T_{\max}$), mínima ($T_{\min}$) e média (T_{med}) do ar; médias históricas de 1960 a 2019 de evapotranspiração potencial (ET_p), pluviosidade total e velocidade do vento mensurados na estação meteorológica Broadfield.

	Período experimental				Médias históricas		
	R_0 (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	$T_{\max}$ (°C)	$T_{\min}$ (°C)	$T_{\text{média}}$ (°C)	ET_p (mm)	Pluviosidade (mm)	Vento (km dia ⁻¹)
Jan	22,37	22,68	12,12	17,15	1,56	49,41	4,60
Fev	20,16	23,24	11,57	16,97	1,45	42,64	4,28
Mar	14,13	20,50	10,79	15,25	1,71	52,15	3,95
Abr	9,11	17,26	7,58	12,32	3,05	56,13	3,75
Mai	6,24	15,47	4,88	10,17	1,56	56,93	3,40
Jun	4,59	12,39	2,92	7,53	1,56	61,65	3,02
Jul	5,55	11,78	2,06	6,90	1,63	60,85	3,53
Ago	8,10	12,45	2,48	7,60	1,00	61,13	3,53
Set	12,41	14,30	4,96	9,61	1,29	39,87	4,15
Out	18,10	17,54	6,23	11,81	1,08	47,79	4,22
Nov	22,40	19,21	7,93	13,56	1,33	50,03	4,24
Dez	22,90	21,01	10,71	15,70	1,39	51,67	4,64
Média anual	14,05	17,53	7,28	12,31	1,56	52,52	3,96

As médias mensais de precipitação e Penmann evapotranspiração potencial estão na Figura 3.2.1.

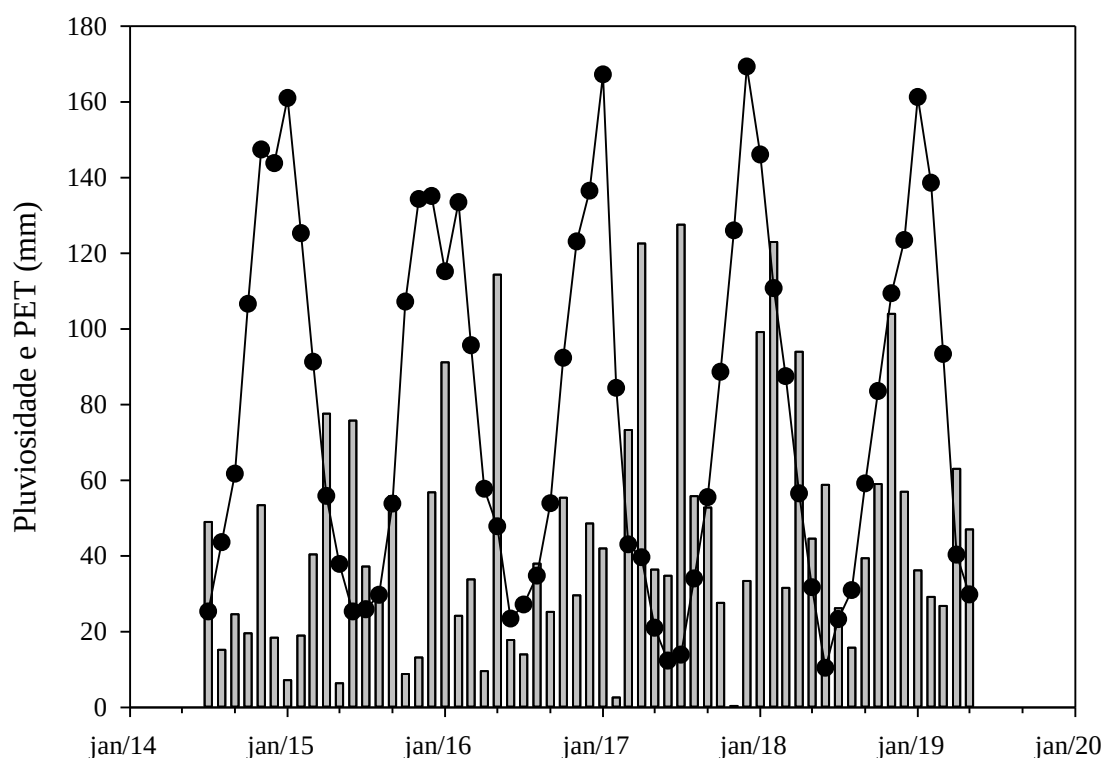


Figura 3.2.1 Pluviosidade mensal acumulada (mm - colunas) e Penmann evapotranspiração potencial (PET; mm - pontos) para o período de junho de 2014 a maio de 2019 na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Dados coletados na Estação Meteorológica Broadfield.

Os valores para graus-dia (T_t , $^{\circ}\text{Cd}^{-1}$) foram derivados da temperatura do ar utilizando o modelo “broken-stick threshold” (Figura 3.2.2) com temperatura basal igual a 1°C (T_b). Sendo assim o modelo calcula temperaturas do ar abaixo de 1°C são iguais a zero (MOOT et al., 2001). Esse modelo acumula $0,71^{\circ}\text{Cd}^{-1}$ por grau entre T_b e 15°C , a partir de então passa a acumular 1°Cd^{-1} por grau até os 30°C (T_o). Acima de T_o os graus-dia decaem linearmente a zero até os 40°C (T_m) (MOOT et al., 2001). O acumulado de graus-dia foi calculado pela soma de graus-dia de cada ciclo de rebrote, a cada ano de rebrote ou durante todo o experimento.

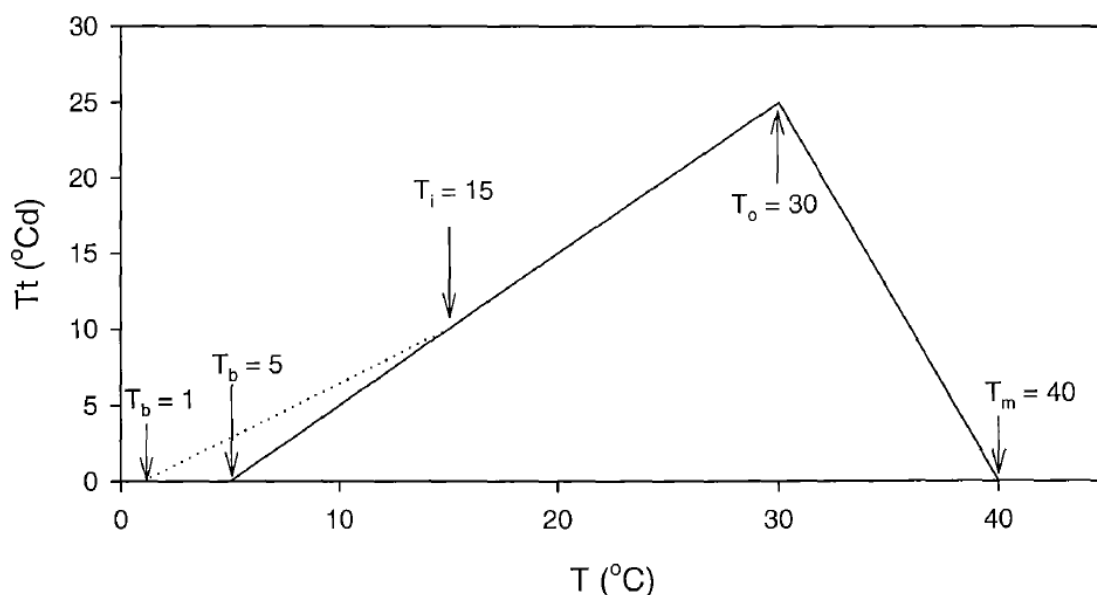


Figura 3.2.2 Modelo de cálculo para a obtenção de graus-dia de acordo com a temperatura do ar.

A linha tracejada representa o modelo com T_b igual a 1°C , enquanto que a linha contínua representa o modelo com T_b igual a 5°C . Fonte: Moot et al. (2001).

Histórico da área

Entre 2010 e 2011, a área foi utilizada para produção de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) e couve forrageira (*Brassica oleracea* ss. *Acephala*). Em setembro de 2011, ocorreu semeadura de colza (*Brassica napus* L.), e em abril de 2012, a ressemeadura de colza consorciada com centeio (*Secale cereale* L.), com cultivo subsequente de azevém anual 'ARI'. Em agosto de 2014, ocorreu aplicação de herbicida (Roundup 360, glifosato; $720 \text{ g a.i ha}^{-1}$) seguida por manejo de descompactação do solo em 2, 9 e 10 de setembro e 5 de outubro.

Em outubro de 2014, antes da semeadura, foi realizada análise da fertilidade do solo baseada em amostra composta de 20 sub amostras homogeneizadas de solo (0-150 mm de profundidade) coletadas aleatoriamente na área (Tabela 3.2.2). Baseado nesta análise, nenhuma correção de solo foi necessária. Em agosto de 2016, a análise foi repetida com a coleta de 20 sub amostras de solo por parcela. Esta última análise indicou deficiência de fósforo (P) e enxofre ($\text{S}(\text{SO}_4)$) com a aplicação de 350 kg ha^{-1} de superfosfato extra (0:9:11, NPK) para correção realizada no dia 18 de agosto de 2016.

Tabela 3.2.2 Resultados de análise de solo da área I12 na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia nos períodos de 2014 e 2016.

Local	K	Ca	Mg	Na	P	S(SO ₄)	pH _{água}
	-----cmol dm ⁻³ -----				mg L ⁻¹	mg kg ⁻¹	
<i>Outubro de 2014</i>							
Norte	0,28	7,2	0,86	0,13	13	3	5,9
Sul	0,39	7,0	0,76	0,12	16	3	5,8
<i>Agosto de 2016</i>							
CF 28	0,25	6,4	0,80	0,20	10	5	5,9
CF 42	0,29	7,2	0,90	0,22	9	6	5,8
CF 84	0,30	7,1	0,86	0,20	9	8	5,9
*Exigência mínima	0,26	-	0,34	-	15-20	11	5,3

*De acordo com Morton e Roberts, 1999. Dados de Norte e Sul representam as coordenadas geográficas dentro da área experimental.

Delineamento experimental e manejo da pastagem

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) com parcelas subdivididas, com três intervalos entre desfolhações (CF 28 dias, CF 42 dias e CF 84 dias) representaram as parcelas principais, e três diferentes níveis de dormência de alfafa: dormente (cv. AgR Palatable; FD2), semi dormente (cv. Grassland Kaituna; FD5) e extremamente não dormente (SARDI 10; FD10), compreenderam as subparcelas. O delineamento resultou em 9 tratamentos com 4 repetições, totalizando 36 parcelas (20 x 4,2 m) (Apêndice 1). A semeadura da alfafa ocorreu em 8 de outubro de 2014, as sementes inoculadas (Nodule®) foram distribuídas em densidades de 15,1; 11,8 e 11,1 kg ha⁻¹. Esta diferença foi em decorrência da taxa de germinação diferenciada de cada nível de dormência, objetivando uma germinação padrão de 10 kg ha⁻¹. O período de estabilização da pastagem terminou em 25 de janeiro de 2015, quando as hastes previamente marcadas atingiram 80% de florescimento, e então foi realizado corte de homogeneização da área a 5 cm de altura. A partir deste momento, os tratamentos foram rebaixados de acordo com os intervalos entre desfolhações. Os dados da fase de estabelecimento foram descritos por Ta et al. (2016).

O rebaixamento da pastagem para os tratamentos CF 28 e CF 42 consistiu no corte a 5 cm do solo usando um triturador de forragem Fieldmaster acoplado em trator munido de carreta forrageira. A altura de corte das plantas foi determinada para prevenir danos na coroa e garantir o corte de toda a biomassa aérea, evitando hastes residuais para o próximo ciclo de crescimento. O rebaixamento do tratamento CF 84 foi

geralmente sincronizado aos demais tratamentos e, devido às suas hastes mais grossas e firmes, foram realizados pastejo de ovelhas e/ou cordeiros por 3-5 dias, com subsequente corte de homogeneização das hastes restantes a 5 cm de altura do solo. A carga animal variou de acordo com a necessidade de remoção da matéria verde num período de 3-5 dias, utilizando a técnica “put-and-take” (MOTT & LUCAS, 1952). O período experimental foi de cinco anos, de outubro de 2014 a maio de 2019. Este período incluiu a fase de estabelecimento além de cinco estações de rebrotação, nas quais os intervalos entre desfolhações (CF) foram aplicados (Tabela 3.2.3).

Tabela 3.2.3 Período experimental para fase de estabelecimento e manejo de desfolhação de alfafa com níveis contrastantes de dormência na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Fase	Ano de rebrote	Duração experimental
Fase de estabelecimento	2014	De outubro de 2014 a janeiro de 2015 (110 dias)
1° rebrote	2015	De janeiro de 2015 a agosto de 2015 (188 dias)
2° rebrote	2015/16	De setembro de 2015 a maio de 2016 (255 dias)
3° rebrote	2016/17	De Julho de 2016 a abril de 2017 (283 dias)
4° rebrote	2017/18	De Julho de 2017 a abril de 2018 (277 dias)
5° rebrote	2018/19	De julho de 2018 a maio de 2019 (297 dias)

Controle de invasoras

Nos dois primeiros meses pós-emergência das plântulas, foi realizado controle manual de invasoras conforme necessário. Na primavera de 2015, o trevo branco (*Trifolium repens*) invadiu a área experimental, principalmente no tratamento CF 28. Para tanto, após coleta e rebaixamento destas parcelas, o herbicida Classic® (Chlorimuron-ethyl; 30 a.i ha⁻¹) foi aplicado nas parcelas referentes ao tratamento CF 28 (8 de outubro de 2015). No inverno de 2016, Nu-Trazine 900DF (Atrazina; 720g a.i ha⁻¹) foi aplicado em toda a área experimental para controle de azevém perene (*Lolium perene* L.), capim-galinha (*Poa annua* L.) e azevém anual.

A aplicação de Classic® para controle de trevo branco foi repetida em 11 de dezembro de 2017, 7 de maio de 2018, 26 de outubro de 2018 e 4 de dezembro de 2018. Em 30 de outubro de 2018, NuTrazine 900DF foi aplicado novamente para controle de língua de vaca (*Rumex obtusifolius* L.).

Irrigação e quantidade de água no solo

Do Ano 1 ao Ano 4, a exigência de irrigação foi calculada com base no déficit de umidade dos perfis do solo máximo de 250 mm, para evitar estresse hídrico. No Ano 5, a irrigação foi aplicada com base na necessidade de umedecer o solo e facilitar a coleta das raízes nas datas pré-estipuladas. Para tanto, utilizou-se sistema de irrigação por aspersão utilizando aspersor móvel automático calculado para aplicar de 6 a 8 mm/h de água (Tabela 3.2.4).

A quantidade de água contida no solo foi mensurada a cada 15 dias utilizando Tubos de Sonda de Nêutrons (Neutron Probe Tubes, Troxler Electronic Industries, Inc., Research Triangle Park, Carolina do Norte, EUA) em profundidade de 0,2 a 2,0 m. Os tubos foram alocados em quatro pontos da área experimental, em piquete FD5 CF 42, considerada uma situação intermediária entre os tratamentos, sem tendências de extremos. A partir dos dados obtidos destas mensurações, um modelo simulado foi ajustado utilizando dados de precipitação (pluviosidade e irrigação) e drenagem do solo (BROWN, 2004; TEIXEIRA, 2006) (Figura 3.2.3).

Tabela 3.2.4 Irrigação aplicada no piquete I12 no Field Research Centre, Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia, de 2015 a 2019.

Data de início	Data de término	Quantidade (mm)
<i>Primeiro ano de rebrote</i>		
13/01/15	14/01/15	52
31/03/15	01/4/15	42
Total		94
<i>Segundo ano de rebrote</i>		
03/11/15	04/11/15	38
26/11/15	27/11/15	40
30/12/15	02/01/16	40
13/01/16	13/01/16	50
11/02/16	11/02/16	60
23/03/16	23/03/16	45
11/04/16	11/04/16	45
26/04/16	26/04/16	45
13/05/16	15/05/16	45
Total		408
<i>Terceiro ano de rebrote</i>		
08/12/16	09/12/16	60
09/01/17	10/01/17	60
22/02/17	23/02/17	60
05/03/17	06/03/17	60
Total		240
<i>Quarto ano de rebrote</i>		
12/11/17	13/11/17	40
20/11/17	21/11/17	40
29/11/17	30/11/17	30
13/12/17	14/12/17	30
14/02/18	15/02/18	30
20/02/18	21/02/18	30
Total		200
<i>Quinto ano de rebrote</i>		
10/10/18	11/10/18	30
12/11/18	13/11/18	30
07/01/19	08/01/19	30
28/01/19	29/01/19	90
07/02/19	07/02/19	30
18/02/19	20/02/19	90
22/02/19	22/02/19	30
07/03/19	08/03/19	60
Total		390

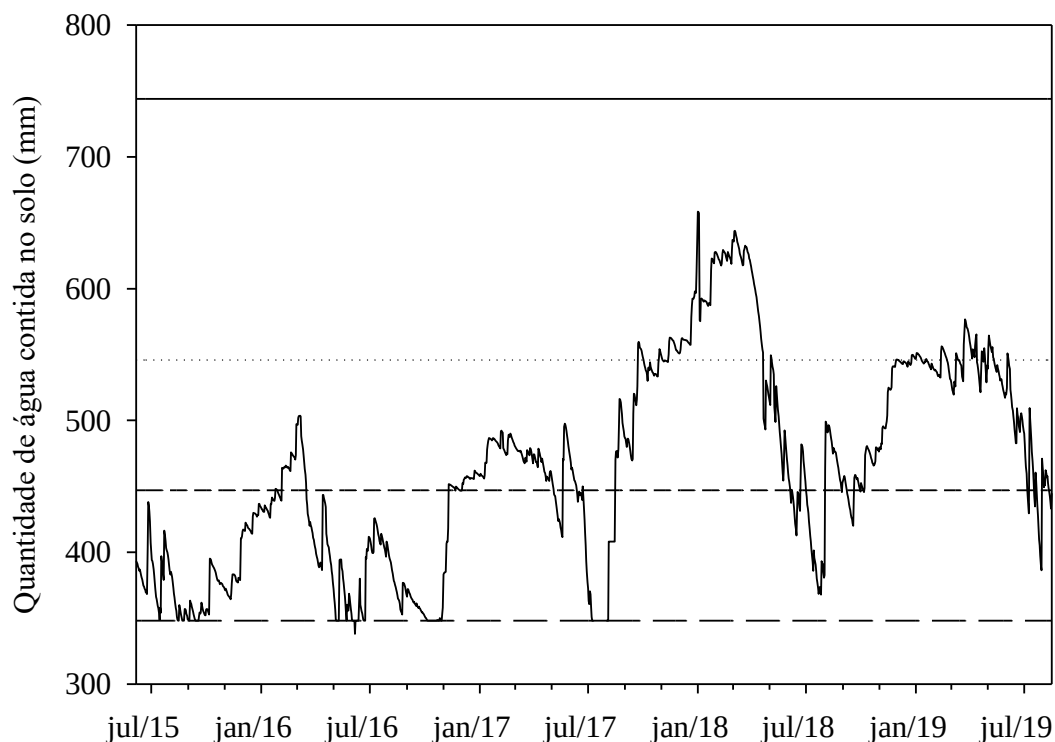


Figura 3.2.3 Quantidade total de água contida no solo (mm) do piquete 12 do Iversen Field por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

A linha sólida superior representa o limite máximo de contenção de água (744 mm); a linha pontilhada representa 75% da capacidade potencial de disponibilidade de água para as plantas (PAWC); a linha de traços curtos representa 50% da PAWC; a linha de traços longos representa o ponto de murcha permanente (348 mm).

Coleta de amostras e mensurações

A produção de matéria seca forrageira (t ha^{-1} de MS) foi mensurada a partir de coletas do material aéreo de acordo com as datas de corte pré-determinadas para cada intervalo entre desfolhações. Para tanto, foi utilizado um quadrado de ferro de $0,2 \text{ m}^2$ lançado aleatoriamente no piquete, este quadro deveria englobar 4 linhas de plantio das quais as hastes foram cortadas acima do nível da coroa. Utilizando-se da mesma área, o sistema radicular das plantas foi manualmente escavado a aproximadamente 30 cm de profundidade, com o uso de pá. As amostras passaram por triagem inicial para a retirada de solo e impurezas.

As amostras de material aéreo foram identificadas e encaminhadas para sala de separação morfológica. A amostra principal foi separada entre: alfafa, invasora e

material morto. Da amostra principal de alfafa, foram retirados ao acaso 10 hastes e realizada a separação morfológica entre haste dura, haste macia e folha + pecíolo (folha), a classificação entre haste macia e haste dura foi realizada a partir da apalpação da haste (BROWN e MOOT, 2004). As amostras foram secas em estufa com circulação de ar forçado a 55-65 °C por 72 h ou até peso constante.

A partir do peso das amostras secas, foi calculada a produção de alfafa ($t\ ha^{-1}$ de MS), produção dos componentes morfológicos da alfafa ($t\ ha^{-1}$ de MS), relação folha:haste e produção de invasoras ($t\ ha^{-1}$ de MS). As amostras dos componentes morfogênicos foram moídas em moinho de facas do tipo Willey com 01 mm de crivo e armazenadas ao abrigo das intempéries. Ao final do experimento, as amostras de componentes morfológicos dos cortes gerais foram analisadas para a determinação do teor de proteína bruta (PB), digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) e energia metabolizável (EM) em equipamento de espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS).

As amostras de material radicular foram identificadas e encaminhadas para sala de triagem, lavadas com água corrente para a retirada completa de solo e impurezas. Após secas, as amostras foram contadas para determinação de número de plantas por m^2 (planta m^{-2}). Nas coroas foram contados o número de hastes basais para a determinação de número de hastes por planta (hastes planta $^{-1}$) e número de hastes por m^2 (hastes m^{-2}). Baseando-se na produção de alfafa e na população de hastes, calculou-se o peso individual da haste (PIH, g MS haste $^{-1}$).

A taxa de crescimento linear (TCL, kg $ha^{-1}\ dia^{-1}$) foi calculada pela inclinação entre os valores de produção de MS ($t\ ha^{-1}$ de MS) e o acumulado de graus-dia para o ciclo de rebrote.

Em novembro de 2018 e fevereiro de 2019, pouco antes do corte do tratamento CF 28 e, baseando-se no preceito de que todos os tratamentos estavam no mesmo estágio de crescimento (após o corte total da área em outubro de 2018 e janeiro de 2019), duas avaliações visuais foram realizadas. Para tanto, um parâmetro visual foi estipulado baseado no “pior” piquete (escore 1), caracterizado pela baixa população de alfafa, alta infestação de invasoras e plantas aparentemente menos saudáveis. O piquete com escore mais alto (escore 10) foi o que apresentou maior densidade de hastes de alfafa, menor incidência de invasoras. As duas avaliações foram realizadas pela mesma

pessoa para evitar viés. As avaliações visuais foram documentadas com material fotográfico adicional apresentado no Apêndice 2.

Análise estatística

Para analisar os efeitos das parcelas e sub parcelas, foi realizada análise de variância utilizando o PROC GLM, as diferenças significativas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Este teste ainda avaliou as interações entre os efeitos testados, no mesmo nível de significância. Regressões lineares e não lineares foram realizadas pelo PROC REG e PROC NLIN, respectivamente.

Para testar as diferenças dos parâmetros das regressões lineares, foram realizados testes de contrastes ortogonais, usando o PROC GLM. As regressões não lineares tiveram a soma dos quadrados dos resíduos de cada tratamento calculada utilizando variáveis *dummy* (teste de modelo de identidade e parâmetro de igualdade). Os resultados foram utilizados para o cálculo de qui-quadrado de cada parâmetro das equações. Apenas as comparações entre qui-quadrado calculado e qui-quadrado tabelado foram realizadas pelo teste F usando o software R®, versão 4.0.9 ($P=0.05$), e então comparados os parâmetros das regressões.

O cálculo para a determinação do r-quadrado das regressões não lineares foi realizado pela divisão da soma dos quadrados do modelo pela soma dos quadrados totais. Com a exceção da análise entre o qui-quadrado, todas as análises estatísticas foram realizadas no SAS®, University Edition. Os gráficos foram confeccionados no programa SigmaPlot, versão 13.0 (SPPSS, Inc.).

3.3 Resultados e Discussão

Resultados

Não houve interações entre os fatores CF x FD ($P>0,05$) (Tabela 3.3.1). É possível observar dois diferentes cenários durante o experimento, no primeiro ano a média de produção acumulada do FD10 foi superior ($P<0,05$) aos demais em até 2 t ha⁻¹ de MS. Porém, a partir do terceiro ano, tal nível de dormência passou a ser menos ($P<0,05$) produtivo que FD2 e FD5, que acumularam um total de 56,8 t ha⁻¹ MS e 58,4 t

ha⁻¹ MS respectivamente, enquanto que FD10 acumulou 51,7 t ha⁻¹ MS ao final do experimento.

Tabela 3.3.1 Produção de matéria seca acumulada no ano de rebrote e total (t ha⁻¹ de MS) de três níveis de dormência (FD) de alfafa e três intervalos entre desfolhações (CF) durante cinco anos.

	2015	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	Produção total
FD2	4,4 c	13,1	13,1 a	12,7	12,5 a	56,8 a
FD5	5,4 b	14,6	13,0 a	13,0	13,2 a	58,4 a
FD10	6,4 a	12,9	10,9 b	11,3	9,4 b	51,7 b
P valor	<0,0001	0,10	0,02	0,12	0,0001	0,002
EPM	0,2	0,6	0,6	0,6	0,5	1,22
CF 28	5,2 b	7,8 c	6,7 b	9,9 b	8,2 b	37,8 b
CF 42	6,3 a	15,2 b	14,7 a	13,0 a	13,8 a	64,4 a
CF 84	4,7 b	17,5 a	15,5 a	14,2 a	13,0 a	62,9 a
P valor	0,0037	0,0015	<0,0001	0,05	0,0018	<0,0001
EPM	0,2	0,6	0,6	0,6	0,5	1,22
CF x FD						
P valor	0,13	0,21	0,38	0,07	0,15	0,34
EPM	0,30	1,01	1,00	1,04	0,95	2,11

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). EPM = erro padrão da média.

Ao longo dos anos é possível observar os efeitos dos diferentes intervalos entre desfolhações sobre a produção de MS acumulada (Figura 3.3.1). O menor intervalo entre desfolhações teve a menor produção a partir do segundo ano de estudo, quando tal CF apresentou média de 7,8 t ha⁻¹ de MS, aproximadamente a metade dos demais intervalos entre desfolhações (15,2 t ha⁻¹ de MS para CF 42, e 17,5 t ha⁻¹ de MS para CF 84).

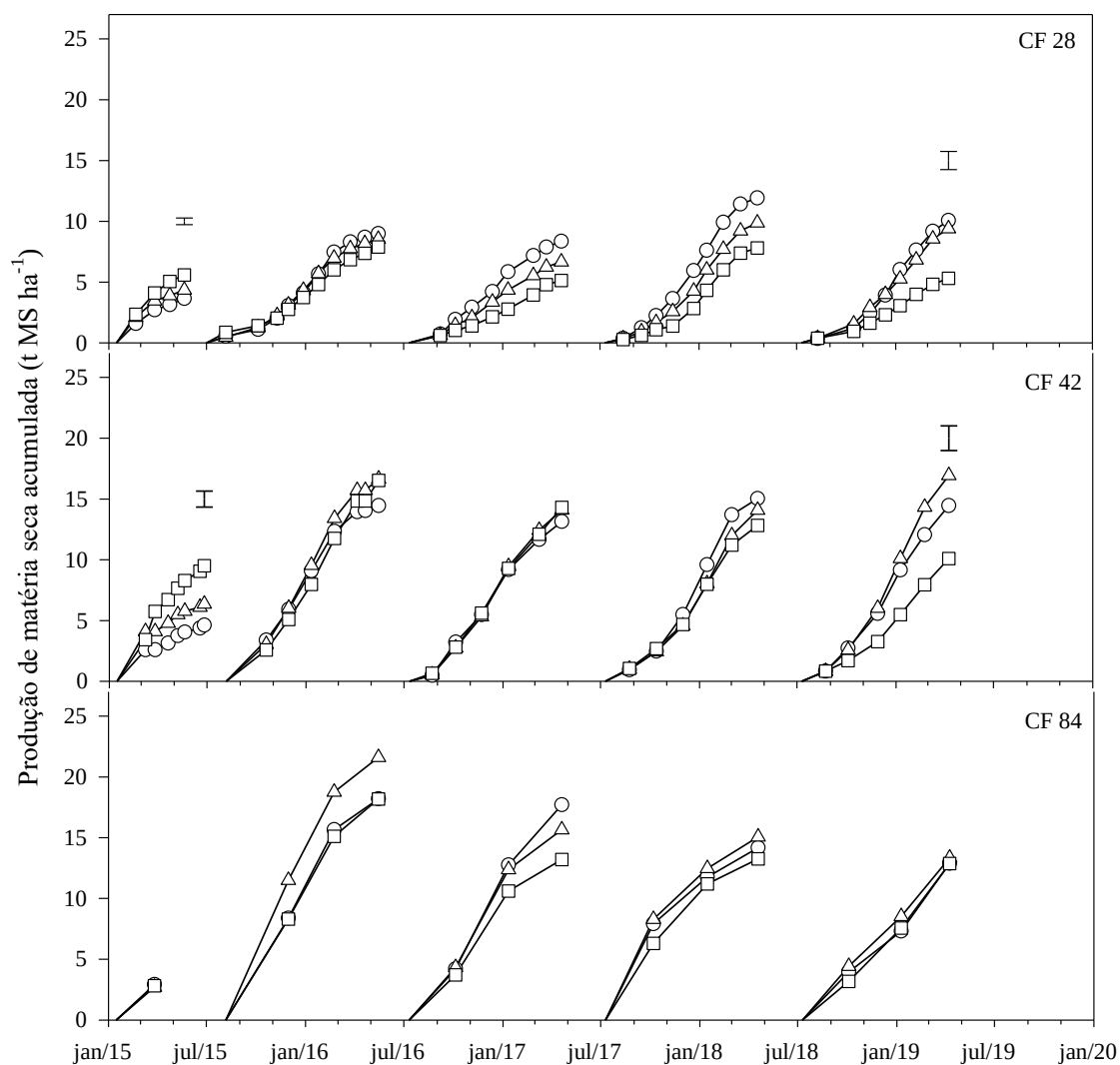


Figura 3.3.1 Produção acumulada de matéria seca (t ha⁻¹ de MS) de níveis FD2 (○), FD5 (Δ) e FD10 (□) de alfafa, submetidos a três intervalos entre desfolhações (CF) durante cinco anos na região de Canterbury, Nova Zelândia.

Barras de erro representam o erro médio padrão quando houve diferença significativa entre os cultivares dentro dos cortes ($\alpha=0,05$).

Não houve interações entre CF x FD ($P=0,25$) para taxa de crescimento linear durante o período experimental (Figura 3.3.2).

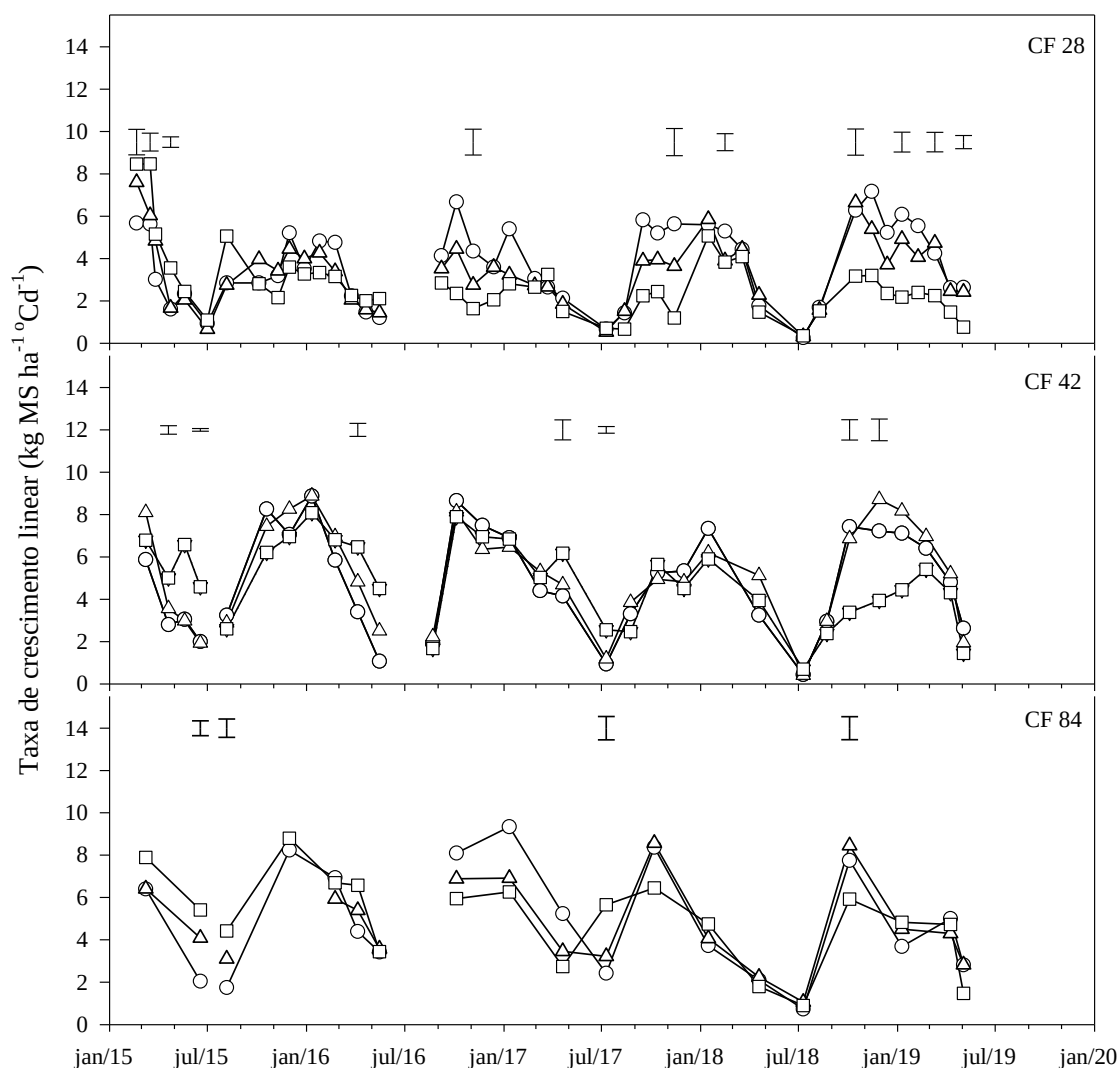


Figura 3.3.2 Taxa de crescimento ($\text{kg ha}^{-1} \text{°Cd}^{-1}$) de níveis de dormência FD2 (○), FD5 (Δ) e FD10 (□) de alfafa sob três frequências de corte cultivados por cinco anos em Lincoln, Canterbury, Nova Zelândia.

Barras de erro representam o erro padrão da média quando houve diferença significativa entre níveis de dormência no mesmo intervalo entre desfolhações ($\alpha=0,05$).

Dentre os intervalos entre desfolhações, as médias foram de $3,26 \text{ kg ha}^{-1} \text{°Cd}^{-1}$ de MS (CF 28), $4,98 \text{ kg ha}^{-1} \text{°Cd}^{-1}$ de MS (CF 42) e $4,54 \text{ kg ha}^{-1} \text{°Cd}^{-1}$ de MS (CF 84), com valor inferior ($P<0,05$) do CF 28 comparado aos demais. O bom desempenho do FD10 no ano inicial (2015), não foi suficiente para elevar sua taxa de crescimento linear que

apresentou resultado inferior ($P<0,05$) aos demais, com média de $4,04 \text{ kg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cd}^{-1}$ de MS, enquanto que FD2 apresentou taxa de crescimento linear de $4,44 \text{ kg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cd}^{-1}$ de MS, e FD5 obteve $4,31 \text{ kg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cd}^{-1}$ de MS.

A taxa de crescimento ainda apresentou diferentes respostas ao fotoperíodo (Figura 3.3.3). O CF 28 foi o único manejo a influenciar ($P<0,05$) os níveis de dormência para a taxa de crescimento. Em fotoperíodo decrescente, o FD2 teve maior redução na taxa de crescimento, com inclinação de $0,77 \text{ kg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cd}^{-1}$, comparado aos $0,67 \text{ kg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cd}^{-1}$ apresentado pelo FD5 e FD10. O FD10 não apresentou efeitos do aumento do fotoperíodo sobre a taxa de crescimento em CF 28, com média constante de $2,24 \text{ kg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cd}^{-1}$, este nível de dormência ainda apresentou a menor ($P<0,05$) taxa de crescimento em comparação aos demais.

No CF 42 os níveis de dormência não diferiram ($P>0,05$) durante os fotoperíodos, com uma redução de $0,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cd}^{-1}$ em fotoperíodo decrescente, e aumento de $1,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cd}^{-1}$ em fotoperíodo crescente. Sob fotoperíodo decrescente o FD10 teve maior ($P<0,05$) taxa de crescimento e alcançou os $6,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cd}^{-1}$ às 13,3 h de luz. Durante o fotoperíodo crescente, o FD2 aumentou $7,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cd}^{-1}$ às 12,6 h de sol, enquanto que o FD5 produziu $\sim 9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cd}^{-1}$. As taxas de crescimento lineares dos níveis de dormência no tratamento CF 84 não diferiram ($P>0,05$) dentro dos fotoperíodos, com redução de $0,68 \text{ kg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cd}^{-1}$ e aumento de $1,57 \text{ kg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cd}^{-1}$, respectivo aos regimes de fotoperíodo. Contudo, os níveis de dormência apresentaram diferentes ($P<0,05$) resultados durante o fotoperíodo crescente, às 10 h, com valores superiores de taxa de crescimento para o FD10.

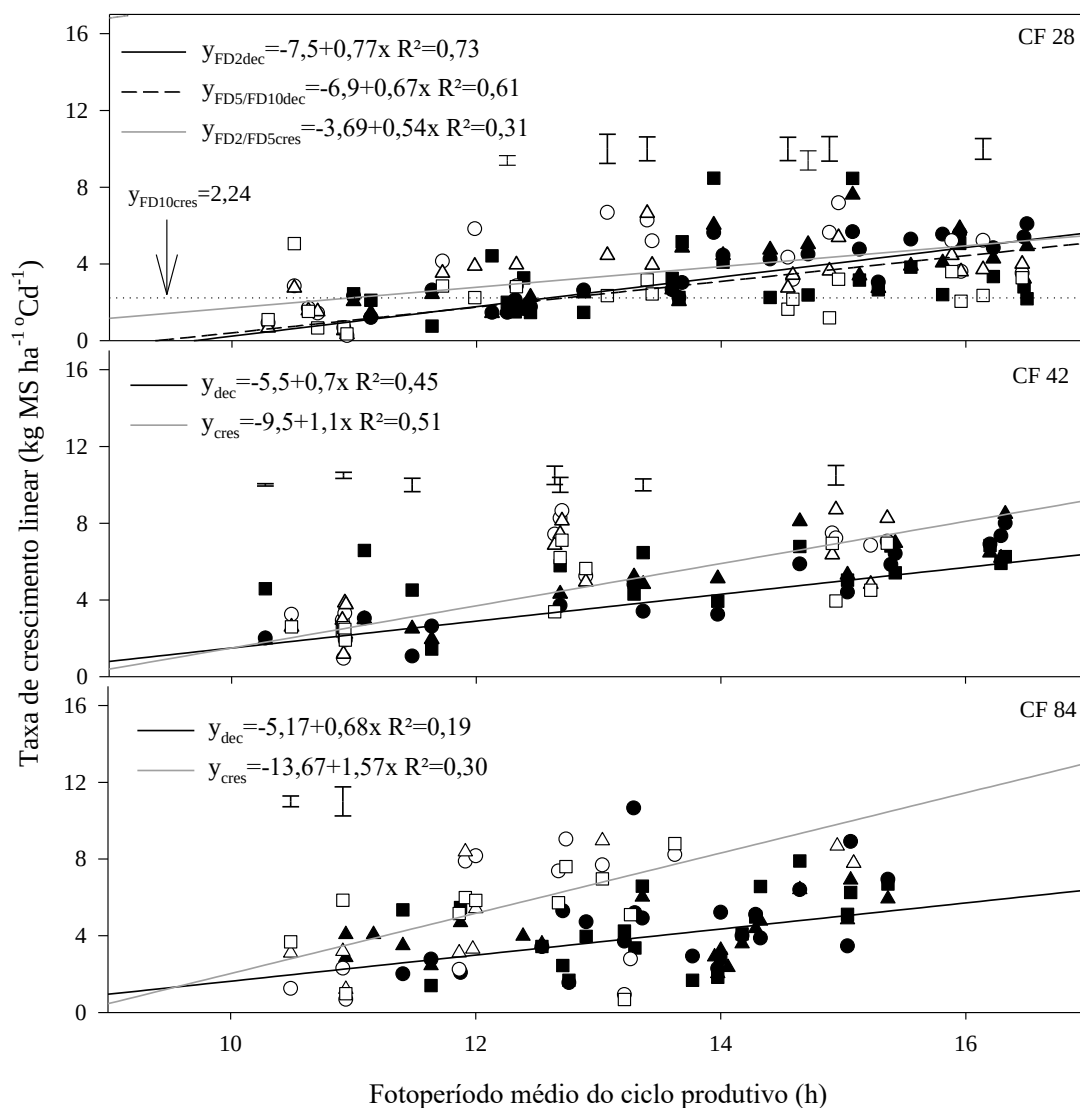


Figura 3.3.3 Taxa de crescimento linear (kg ha⁻¹ °Cd⁻¹) em função do aumento (símbolos abertos – linha cinza) ou redução (símbolos fechados – linhas preta) do fotoperíodo de níveis de dormência FD2 (○), FD5 (Δ) e FD10 (□) de alfafa sob três regimes de desfolhação (CF) cultivados por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Barras de erro representam o erro padrão da média quando houve diferença significativa entre os níveis de dormência no mesmo intervalo entre desfolhações e fotoperíodo ($\alpha=0,05$).

O peso individual da haste (PIH, g haste⁻¹ de MS) não apresentou interação entre CF x FD ($P>0,05$), mas efeitos significativos dos níveis de dormência e intervalos entre desfolhações foram obtidos durante os anos (Figura 3.3.4). O CF 28 teve média de 0,25 g haste⁻¹ de MS inferior ($P<0,05$) ao CF 42, com média de 0,42 g haste⁻¹ de MS.

Ambos, CF 28 e CF 42, foram inferiores ($P<0,05$) ao CF 84, que obteve hastes de 0,65 g haste⁻¹ de MS. O FD10 mostrou maior ($P<0,0001$) PIH, com média de 0,49 g haste⁻¹ de MS comparado com FD2 (0,30 g haste⁻¹ de MS) e FD5 (0,40 g haste⁻¹ de MS).

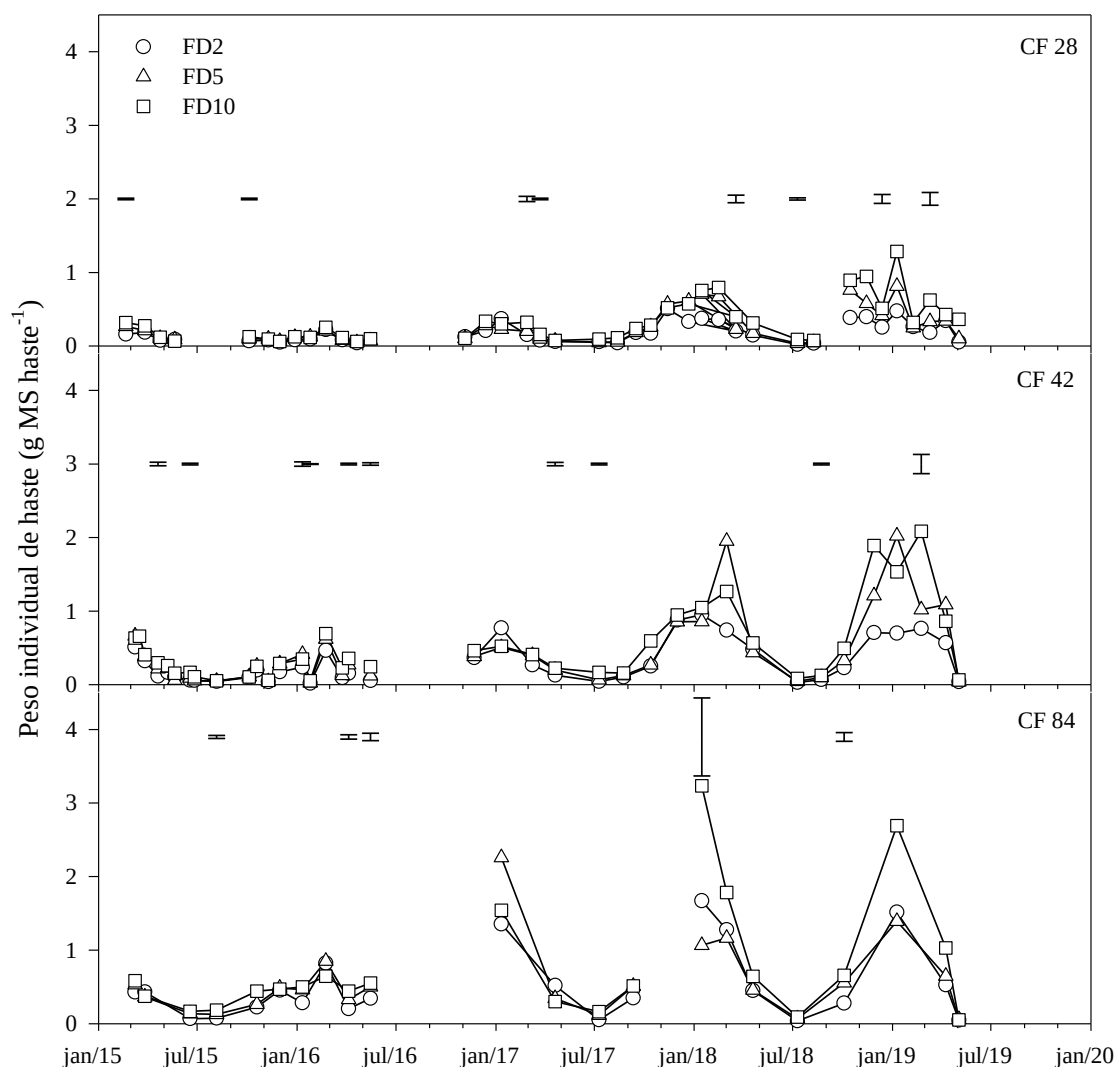


Figura 3.3.4 Peso individual da haste (PIH, g haste⁻¹ de MS) de níveis de dormência FD2, FD5 e FD10 de alfafa sob intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias cultivados por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Barras de erro representam o erro padrão da média quando houve diferença significativa entre os níveis de dormência e intervalos entre desfolhações e fotoperíodo ($\alpha=0,05$).

O PIH é altamente relacionado ($R^2>0,78$) à produção de MS (Figura 3.3.5). Os níveis de dormência tiveram diferentes respostas ($P<0,05$) aos tratamentos de desfolhação. No CF 28, FD2 e FD5 obtiveram o mesmo padrão e produziram 1,99 t ha⁻¹

de MS com 6,25 g MS haste⁻¹, enquanto que o FD10 precisou de hastes com 7,12 g MS para produzir 0,97 t ha⁻¹ de MS. No CF 42 cada FD respondeu de forma diferente (P<0,05), FD2 e FD5 produziram mais de 3 t ha⁻¹ de MS com 4,27 g MS haste⁻¹ e 3,22 g MS haste⁻¹, respectivamente, enquanto que FD10 produziu 2,69 t ha⁻¹ de MS com 4,63 g MS haste⁻¹. Entretanto, no CF 84 não houve diferenças (P>0,05) entre os parâmetros das equações dos níveis de dormência, que produziram 6,05 t ha⁻¹ de MS quando as hastes atingiram 2,34 g MS.

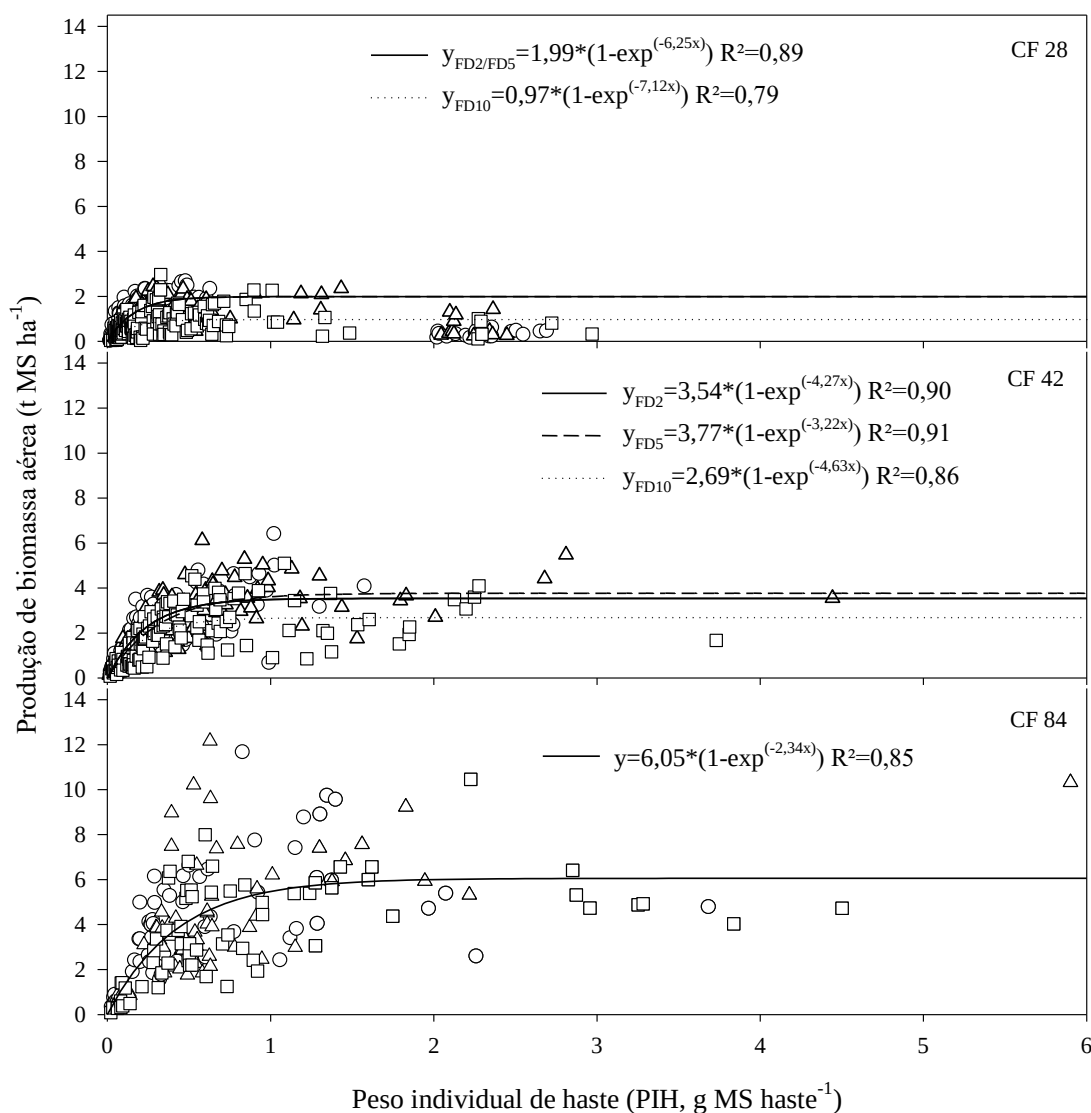


Figura 3.3.5 Produção de MS (t ha⁻¹ de MS) em função do peso individual de hastes (PIH, g MS haste⁻¹) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 (○), 5 (Δ) e 10 (□) sob os intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias cultivados por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

O PIH foi afetado pela população de plantas (plantas m^{-2}) sem diferenças entre os padrões dos níveis de dormência ($P>0,05$), que apresentaram aumento com a redução da população de hastes (Figura 3.3.6). O CF 28 teve a menor variação, com inclinação de 0,00191, e, de acordo com o intercepto da equação, o CF 28 manteve o PIH baixo mesmo sob baixa densidade de hastes. Diferente dos CF 42 e CF 84 que apresentaram interceptos maiores que 1,0.

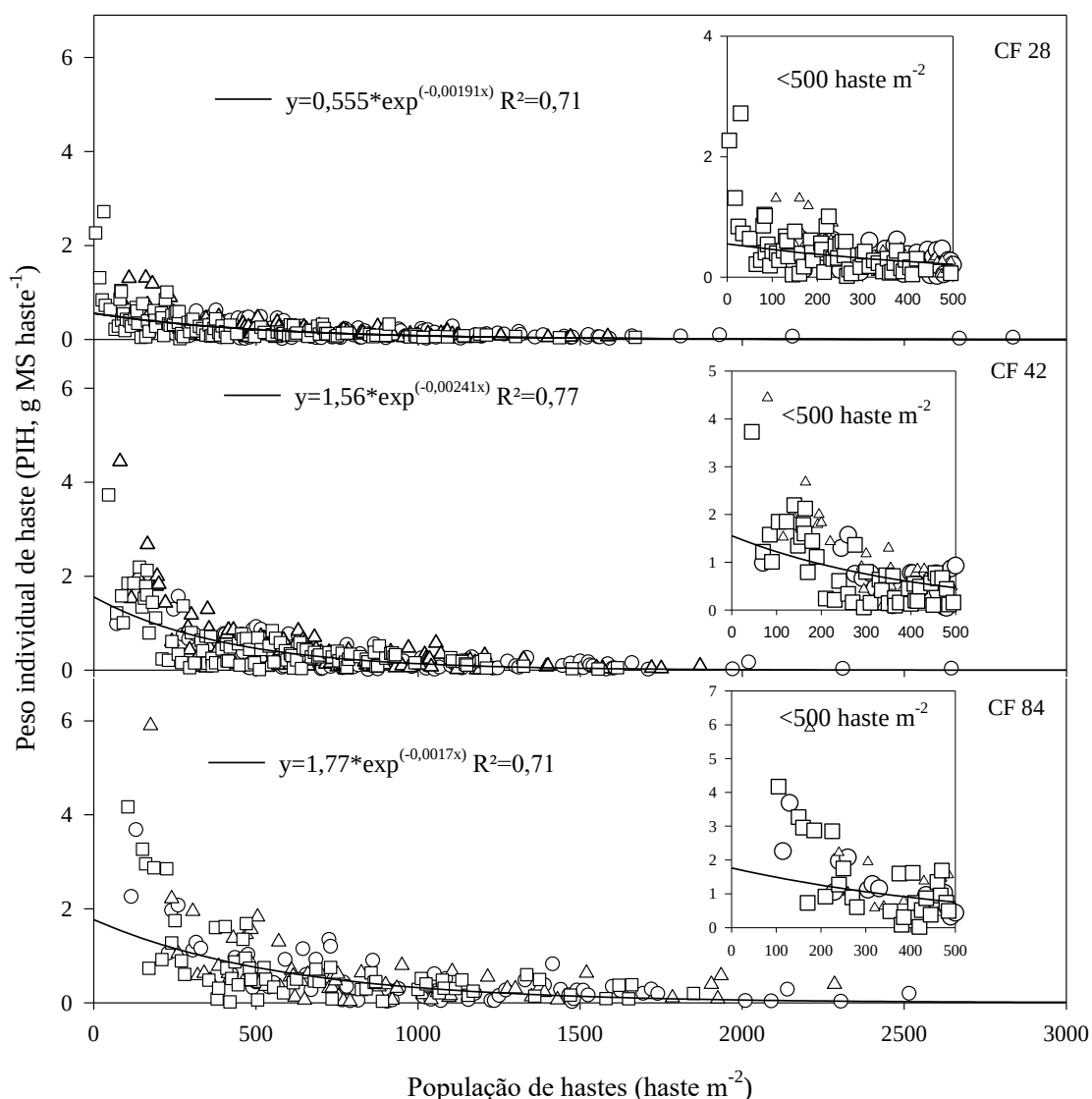


Figura 3.3.6 Peso individual de haste (PIH, g MS haste⁻¹) estimado a partir da população de hastes (haste m⁻²) de níveis de dormência FD2 (○), FD5 (Δ) e FD10 (□) de alfafa cultivada em CF 28, CF 42 e CF 84 por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

A população de plantas (planta m^{-2}) não apresentou interação entre CF x FD ($P=0,52$), mas com diferenças ($P<0,05$) dos intervalos entre desfolhações. Quando o somatório de graus-dia ($\sum^{\circ}\text{Cd}$) foi adicionado ao modelo, os interceptos não diferiram ($P>0,05$), porém as inclinações apresentaram diferenças ($P<0,05$) entre os níveis de dormência (Figura 3.3.7).

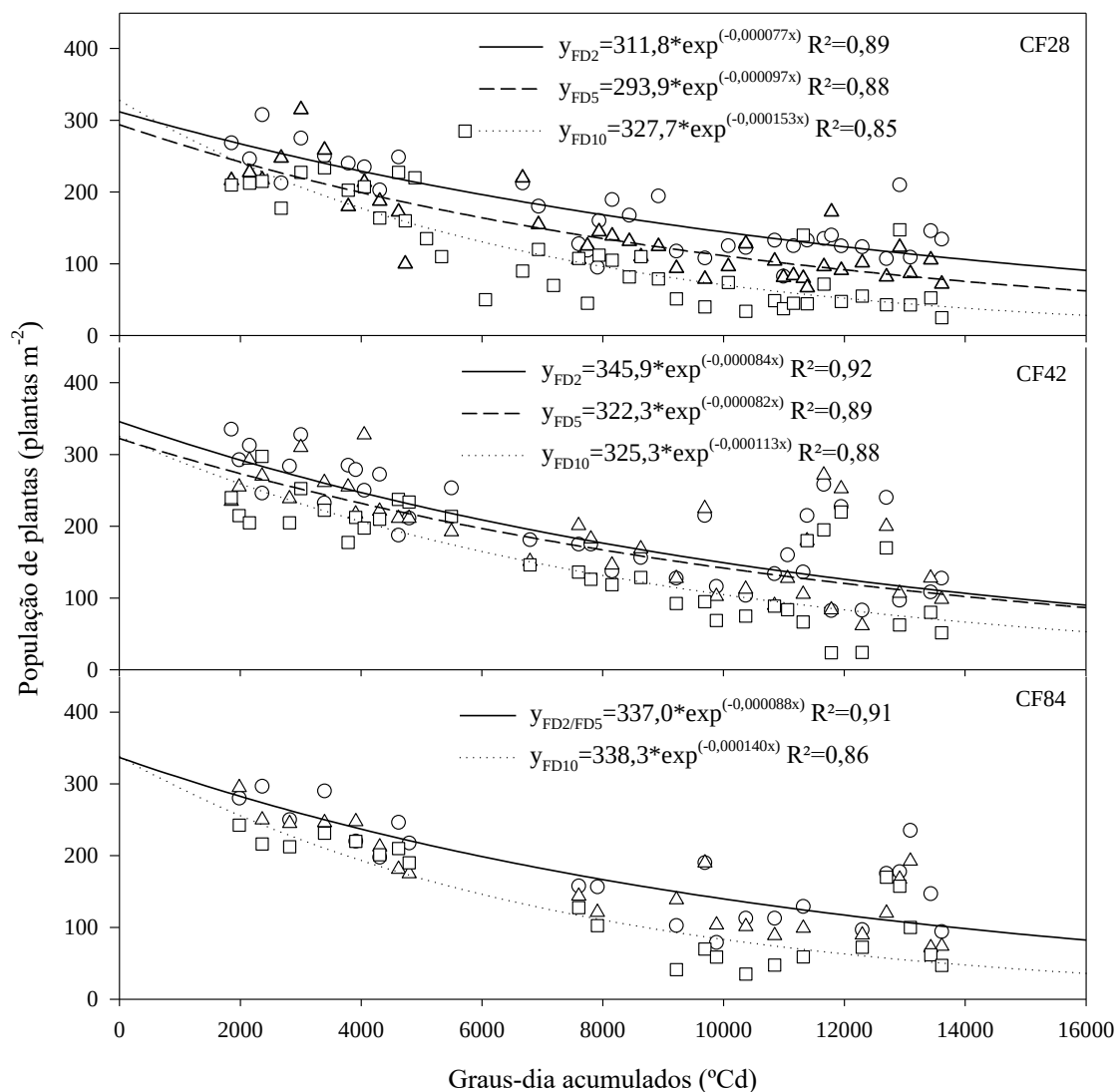


Figura 3.3.7 População de plantas (planta m^{-2}) de níveis de dormência FD2 ($\circ$), FD5 (Δ) e FD10 ($\square$) sob três frequências de desfolhação (CF) por cinco anos de graus-dia acumulados ($\sum^{\circ}\text{Cd}$) na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

No CF 28, o FD10 teve população inicial de 247 plantas m^{-2} , e reduziu para a metade em setembro de 2016 ($\sim 8000 \sum^{\circ}\text{Cd}$), em janeiro de 2019 ($\sim 12200 \sum^{\circ}\text{Cd}$) teve

uma redução severa no número de plantas (13 plantas m^{-2}). O FD2 apresentou intercepto de 311,8 plantas m^{-2} , mas em outubro de 2016 ($\sim 5000 \sum^{\circ}\text{Cd}$) isso foi reduzido para 200 plantas m^{-2} e atingiu o mínimo de 60 plantas m^{-2} ao final do experimento ($\sim 13600 \sum^{\circ}\text{Cd}$). No CF 42 o FD10 teve intercepto de 325,3 plantas m^{-2} com redução para 95 plantas m^{-2} em fevereiro de 2018 ($\sim 9700 \sum^{\circ}\text{Cd}$), enquanto que os níveis mais dormentes excederam as 200 plantas m^{-2} . No CF 84, os níveis de dormência FD2 e FD5 não diferiram ($P>0,05$) em seu padrão de queda exponencial, com uma taxa de redução de $0,000088 \text{ plantas } \text{m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{Cd}^{-1}$, e tiveram população final de 84 plantas m^{-2} . O FD10 neste tratamento apresentou queda de $0,00014 \text{ plantas } \text{m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{Cd}^{-1}$, com população final de menos de 50 plantas m^{-2} .

A densidade de hastes em função da população de plantas não apresentou interações CF x FD ($P>0,05$) com o aumento de $4,2 \text{ hastes } \text{m}^{-2} \text{ planta } \text{m}^{-2}$ (Figura 3.3.8).

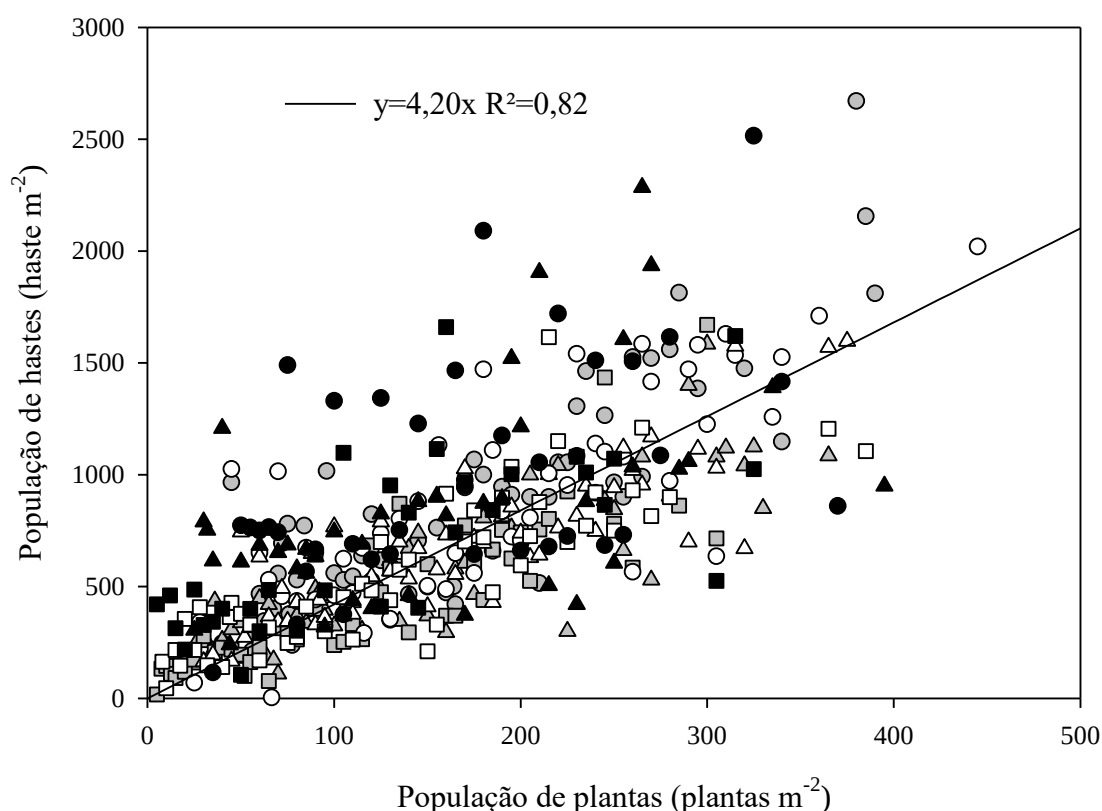


Figura 3.3.8 População de hastes ($\text{haste } \text{m}^{-2}$) predita pela população de plantas ($\text{planta } \text{m}^{-2}$) de níveis de dormência FD2 ($\circ$), FD5 (Δ) e FD10 ($\square$) de alfafa sob os intervalos entre desfolhações (CF) de 28 (símbolos cinza), 42 (símbolos abertos) e 84 dias (símbolos fechados) por cinco anos em Lincoln, Canterbury, Nova Zelândia.

A taxa de sobrevivência de plantas não apresentou interação entre CF x FD (P=0,51) (Tabela 3.3.2), com diferenças (P<0,05) apenas entre níveis de dormência. A média final de sobrevivência do nível FD10 foi inferior aos demais, com apenas 7,32% da população inicial, comparado aos 23% de sobrevivência do FD2 e 19% de sobrevivência do FD5.

Tabela 3.3.2 População inicial e final (plantas m⁻²), e taxa de sobrevivência de plantas (%) de diferentes níveis de dormência de alfafa sob os intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias por cinco anos em clima temperado.

	População inicial (Janeiro de 2015)	População final (Abril de 2019)	Taxa de sobrevivência das plantas (%)
FD2	349	71 a	23 a
FD5	330	60 a	19 a
FD10	278	20 b	7 b
P valor	0,10	<0,0001	0,0006
EPM	22,1	5,16	2,42
CF 28	322	52	16
CF 42	308	55	20
CF 84	317	44	13
P valor	0,91	0,30	0,17
EPM	22,1	5,16	2,42
CF x FD			
P valor	0,58	0,70	0,51
EPM	38,20	8,94	4,19

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferiram entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

EPM = erro padrão da média.

O aumento do espaço disponível gerado pela redução da população de plantas de alfafa permitiu a propagação de plantas invasoras, principalmente nas parcelas contendo FD10 (Figura 3.3.9), sem interações entre CF x FD (P=0,31). Nos primeiros anos, a produção de MS das invasoras não foi mensurada em função da baixa quantidade. Os dados começaram a ser coletados em outubro de 2016. Ao longo dos cinco anos, a população de espécies invasoras mudou com o ingresso de trevo branco, língua de vaca, azevém, dente de leão (*Taraxacum officinale* L.) e o cardo-das-vinhas (*Cirsium arvense* L.).

Mesmo sob o controle de herbicidas, a produção de MS das invasoras aumentou durante a primavera/verão, com a dominância de trevo branco e língua de vaca nesta

época, sendo superior no FD2 em 2015/16 e 2016/17. Em 2017/18 e 2018/19 a maior produção de MS das invasoras ($P<0,05$) foi nos piquetes de FD10 sob todos os intervalos entre desfolhações, o que fez com que a média final do FD10 fosse maior ($P=0,03$) que do FD5 por $0,1 \text{ t ha}^{-1}$ de MS.

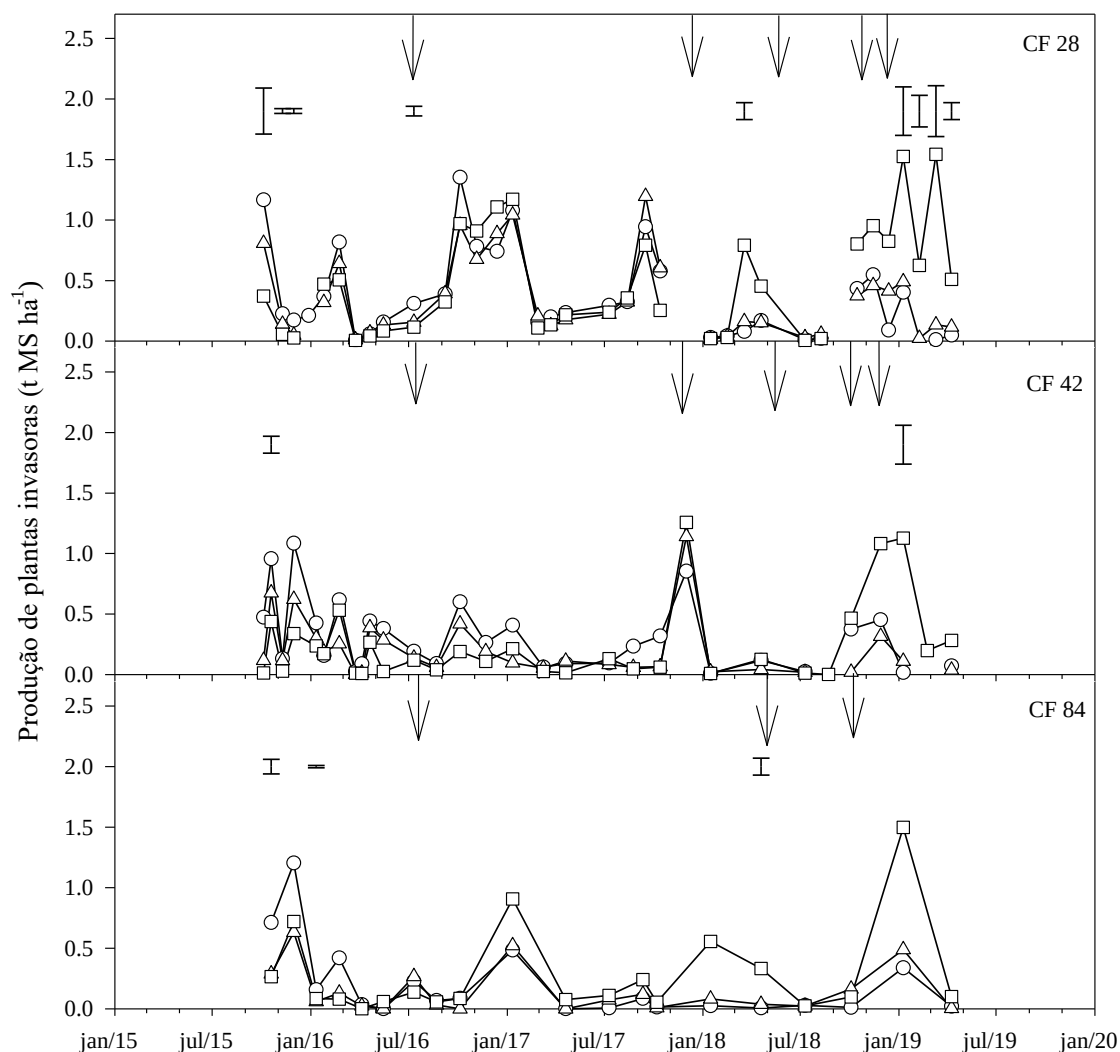


Figura 3.3.9 Produção de MS de plantas invasoras (t ha^{-1} de MS) nos piquetes contendo os níveis de dormência FD2 ($\circ$), FD5 (Δ) e FD10 ($\square$) de alfafa sob três regimes de desfolhação (CF 28, CF 42 e CF 84) por cinco anos em clima temperado.

Barras de erro representam o erro padrão da média quando houve diferença significativa entre os níveis de dormência dentro dos intervalos entre desfolhações ($\alpha=0,05$). Flechas indicam as datas de aplicação de herbicida.

Todos os CF foram influenciados por uma infestação de cardo-das-vinhas ao final do experimento, que atingiu $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ de MS em janeiro de 2019 (no FD10 sob CF 28 e

CF 84). Esses resultados refletem na produção final de invasoras, que foi maior ($P=0,001$) para o CF 28 comparado ao CF 42 ($0,41 \text{ t ha}^{-1}$ de MS e $0,29 \text{ t ha}^{-1}$ de MS, respectivamente).

O FD2 e o FD5 tiveram maiores ($P<0,05$) escores que FD10, independente da estação ou intervalos entre desfolhações, apesar da ausência de interações entre CF x FD ($P=0,71$), houve diferenças entre os níveis de dormência ($P<0,0001$) nas avaliações visuais (Tabela 3.3.3). Os maiores escores foram dados ao FD2 e FD5, o que significa que estes piquetes tiveram dossel completa ou parcialmente coberto, baixa invasão de daninhas e hastes visualmente saudáveis. O nível FD10 foi o único tratamento que recebeu o menor escore (1) com médias de 4,0 e 2,8.

Tabela 3.3.3 Escores visuais (1 – 10) de níveis de dormência FD2, FD5 e FD10 de alfafa sob os intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias cultivados por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

	Novembro/2018	Fevereiro/2019
FD2	7,6 a	8,3 a
FD5	7,2 a	7,5 a
FD10	4,0 b	2,8 b
P valor	<0,0001	<0,0001
EPM	0,48	0,34
CF 28	5,2	5,5
CF 42	6,2	6,2
CF 84	7,3	7,0
P valor	0,78	0,12
EPM	0,48	0,34
CF x FD		
P valor	0,77	0,37
EPM	0,84	0,59

Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si na coluna pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

EPM = erro padrão da média.

Os dados obtidos para a relação folha:haste não apresentaram interações entre CF x FD ($P>0,05$), porém ambas as variáveis testadas apresentaram efeito ($P<0,05$) (Figura 3.3.10). As plantas no CF 28 tiveram menor proporção de haste comparada ao CF 84, com médias de $1,70 \text{ g g}^{-1}$ e $0,76 \text{ g g}^{-1}$, respectivamente. No CF 42 houve um padrão claro de redução na relação folha:haste durante o rebrote de primavera/verão, com aumento durante o outono/inverno, com média total de $0,76 \text{ g g}^{-1}$. A média final após cinco anos teve diferença ($P<0,0001$) entre os níveis de dormência, com FD2 ($1,33 \text{ g g}^{-1}$

¹⁾ superior ao FD5 (1,15 g g⁻¹) e ao FD10 (1,00 g g⁻¹) que não diferiram (P>0,05) entre si.

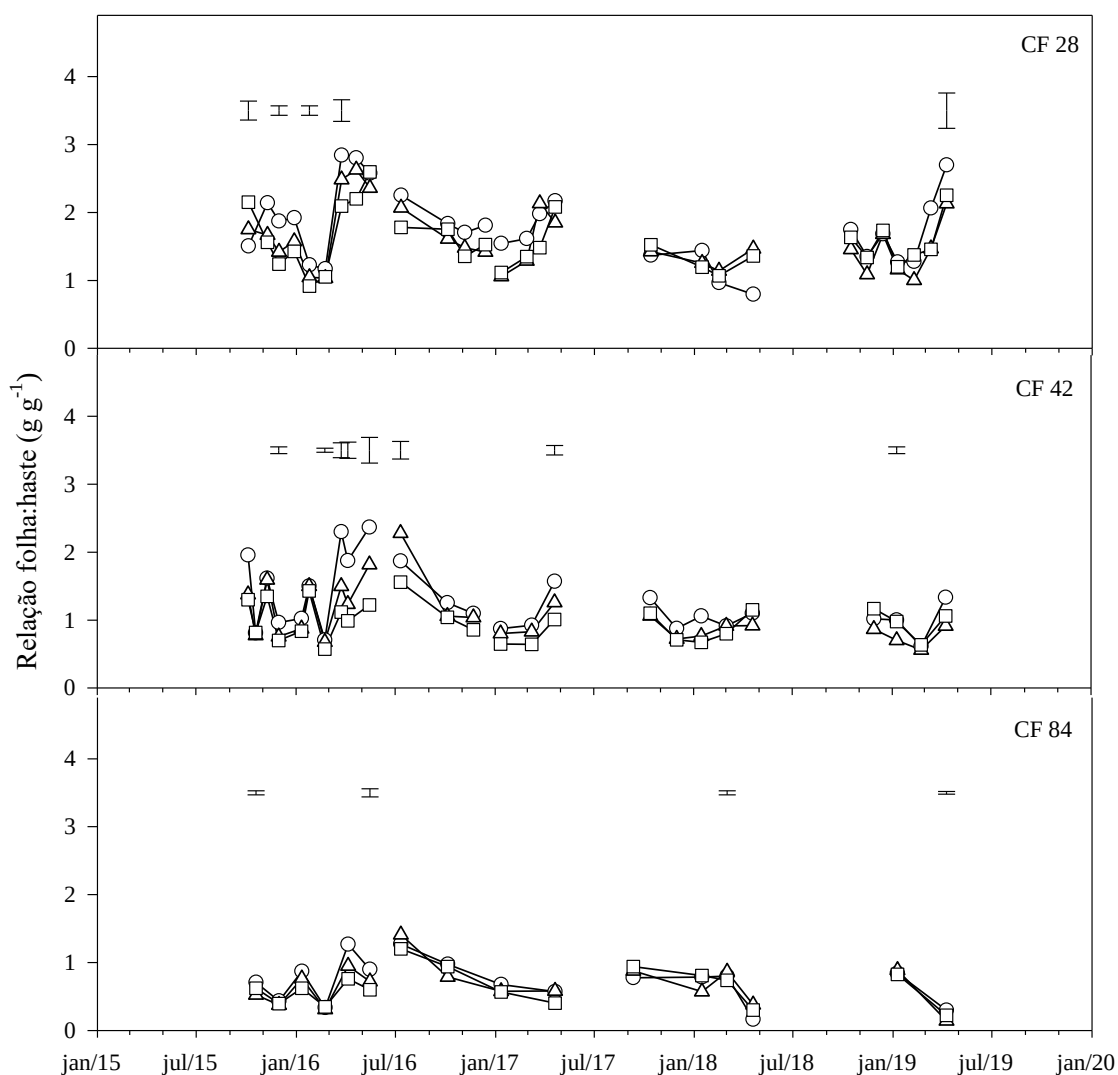


Figura 3.3.10 Relação folha:haste de níveis de dormência FD2 (○), FD5 (Δ) e FD10 (□) de alfafa sob os intervalos entre desfolhações de 28, 42 e 84 dias cultivados por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Barras de erro representam o erro padrão da média quando houve diferença significativa entre os níveis de dormência dentro dos intervalos entre desfolhações pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

A produção dos componentes morfológicos apresentou interação (P=0,033) entre os fatores CF x FD (Figura 3.3.11). Houve maior produção (P<0,05) de hastes (macia e dura) no CF 84 comparado com os demais tratamentos, principalmente durante as estações mais produtivas. Neste tratamento, o FD10 teve maior (P<0,05) produção de

haste dura ($1,46 \text{ t ha}^{-1}$ de MS) que não diferiu da produção de folhas ($1,32 \text{ t ha}^{-1}$ de MS). O FD2 e FD5 seguiram o mesmo padrão no CF 84, com menores ($P < 0,05$) valores para haste macia ($1,03 \text{ t ha}^{-1}$ de MS e $0,90 \text{ t ha}^{-1}$ de MS, respectivamente), comparado com as porções de folhas e haste dura (médias de $1,42 \text{ t ha}^{-1}$ de MS de folhas e $1,24 \text{ t ha}^{-1}$ de MS de haste dura).

Nos CF 42 as folhas tiveram maior ($P < 0,05$) produção comparada às hastes, independente do genótipo, com média de $1,05 \text{ t ha}^{-1}$ de MS, enquanto que as médias das hastes foram de $0,57 \text{ t ha}^{-1}$ de MS para haste macia, e $0,61 \text{ t ha}^{-1}$ de MS para haste dura. No CF 28 a produção máxima foi de $0,68 \text{ t ha}^{-1}$ de MS de folhas produzidas por FD2, porém sem diferenças ($P < 0,05$) entre os genótipos neste tratamento. Curiosamente, o FD10 CF 28 apresentou as médias finais de $0,16 \text{ t ha}^{-1}$ de MS e $0,17 \text{ t ha}^{-1}$ de MS para haste dura e macia, respectivamente. Como esta avaliação é realizada levando-se em consideração a área e não a planta, esta produção foi reduzida devido à redução da população de hastes.

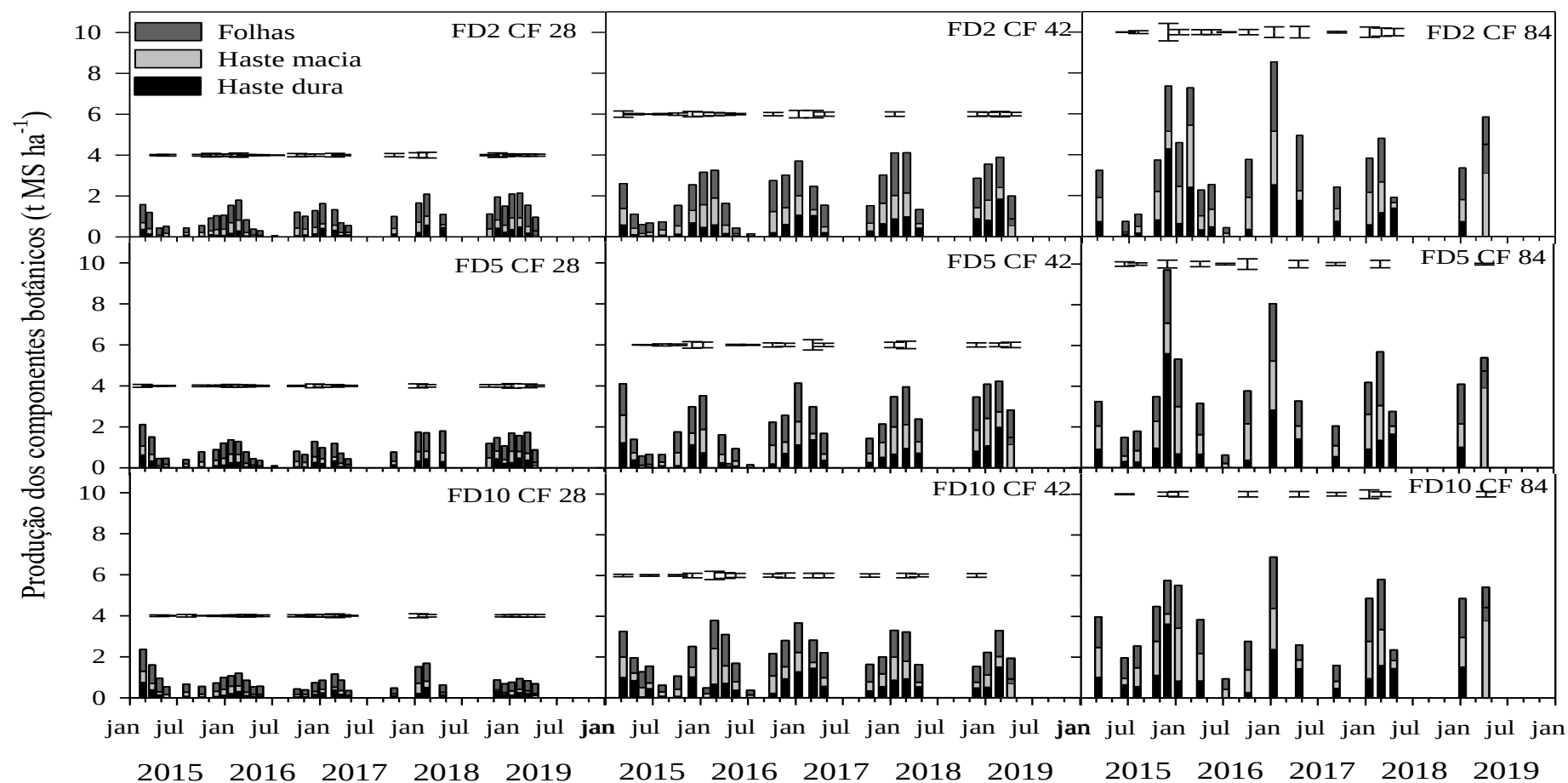


Figura 3.3.11 Produção dos componentes botânicos (t ha^{-1} de MS) de níveis de dormência FD2 ($\circ$), FD5 (Δ) e FD10 ($\square$) de alfafa cultivada sob três intervalos entre desfolhações (CF 28, CF 42 e CF 84) por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Barras de erro representam o erro padrão da média quando houve diferença significativa entre os componentes morfológicos pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

A haste dura teve uma relação positiva com a produção de MS, que diferiu entre os níveis de dormência e intervalos entre desfolhações ($P < 0,05$), enquanto que as folhas mantiveram efeito quadrático entre níveis de dormência. Os diferentes parâmetros das equações para produção de haste dura comprovam que no CF 28 o FD10 obteve a menor produção deste componente (Figura 3.3.12).

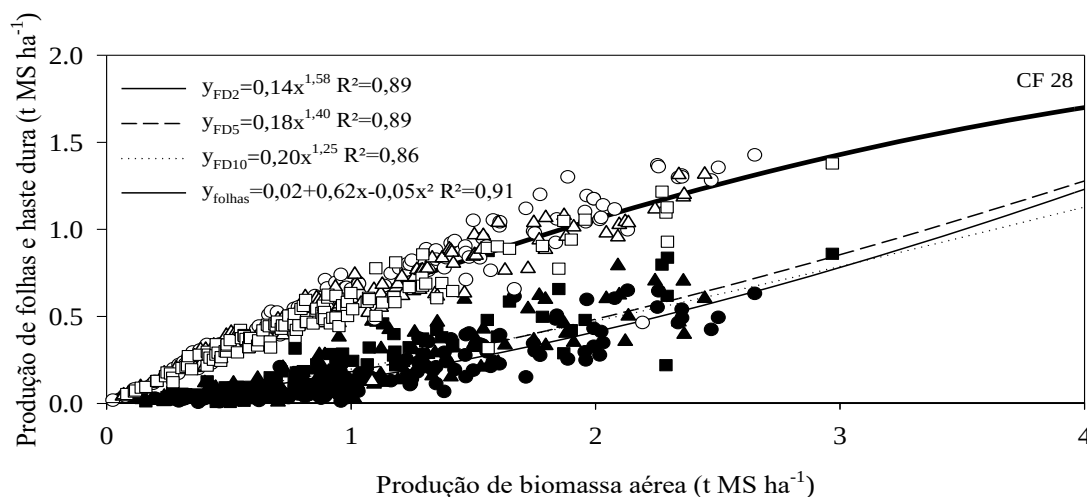


Figura 3.3.12 Produção de componentes morfogênicos ($t\ ha^{-1}$ de MS) em função da produção de biomassa ($t\ ha^{-1}$ de MS) de níveis de dormência FD2 ($\circ$), FD5 (Δ) e FD10 ($\square$) de alfafa sob CF 28 por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Já no CF 42 ocorreram mudanças para esta variável, onde o FD2 apresentou a menor inclinação da curva com maior intercepto, o que reduz a necessidade de aumentar a produção de haste não palatável para se obter certa produção de biomassa (Figura 3.3.13). No CF 84 estabeleceu-se que o FD10 aumentou a produção de haste não palatável em $0,33\ t\ ha^{-1}$ de MS por $t\ ha^{-1}$ de MS de biomassa (Figura 3.3.14).

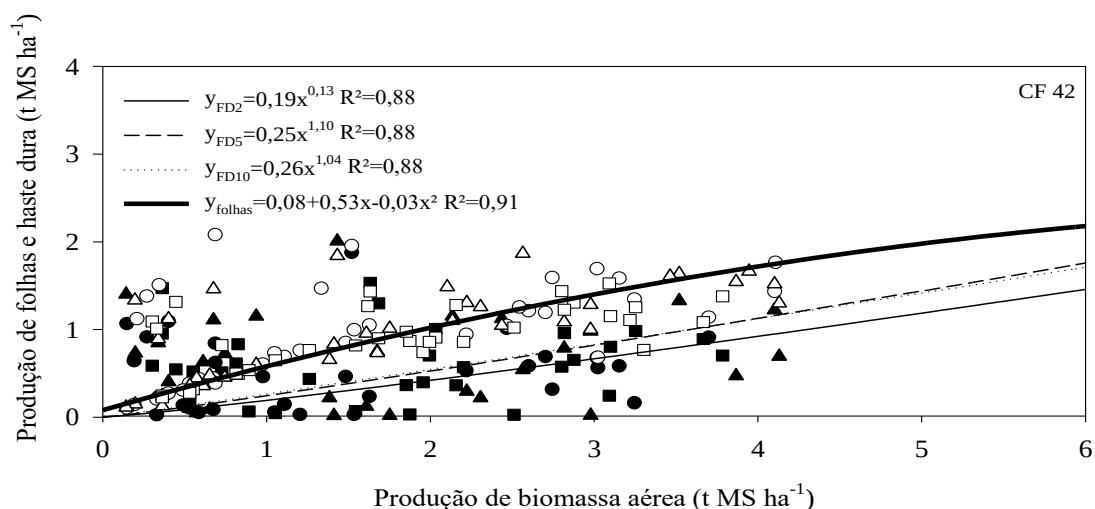


Figura 3.3.13 Produção de componentes morfogênicos ($t\ ha^{-1}$ de MS) em função da produção de biomassa ($t\ ha^{-1}$ de MS) de níveis de dormência FD2 ($\circ$), FD5 (Δ) e FD10 ($\square$) de alfafa sob CF 42 por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Os pontos de máxima estimados das equações de produção de folhas foram de 6,1 $t\ ha^{-1}$ de MS (CF 28), 8,83 $t\ ha^{-1}$ de MS (CF 42) e 23,73 $t\ ha^{-1}$ de MS (CF 84), como máximo potencial de produção de folhas em cada tratamento. Entretanto, o baixo R^2 do CF 84 reduz a acurácia desta equação.

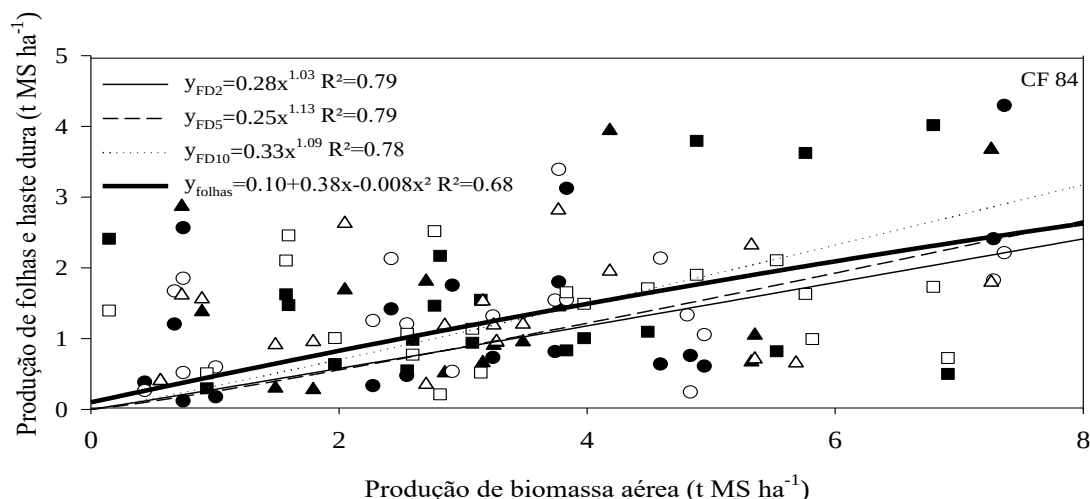


Figura 3.3.14 Produção de componentes morfogênicos ($t\ ha^{-1}$ de MS) em função da produção de biomassa ($t\ ha^{-1}$ de MS) de níveis de dormência FD2 ($\circ$), FD5 (Δ) e FD10 ($\square$) de alfafa sob CF 42 por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Ao analisar a concentração de proteína bruta (PB, %), somente a haste macia apresentou interação entre CF x FD ($P=0,0249$) (Figura 3.3.15). As folhas apresentaram a maior concentração de PB, e os CF 28 e CF 42 tiveram concentrações médias maiores que 30,0%. A única porção que não apresentou diferenças entre as frequências de desfolhação foi a haste dura, que variou de 9,0 % PB na MS (CF 84) a 9,8% PB na MS (CF 28). Dentre os níveis de dormência, as diferenças apresentadas ao longo do experimento se configuraram na maior concentração de PB nas folhas de FD2 com relação ao FD10, com médias 30,65% e 29,94% da MS, respectivamente.

A haste macia teve maior ($P<0,05$) concentração de PB no FD10 CF 28 em comparação a FD10 CF 84, com médias de 18,02% PB na MS e 13,25% PB da MS, respectivamente.

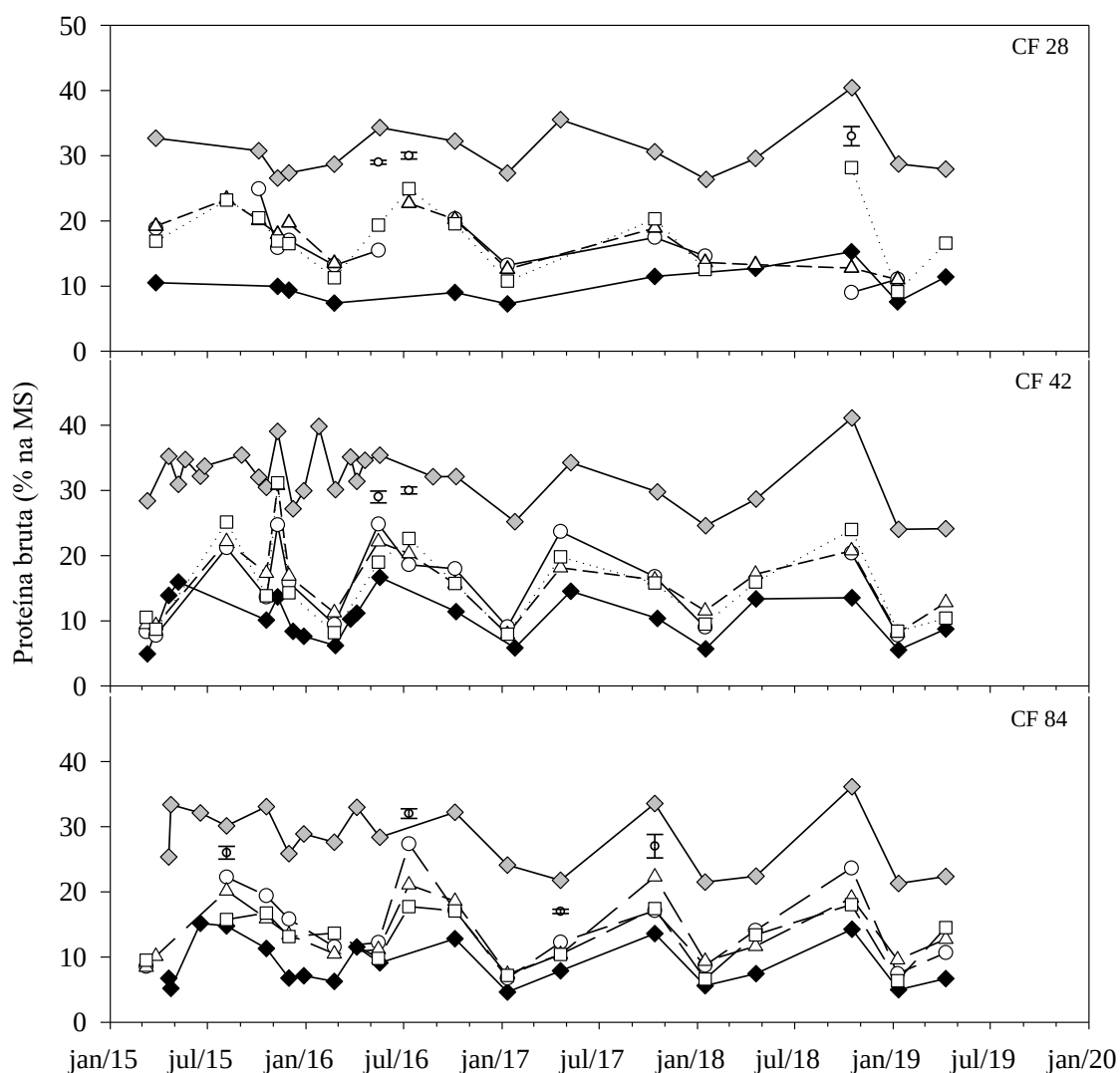


Figura 3.3.15 Concentração de proteína bruta (PB, %) nas folhas (símbolo cinza), haste macia (símbolo aberto) e haste dura (símbolo fechado) dos níveis de dormência FD2 (○ – linha contínua), FD5 (Δ - linha tracejada) e FD10 (□ – linha pontilhada) de alfafa sob os intervalos entre desfolhações de 28, 42 e 84 dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Barras de erro representam o erro padrão da média quando houve diferença significativa entre os componentes morfológicos no mesmo intervalo entre desfolhações pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

Não houve interações entre CF x FD quanto à produção de PB nos componentes morfológicos ($P>0,05$) (Tabela 3.3.4). As folhas foram a única porção que apresentou efeito dos níveis de dormência da alfafa ($P=0,0138$), com maior produção de PB no FD2 em comparação ao FD10, $0,31 \text{ t ha}^{-1}$ de MS e $0,28 \text{ t ha}^{-1}$ de MS, respectivamente.

Dentre as frequências de desfolhação, todos os componentes tiveram produção superior ($P<0,05$) em CF 84 ($0,65 \text{ t ha}^{-1}$), seguido por CF 42 ($0,42 \text{ t ha}^{-1}$), e tendo CF 28 a menor produção de PB ($0,22 \text{ t ha}^{-1}$).

Tabela 3.3.4 Produção de proteína bruta (t ha^{-1} de MS) dos componentes morfológicos de níveis de dormência FD2, FD5 e FD10 sob três intervalos entre desfolhações, durante cinco anos de cultivo na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Tratamentos	Componente morfológico		
	Folhas	Haste macia	Haste dura
FD2	0,31 a	0,09	0,06
FD5	0,28 ab	0,09	0,08
FD10	0,25 b	0,07	0,07
P valor	0,0138	0,12	0,35
EPM	0,014	0,006	0,008
CF 28	0,16 c	0,04 c	0,02 c
CF 42	0,29 b	0,08 b	0,05 b
CF 84	0,38 a	0,13 a	0,14 a
P valor	0,0002	<0,0001	0,0014
EPM	0,014	0,006	0,008
CF x FD			
P valor	0,40	0,36	0,56
EPM	0,025	0,010	0,014

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferiram entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). EPM = erro padrão da média.

A DIVMS não obteve interações entre os fatores CF x FD para nenhum componente morfológico ($P>0,0467$), com efeitos dos intervalos entre desfolhações ($P=0,0396$) para todos os componentes e efeito dos níveis de dormência ($P=0,04$) na haste dura (Tabela 3.3.5). A média de DIVMS de folhas foi de 75,45%, entre os intervalos entre desfolhações o CF 84 apresentou a menor DIVMS para este componente, 73,13%. A haste macia teve média de 60,04%, para tal componente o CF 28 apresentou digestibilidade superior ($P=0,0008$) às demais frequências de desfolha, ~5% mais digestível que CF 42 e ~13% mais digestível que CF 84.

A haste dura foi o único componente que apresentou diferença ($P<0,05$) nas médias de níveis de dormência, com DIVMS superior para FD2 (44,31%) comparado ao FD10 (40,61%). Dentre as frequências de desfolha, o CF 84 foi novamente menos digestível que as demais frequências, com inferioridade de ~8% comparada ao CF 28 e ~5% em comparação ao CF 42.

Tabela 3.3.5 Digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) de folhas, haste macia e haste dura de três níveis de dormência (FD2, FD5 e FD10) de alfafa sob os intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias por cinco anos em clima temperado.

Tratamentos	Componente morfológico		
	Folhas	Haste macia	Haste dura
FD2	75,54	60,69	44,31 a
FD5	75,33	60,77	41,06 ab
FD10	75,39	59,42	40,61 b
P valor	0,93	0,59	0,0396
EPM	0,39	1,07	1,10
CF 28	76,79 a	66,29 a	45,54 a
CF 42	75,36 a	60,91 b	42,47 a
CF 84	73,13 b	53,67 c	37,97 b
P valor	0,0467	0,0008	0,0598
EPM	0,39	1,05	1,04
CF x FD			
P valor	0,72	0,17	0,15
EPM	0,68	1,84	1,80

Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si na coluna pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

EPM = erro padrão da média.

A produção de energia metabolizável (EM, MJ t⁻¹ de MS) só diferiu entre os intervalos entre desfolhações (P<0,05) em todos os componentes morfológicos (Tabela 3.3.6). Entre níveis de dormência, as médias foram de 11,56 MJ t⁻¹ de MS nas folhas, 6,59 MJ t⁻¹ de MS na haste macia e 5,65 MJ t⁻¹ de MS na haste dura.

Entre os intervalos entre desfolhações o CF 84 foi o que mais (P<0,05) produziu energia metabolizável, com mais de 10 MJ t⁻¹ de MS nas folhas de CF 28, e ~5 MJ t⁻¹ de MS nas folhas de CF 42. Na haste macia o CF 28 foi 0,78 MJ t⁻¹ de MS inferior (P<0,05) ao CF 42, enquanto que CF 84 produziu 9,51 MJ t⁻¹ de MS. Já na haste dura não houve diferença entre CF 28 e CF 42, com médias de 0,63 MJ t⁻¹ de MS, 0,1 MJ t⁻¹ de MS inferiores (P=0,02) ao CF 84.

Tabela 3.3.6 Produção de energia metabolizável (EM, MJ t⁻¹ de MS) de níveis de dormência FD2 (○), FD5 (Δ) e FD10 (□) de alfafa submetida aos intervalos entre desfolhações de 28, 42 e 84 dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Tratamentos	Componentes morfológicos		
	Folhas	Haste macia	Haste dura
FD2	11,71	6,71	5,04
FD5	11,94	6,93	6,32
FD10	11,04	6,15	5,60
P valor	0,72	0,93	0,41
EPM	0,83	0,60	0,67
CF 28	6,15 c	6,75 c	0,64 b
CF 42	11,98 b	6,53 b	0,63 b
CF 84	16,56 a	9,51 a	0,73 a
P valor	0,0010	0,0022	0,0195
EPM	0,82	0,57	0,64
CF x FD			
P valor	0,56	0,85	0,60
EPM	1,40	1,03	1,12

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferiram entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

EPM = erro padrão da média.

Discussão

No primeiro ano avaliado (2015), FD10 apresentou maior produção de matéria seca (MS), chegando a 2 t ha⁻¹ de MS a mais que FD2, corroborando os dados de Ventroni et al. (2010). Isso demonstra a resposta rápida do FD10 após a fase de estabelecimento da pastagem, que disponibiliza mais alimento aos animais nestes anos iniciais, sendo esta a principal razão dos produtores usarem tal nível de dormência.

O principal problema associado ao FD10 é sua queda de produção nos anos subsequentes. Em 2016/17, antes do término do ciclo anual, Ta et al. (2020) já observavam um declínio na produção de MS do FD10 CF 28, mas sem diferença na média final acumulada entre níveis de dormência. Tal comportamento enfatiza a habilidade de plantas FD10 em continuar a produzir durante o outono/inverno, diferente de níveis mais dormentes. Porém, com a drástica queda no Ano 5, pode-se afirmar que há menor persistência de tal característica, uma vez que este nível de dormência não conseguiu se recuperar no outono daquele ano. Essa redução anual é consistente com Harvey et al. (2014) sob lotação contínua, que apontaram a menor capacidade de

estocagem de componentes orgânicos no sistema radicular de cultivares FD10 como a principal razão a este declínio (Capítulo 4).

Os níveis de dormência FD2 e FD5 foram capazes de manter suas médias finais ao longo dos anos, sendo superiores a 12 t ha^{-1} de MS a partir de 2015/16. Entretanto, apresentaram valores inferiores aos reportados por Brown et al. (2005) que avaliou cv. Grassland “Kaituna” irrigada, e com cerca de 6 a 7 desfolhações ao ano, e obtiveram produções de aproximadamente 28 t ha^{-1} de MS no segundo ano, e 20 t ha^{-1} de MS no quinto ano. Os autores creditam tais resultados à irrigação aplicada de mais de 400 mm no terceiro ano. No caso deste estudo, as plantas receberam irrigação, mas que não se mostrou suficiente para atingir a capacidade máxima do solo; as plantas passaram cerca de 8% do experimento acima dos 75% de capacidade de retenção de água do solo (PAWC), e 75% do período experimental entre os 75% e 50% de PAWC, o que reforça a exigência de irrigação pela alfafa para ser altamente produtiva naquela região, com mínimo de 400 mm de irrigação ao ano.

A menor produção acumulada de MS do FD2 nos anos iniciais, com menor PAWC é coerente com Pembleton et al. (2011) que compararam o cultivar DuPuits (FD2) sob irrigação e seca, e obtiveram menores valores de produção para as plantas em déficit hídrico. No mesmo experimento, a cultivar Grassland “Kaituna” provou ter maior eficiência no uso da água de que a cultivar SARDI 10, o que explica a maior persistência deste genótipo após um período de déficit hídrico. Os autores ainda destacam a relação entre dormência – produção de MS – quantia de água recebida, e sugerem que os genótipos dormentes ativem essa dormência em estiagens para reduzir a mortalidade das plantas.

As desfolhações mais frequentes reduziram a produção de MS comparado com CF 42 e CF 84, nesse sentido Teixeira et al. (2007) comentaram que maiores ciclos de rebrote, tal como 42 e 84 dias, durante a primavera/verão permitem que a planta otimize os maiores níveis de radiação e temperatura disponíveis. E a alta frequência de desfolhação durante as estações frias reduz a persistência das pastagens (BÉLANGER et al., 1999). Um estudo de cinco anos realizado no Missouri indicou um aumento na produção de MS de alfafa quando pastejada a cada 42 dias (de primavera a outono) com uma produção total acumulada de $54,5 \text{ t ha}^{-1}$ de MS comparado com $39,2 \text{ t ha}^{-1}$ de MS quando pastejada a cada 28 dias (KALLEMBACH et al., 2002). Por outro lado, o maior intervalo entre desfolhações (CF 84) provou atingir um platô após cerca de 50 dias, o

que sugere florescimento, senescência e acamamento das plantas. Isso será discutido no Capítulo 5.

Quando expostos a estresse extremo, como em CF 28, as plantas tiveram diferentes respostas à temperatura e fotoperíodo. A maior dormência do FD2 resultou em uma redução acentuada da taxa de crescimento linear durante o fotoperíodo decrescente, enquanto que FD5 não diferiu de FD10. O principal ponto a ser observado é a resposta do FD10 ao fotoperíodo crescente, que foi consistente e destaca a ineficiência deste nível de dormência em otimizar o comprimento dos dias na primavera/verão. Estes resultados estão em conformidade com a afirmação de Moot et al. (2003) de que a estação fria, em fotoperíodo decrescente, é essencial para as plantas “descansarem”; por consequência, elas apresentam uma redução na taxa de crescimento linear. Esse período de “descanso” permite o particionamento de nutrientes para os órgãos radiculares e aumenta a capacidade de rebrotação na primavera. Berti et al. (2012) compararam a produção de alfafa pastejadas ou não no outono na Dakota do Norte (EUA), e tiveram maior produção daquelas que permaneceram em pousio, assim como uma menor mortalidade destas plantas após quatro anos.

O aumento do PIH foi notável em janeiro de 2018, ao passo de que houve uma redução simultânea na população de plantas. No CF 28, onde os níveis de dormência apresentaram menor resposta à desfolhação, estes não tiveram tempo para expressar sua capacidade genética e manter o balanço tamanho/densidade do dossel como proposto por Yoda (1963). O resultado máximo obtido no tratamento CF 28 foi do FD5 que obteve uma inclinação de -1,00; o que indica a habilidade deste nível de dormência em equilibrar a estrutura do dossel e produção forrageira. No CF 42, FD2 e FD5 tiveram os melhores resultados entre tamanho/densidade das plantas (-1,25 e -1,11, respectivamente). Isso indica a melhor combinação de manejo de desfolhação e nível de dormência deste parâmetro.

No CF 84, o PIH aumentou a produção de MS devido ao período entre cortes que permitiu a maior alongação das hastes (CHEN et al., 2013), esta correlação será discutida no Capítulo 5. Ao contrário, o CF 28 teve o menor PIH e produção de MS, as inclinações de suas retas indicam uma maior dependência da produção de MS com relação à população de hastes, do que com o PIH. Estes resultados corroboram os obtidos por Chen et al. (2012) no Nordeste da China que explicaram a baixa taxa fotossintética e, conseqüentemente, menor alongação das hastes de alfafa em um

intervalo entre desfolhações menor que 30 dias, quando comparado à CF 40. Pembleton et al. (2010) e Berg et al. (2007) sugeriram o PIH como uma mensuração fácil e confiável para estimar a produção de MS da área em pastagens de alfafa. Estes autores ainda apontaram que a população de hastes se torna mais importante que o PIH para a produção de MS em longo prazo, como foi o caso neste experimento.

A redução na população refletiu na produção anual de MS e reduziu seu potencial de rebrote na primavera, principalmente sob populações de 45 plantas m^{-2} , marcadamente conhecido como o ponto de impacto da população de plantas sobre a produção de MS (BÉLANGER et al., 1999; KALLEMBACH et al., 2002). De acordo com Teixeira et al. (2007) o platô atingido em sistemas de longo intervalo entre desfolhações (CF 84) é resultado de uma superpopulação de hastes que aumenta a mortalidade das plantas pela supressão das plantas menores, com menor acesso à luz solar (self-thinning).

Maior relação folha:haste é um sinal de qualidade do pasto oposto à produção de MS, uma vez que tal processo demanda mais tecido fibroso que reduz a DIVMS (SHIXIAN et al., 2012; NAN et al., 2019). Teoricamente há uma homogeneidade na relação folha:haste dentre diferentes genótipos, contudo quando pastejados em diferentes intensidades e frequências, sob irrigação ou seca (PECETTI et al., 2016), em condição adequadas, como ausência de plantas invasoras, as plantas respondem de forma diferente. Hayek et al. (2008) obtiveram uma relação folha:haste com variação de 0,87 a 1,1 $g\ g^{-1}$ em experimento com 16 genótipos de alfafa, onde o cv. SARDI 10 (FD10) atingiu 0,9 $g\ g^{-1}$ em CF 30. A flutuação através das estações foi também observada por Nan et al. (2019) e Mattera et al. (2013) que obtiveram relação folha:haste de 1,6 $g\ g^{-1}$ no início da primavera, como uma resposta à menor taxa de crescimento linear nesta estação, com a indicação de aumento da área foliar, para otimizar o fotoperíodo.

A interação entre folhas, haste dura e produção de MS retrata o aumento da produção de MS como um fator das porções digestível ou não. Enquanto que no CF 28, o FD10 foi menos produtivo, com a redução na população de plantas e hastes houve uma redução na necessidade de alongamento da haste (MATTERA et al., 2013) que não impactou na produção de folhas e resultou numa inclinação menor da equação (1,25), indicando uma maior eficiência do dossel em produzir hastes com menor porção não palatável. Mas no CF 42 os níveis de dormência mostraram padrões diferentes devido à

maior homogeneidade do dossel, comparado ao CF 28. Neste tratamento, e também no CF 84, o FD10 apresentou seu real potencial de aumentar a porção de hastes e, provável alongação (Capítulo 5).

A PB tem correlação linear com a produção de folhas (TA et al., 2020) com uma variação de 35% da MS. Isso reflete na produção de PB que no CF 28 e CF 42 foi predominada pela PB das folhas, mas no CF 84, onde as hastes tiveram maior participação, a PB foi ameaçada pela baixa digestibilidade dos nutrientes. Esse padrão está de acordo com os dados da literatura (SHEAFFER et al., 1986; CHEN et al., 2012; CHEN et al., 2013) que notaram redução similar na concentração de PB de alfafa com o aumento do intervalo entre desfolhações. Nan et al., (2019) obtiveram 24,08% de PB na cv. Grassland “Kaituna” e 26,12% de PB na cv. SARDI 10 quando estas apresentavam relação folha:haste de 1,3 g g⁻¹ e 1,2 g g⁻¹, respectivamente. Kallembach et al. (2002) afirmaram que o nível FD2 (cv. Alfagraze) produziu, geralmente, 8 g kg⁻¹ a mais que os níveis de dormência FD4 testados (cv. Code e cv. Pioneer 5373). Eles concluíram que o nível de dormência pode refletir na maior produção de pastagem de qualidade.

A EM seguiu o mesmo padrão da PB e corrobora os resultados de Brown et al. (2005) que classificaram a forragem como apropriada a de alto valor nutritivo. Ambas, PB e EM, flutuaram pelas estações em resposta à disponibilidade e necessidade das plantas, com uma queda regular nas estações de rebrote (HOMOLKA et al., 2012). Ainda, a redução de EM nos Anos 4 e 5 são uma indicação da redução da população de plantas e, conseqüentemente, entrada de invasoras no sistema que impactam negativamente a pastagem (CORUH & TAN, 2008).

3.4 Conclusão

As variáveis produção de matéria seca, taxa de crescimento linear, população de hastes e plantas, sobrevivência de plantas e fatores nutricionais apontaram os níveis de dormência FD2 e FD5 como os mais indicados para a região de Canterbury, Nova Zelândia. Dentre as frequências de desfolhação, a mais indicada foi aos 42 dias, com melhor equilíbrio produtivo, perene e nutricional. O nível de dormência FD10 se mostrou mais produtivo no início do experimento, porém a baixa sobrevivência das plantas ao longo dos anos refletiu no colapso da pastagem. Plantas submetidas ao CF 28

não puderam expressar seu potencial genético devido ao intervalo entre desfolhações reduzido, o que sugere o esgotamento das reservas pela menor capacidade de rebrote, principalmente do nível FD10. No CF 84 as plantas, livres de estresse, apresentaram baixa qualidade nutricional, sem melhorias na produtividade em comparação ao CF 42.

3.5 Referências bibliográficas

- BÉLANGER, G.; KUNELIUS, T.; MCKENZIE, D.; et al. Fall cutting management affects yield and persistence of alfalfa in Atlantic Canada. **Canadian Journal of Plant Science**, v.97, n.1, 1999. Doi: 10.4141/P98-035
- BERG, W.K.; CUNNINGHAM, S.M.; BROUDER, S.M.; et al. The long-term impact of phosphorus and potassium fertilization on alfalfa yield and yield components. **Crop Science**, v.47, p.2198-2209, 2007. Doi: 10.2135/cropsci2006.09.0576
- BERONE, G.D.; SARDIÑA, M.C.; MOOT, D.J. Animal and forage responses on lucerne (*Medicago sativa* L.) pastures under contrasting grazing managements in a temperate climate. **Grass and Forage Science**, v.00, p.1-14, 2020. Doi: 10.1111/gfs.12479
- BERTI, M.; NUDELL, R.; MEYER, D.W. Fall harvesting of alfalfa in North Dakota impacts plant density, yield and nutritive value. **Forage and Grazinglands**, v.10, n.1, 2012. Doi: 10.1094/FG-2012-0925-01-RS
- BROWN, H.I.; MOOT, D.J. Quality and quantity of chicory, lucerne and red clover production under irrigated. In: **Proceedings of the New Zealand Grassland Association**, v.66, p.257-264, 2004.
- BROWN, H.E. **Understanding yield and water use of dryland forage crops in New Zealand**. 2005. 306p. Thesis (Doctor of Philosophy) – Lincoln University, Lincoln, Canterbury, New Zealand.
- BROWN, H.E.; MOOT, D.J.; POLLOCK, K.M. Herbage production, persistence, nutritive characteristics and water use of perennial forages grown over 6 years on a Wakanui silt loam. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.48, p.423-439, 2005a. Doi: 10.1080/00288233.2005.9513677
- BROWN, H.E.; MOOT, D.J.; TEIXEIRA, E.I. Radiation use efficiency and biomass partitioning of lucerne (*Medicago sativa* L.) in a temperate climate. **European Journal Agronomy**, v.25, p.319-327, 2006. Doi: 10.1016/j.eja.2006.06.008
- CHEN, J.; TANG, F.; ZHU, R.; et al. Effects of cutting frequency on alfalfa yield and yield components in Songnen Plain, Northeast China. **African Journal of Biotechnology**, v.11, n.12, p.4782-4790, 2012. Doi: 10.5897/AJB12.092

- CHEN, J.; GAO, C.; DI, G.; et al. Effects of cutting on alfalfa yield and quality in Northeast China. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v.12, n.2, p.253-26, 2013.
- CORUH, I.; TAN, M. Lucerne persistence, yield and quality as influenced by stand aging. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.51, p.39-43, 2008. Doi: 10.1080/00288230809510433
- DOUGLAS, J. The production and utilization of lucerne in New Zealand. **Grass and Forage Science**, v.41, n.2, p.81-128, 1986.
- HAKL, J.; HREVOSOVÁ, Z.; HEJCMAN, M.; et al. The use of a rising plate meter to evaluate lucerne (*Medicago sativa* L.) height as an important agronomic trait enabling yield estimation. **Grass and Forage Science**, v.67, n.4, p.589-596, 2012. Doi: 10.1111/j.1365-2494.2012.00886.x
- HARVEY, B.M.; WIDDUP, K.H.; BARRETT, B.A. An evaluation of lucerne for persistence under grazing in New Zealand. In: **Proceeding of ...**, Alexandra, New Zealand, 2014.
- HAYEK, T.; LOUMEREM, M.; NAGAZ, K.; et al. Growth development and dry matter yield of 16 lucerne genotypes cultivated in South Tunisia. In: PORQUEDDU, C. & SOUZA, M.M.T. (Ed). **Sustainable Mediterranean grassland and their multi-functions**. Zaragoza, p.299-302, 2008.
- HEWITT, A.E. New Zealand soil classification. **Landcare Research Science Series**, v.35, n.1, p.136, 2010.
- HOMOLKA, P.; KOUKOLOVÁ, V.; PODSEDNÍČEK, M.; et al. Nutritive value of red clover and lucerne forages for ruminants estimated by *in vitro* and *in vivo* digestibility methods. **Czech Journal of Animal Science**, v.57, n.10, p.454-568, 2012.
- ISON, K.A.D.; BEVENUTTI, M.A.; MAYER, D.G.; et al. Maximizing lucerne (*Medicago sativa* L.) pasture intake of dairy cows: 1-the effect of pre-grazing pasture height and mixed rotation level. **Animals**, v.10, n.5, p.860, 2020. Doi: 10.3390/ani10050860
- KALLENBACH, R.L.; NELSON, C.J.; COUTTS, J.H. Yield, quality, and persistence of grazing- and hay-type alfalfa under three harvest frequency. **Agronomy Journal**, v.94, p.1094-1103, 2002.
- MATTERA, J.; ROMERO, L.A.; CUATRÍN, A.L.; et al. Yield components, light interception and radiation use efficiency of Lucerne (*Medicago sativa* L.) in response to row spacing. **European Journal of Agronomy**, v.45, p.87-95, 2013. Doi: 10.1016/j.eja.2012.10.008

- MOOT, D.J., ROBERTSON, M.J., POLLOCK, K.M., Validation of the APSIM-Lucerne model for phenological development in a cool-temperate climate. In: **Proceedings...**, Hobart, Tasmania, 2001.
- MOOT, D.J.; BROWN, H.E.; TEIXEIRA, E.I.; et al. Crop growth and development affect seasonal priorities for lucerne management. In: **Proceeding of ...**, Palmerston North, New Zealand, 2003.
- MOTT, G.O., LUCAS, H.L. The design, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 6, 1952, Pennsylvania. **Proceedings of ...** Pennsylvania, United States of America, p.1380-1385, 1952.
- MORTON, J.; ROBERTS, A. Fertilizer use on New Zealand sheep and beef farm. **New Zealand Fertilizer Manufacturer's Association**, v.36, 1999.
- NAN, L.; et al. Evaluation of morphological and production characteristics and nutritive value of 47 lucerne cultivars/lines in temperate Australia. **Plant Production Science**, v.22, n.4, 2019. Doi: 10.1080/1343943X.2019.1608835
- PECETTI, L.; et al. Effects of plant architecture and drought stress level on lucerne forage quality. **Grass and Forage Science**, v.72, n.4, p714-722, 2017. Doi: 10.1111/gfs.12272
- PEMBLETOM, K.G.; DONAGHY, D.J.; VOLENEC, J.J.; et al. Yield, yield components and shoot morphology of four contrasting lucerne (*Medicago sativa* L.) cultivars grown in three cool temperate environments. **Crops & Pasture Science**, v.61, p.503-511, 2010.doi: 10.1071/CP09351
- PEMBLETOM, K.G.; RAWNSLEY, R.P.; DONAGHY, D.J. Yield and water use-efficiency of contrasting lucerne genotypes growing in a cool temperate environment. **Crop & Pasture Science**, v.62, p.610-623, 2011. Doi: 10.1071/CP11094
- RIMI, F.; MACOLINO, S.; LEINAUER, B.; et al. Alfalfa yield and morphology of three fall-dormancy categories harvest at two phenological stages in a subtropical climate. **Agronomy Journal**, v.102, p.1578-1585, 2010. Doi: 10.2134/agronj2010.0193
- SHAEFFER, C.C.; WIERSMA, J.V.; WARNES, D.D.; et al. Fall harvesting and alfalfa yield, persistence and quality. **Canadian Journal of Plant Science**, v.66, p.329-338, 1986.
- SHIXIAN, S.; et al. Correlation between Van Soest fiber of alfalfa and digestibility *in vitro*. **Southeast China Journal of Agriculture Sciences**, v.25, n.6, p.2356-2359, 2012.

- TA, H.; TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J. Impact of autumn (fall) dormancy rating on growth and development of seedling Lucerne. **Journal of New Zealand Grasslands**, v.78, p.169-176, 2016.
- TA, H.; TEIXEIRA, E.I.; BROWN, H.E.; et al. Yield and quality changes in lucerne of different fall dormancy rates under three defoliation regimes. **European Journal of Agronomy**, v.115, 2020. Doi: 10.1016/j.eja.2020.126012
- TEIXEIRA, E. I.; MOOT, D. J.; BROWN, H. E.; et al. The dynamics of lucerne (*Medicago sativa* L.) yields components in response to defoliation frequency. **European Journal of Agronomy**, v.26, p.394-400, 2007. Doi: 10.1016/j.eja.2006.12.005
- VENTRONI, L.M.; VOLENEC, J.J.; CANGIANO, C.A. Fall dormancy and cutting frequency impact on alfalfa yield and yields components. **Field Crop Research**, v.119, p.252-259, 2010. Doi: 10.1016/j.fcr.2010.07.015
- WEBB, T.H.; CLAYDON, J.J.; HARRIS, S.R. Quantifying variability of soil physical properties within soil series to address modern land-use issues on the Canterbury Plains, New Zealand. **Soil Research**, v.38, p.1115-1129, 2000.
- YODA, K. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivate or natural conditions (Intraspecific competitions among higher plants). **Journal of the Institute Polytechnic of Osaka**, v.14, p.107-129, 1963.

4 PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DO SISTEMA RADICULAR DE PLANTAS DE ALFAFA COM DIFERENTES NÍVEIS DE DORMÊNCIA SOB TRÊS INTERVALOS ENTRE DESFOLHAÇÕES POR CINCO ANOS

RESUMO

O estudo do sistema radicular, assim como seus componentes, está relacionado a características de produção, persistência e estrutura das plantas de alfafa, sendo, portanto, de extrema necessidade para se entender tais variáveis e compreender a fisiologia do dossel como um todo. Este estudo foi desenvolvido na área experimental da Lincoln University, na região de Canterbury, Nova Zelândia, entre os anos de 2015 e 2019. O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, com três parcelas (intervalos entre desfolhações - CF), três subparcelas (nível de dormência das plantas - FD) e quatro repetições. Os intervalos entre desfolhações foram de 28 dias (CF 28), 42 dias (CF 42) e 84 dias (CF 84) combinados com níveis FD2 (AgR Palatable), FD5 (Grassland Kaituna) e FD10 (SARDI 10), totalizando 9 tratamentos. As avaliações se iniciaram após a estabilização da pastagem em janeiro de 2015, e encerraram em abril de 2019, e consistiram na escavação de cerca de 0,2 m² por piquete para a coleta do sistema radicular que, após processo de limpeza e triagem, foi separado entre coroa e raiz para a determinação da produção de matéria seca e componentes orgânicos. Dentre os intervalos entre desfolhações, o tratamento CF 84 teve maior produção média de biomassa subterrânea, com 6,96 t ha⁻¹ de MS. Entre os níveis de dormência o mais produtivo foi o FD2, com 5,16 t ha⁻¹ de MS. Em fotoperíodo decrescente a relação coroa:raiz foi de 1,5 até ~3 t ha⁻¹ de MS, e então reduziu para 1,2 para todos os tratamentos. Por outro lado, em fotoperíodo crescente FD10 em CF 42 e CF 84 apresentou ponto de inflexão mais precoce (P<0,05) que os demais tratamentos (8,1 t ha⁻¹ de MS e 9,2 t ha⁻¹ de MS, respectivamente). O ponto de inflexão em fotoperíodo crescente representa a redução da relação coroa:raiz de 1,75 para 1,2. Os teores de açúcares solúveis e amido foram maiores na raiz, comparado à coroa. O oposto foi observado para a concentração de nitrogênio, com variações de acordo com a dormência (maior para FD2) e intervalo entre desfolhações (menor em CF 28). Dentre a produção dos componentes na coroa, o FD2 teve maiores (P<0,05) resultados em comparação ao FD10 para todos os componentes estudados, assim como o CF 84 foi mais produtivo

($P < 0,05$) com relação ao CF 28. Nas raízes, o N não diferiu em produção entre os níveis de dormência, tendo média de $0,04 \text{ t ha}^{-1}$ de MS, com a produção de açúcares solúveis superior ($P < 0,05$) em FD2 com relação aos demais níveis de dormência ($0,35 \text{ t ha}^{-1}$ de MS). Conclui-se que o período de 28 dias entre desfolhações não é suficiente para garantir às plantas tempo hábil para a translocação e acúmulo de fotoassimilados no sistema radicular, sendo indicados intervalos de 42 e 84 dias. O FD2 mostrou-se apto à deposição de maiores reservas orgânica, seguido do FD5, garantindo maior estabilidade na produção ao longo dos anos em comparação ao FD10.

Palavras-chave: açúcares solúveis, amido, coroa, nitrogênio, persistência, raiz.

PRODUCTION AND COMPOSITION OF PERENNIAL ORGANS OF LUCERNE GENOTYPES WITH DIFFERENT FALL DORMANCY LEVELS UNDER THREE DEFOLIATION FREQUENCIES OVER FIVE YEARS

ABSTRACT

The perennial organ study, as their organic components, is related to characteristics such as shoot yield, persistency and morphological structure of lucerne, therefore it is of extremely necessity to understand these variables and comprehend the entire canopy physiology. The study was conducted between 2014 and 2019 at Lincoln University, Canterbury, New Zealand. Three lucerne fall dormancy (FD) levels were tested: a very dormant (FD2), a semi-dormant (FD5) and a non-dormant (FD10); under the defoliation frequencies (CF) of 28 days, 42 days and 84 days. The crop seeding was done in October 2014 and its establishment was concluded in January 2015, when the data collection was initiated, according to the treatments schedule. A 0.2 m² was excavated in each plot, and the perennial material was collected. After a selection and washing, it was separated between crown and roots to dry matter yield determination, and components analyses. The data were analyzed by Tukey's test at 5% of significance. Among the defoliation frequencies, the CF 84 had the greatest mean yield, with 6.96 t DM ha⁻¹ of perennial organs, among the dormancy levels the most productive was FD2 (5.16 DM ha⁻¹). In decreasing photoperiod the crown:root ratio was of 1.5 until ~3 DM ha⁻¹ and, then, it reduced to 1.2 for all treatments. In increasing photoperiod, FD10 at CF 42 and 84 presented earlier ($P<0.05$) inflection (8.1 DM ha⁻¹ and 9.2 DM ha⁻¹, respectively). The inflection point here represents the crown:root ratio decrease, from 1.75 to 1.2. The soluble sugars and starch content was greater in the root compared to the crown. The opposite was observed to nitrogen content (N) that varied according to the dormancy level (greater in FD2) and defoliation frequency (lower in CF 28). Among the crown component, the FD2 had greater ($P<0.05$) results compared to FD10 for all studied components, as long as CF 84 was greater ($P<0.05$) than CF 28. In the roots, the N yield did not differ among dormancy levels (0.35 DM ha⁻¹). It follows that the 28 regrowth period is not enough to guaranty enough time to organic component deposit in

the perennial organs, being indicated frequencies of 42 and 84 days. The FD2 was able to deposit the greatest organic reserves in perennial organs, followed by FD5 that insured greater yield stability over the years compared to FD10.

Keywords: crown, nitrogen, persistence, roots, soluble sugars, starch.

4.1 Introdução

Ao se estudar somente a produção, desenvolvimento e morfogênese das espécies forrageiras, em especial as perenes, não se leva em consideração o sistema radicular das plantas, fonte de substratos essenciais para os períodos de rebrota e estresse. Ao entender a fisiologia de deposição e mobilização dos compostos orgânicos perenes no sistema radicular é possível manejar, e até mesmo predizer, as necessidades do dossel e suas limitações.

Sabe-se que a habilidade e velocidade em depositar carbono (C) e nitrogênio (N) nas raízes são variáveis de acordo com as características genéticas de cada cultivar (CUNNINGHAM et al., 2001; SEPPÄNEN et al., 2018). Com destaque para as plantas com maior dormência (plantas FD2, por exemplo), que têm por principal característica a acentuada sazonalidade da produção perene e o pousio nas estações frias. Estas reservas podem influenciar em características de cunho produtivo, tais como taxa de crescimento linear (TEIXEIRA et al., 2007) e persistência (RIMI et al., 2014).

Porém, o manejo aplicado em determinados genótipos pode potencializar ou reprimir tais características, fazendo até a mais dormente das plantas reduzir sua persistência devido ao grande estresse causado pela intensidade ou frequência de desfolhação. Portanto, faz-se necessário o estudo do comportamento de diversos níveis de dormência de alfafa submetidos à frequência de desfolhas contrastantes para definir os limites de estresse imposto a cada uma delas, para então discernir dentre as frequências de corte, quais são as mais indicadas para cada nível de dormência estudado.

4.2 Material e Métodos

Caracterização da área

O experimento foi conduzido no Field Research Centre (FRC) pertencente a Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia (43°38'S e 172°8'L, 10 m) em área de 0,61ha (135 x 45 m) localizada no piquete 12 do Iversen Field (I12). O solo é classificado como “Wakanui silt loam” (Aquic Haplustept, USDA Soil Taxonomy), caracterizado como um solo jovem e pálido, seco no verão e úmido no inverno

(HEWITT, 2010). Seu perfil é composto por 0,3 m de superfície densa e argilosa, com horizontes arenosos de profundidade de 2 a 3 m. Essa distribuição de horizontes resulta em uma camada superficial de alta densidade e baixa drenagem. A concentração de água disponível varia de 120 a 180 mm m⁻¹ (WEBB et al., 2000).

O clima na região de Canterbury é caracterizado por pluviosidade anual de aproximadamente 640 mm, com estação de chuvas definida (Tabela 4.2.1). A temperatura média anual é 11,4 °C com variação mínima de 6,4 °C em junho e máxima de 16,6 °C em janeiro. Os dados meteorológicos da área experimental foram coletados na Estação Meteorológica Broadfields (NIWA, Instituto Nacional de Águas e Pesquisas Atmosféricas, Nova Zelândia), localizada a 2 km ao norte da área experimental.

Tabela 4.2.1 Médias mensais de 2014 a 2019 de radiação solar total (R_0), temperatura máxima ($T_{\max}$), mínima ($T_{\min}$) e média ($T_{\text{média}}$) do ar; médias históricas de 1960 a 2019 de evapotranspiração potencial (ET_p), pluviosidade total e velocidade do vento mensurados na estação meteorológica Broadfield.

	Período experimental					Médias históricas	
	R_0 (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	$T_{\max}$ (°C)	$T_{\min}$ (°C)	$T_{\text{média}}$ (°C)	ET_p (mm)	Pluviosidade (mm)	Vento (km dia ⁻¹)
Jan	22,37	22,68	12,12	17,15	1,56	49,41	4,60
Fev	20,16	23,24	11,57	16,97	1,45	42,64	4,28
Mar	14,13	20,50	10,79	15,25	1,71	52,15	3,95
Abr	9,11	17,26	7,58	12,32	3,05	56,13	3,75
Mai	6,24	15,47	4,88	10,17	1,56	56,93	3,40
Jun	4,59	12,39	2,92	7,53	1,56	61,65	3,02
Jul	5,55	11,78	2,06	6,90	1,63	60,85	3,53
Ago	8,10	12,45	2,48	7,60	1,00	61,13	3,53
Set	12,41	14,30	4,96	9,61	1,29	39,87	4,15
Out	18,10	17,54	6,23	11,81	1,08	47,79	4,22
Nov	22,40	19,21	7,93	13,56	1,33	50,03	4,24
Dez	22,90	21,01	10,71	15,70	1,39	51,67	4,64
Média anual	14,05	17,53	7,28	12,31	1,56	52,52	3,96

As médias mensais de precipitação e Penmann evapotranspiração potencial estão na Figura 4.2.1.

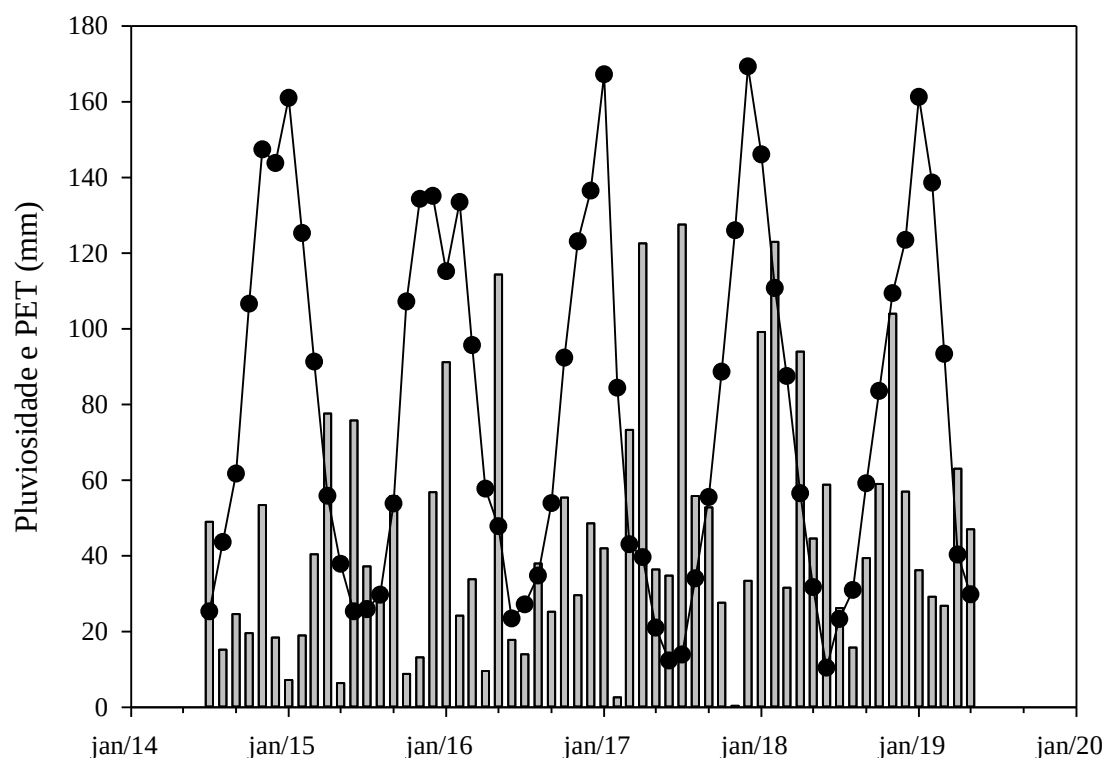


Figura 4.2.1 Pluviosidade mensal acumulada (mm - colunas) e Penmann evapotranspiração potencial (PET; mm - pontos) para o período de junho de 2014 a maio de 2019 na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Dados coletados na Estação Meteorológica Broadfield.

Os valores para graus-dia (T_t , $^{\circ}\text{Cd}^{-1}$) foram derivados da temperatura do ar utilizando o modelo “broken-stick threshold” (Figura 4.2.2) com temperatura basal igual a 1°C (T_b). Sendo assim o modelo calcula temperaturas do ar abaixo de 1°C são iguais a zero (MOOT et al., 2001). Esse modelo acumula $0,71^{\circ}\text{Cd}^{-1}$ por grau entre T_b e 15°C , a partir de então passa a acumular 1°Cd^{-1} por grau até os 30°C (T_o). Acima de T_o os graus-dia decaem linearmente a zero até os 40°C (T_m) (MOOT et al., 2001). O acumulado de graus-dia foi calculado pela soma de graus-dia de cada ciclo de rebrote, a cada ano de rebrote ou durante todo o experimento.

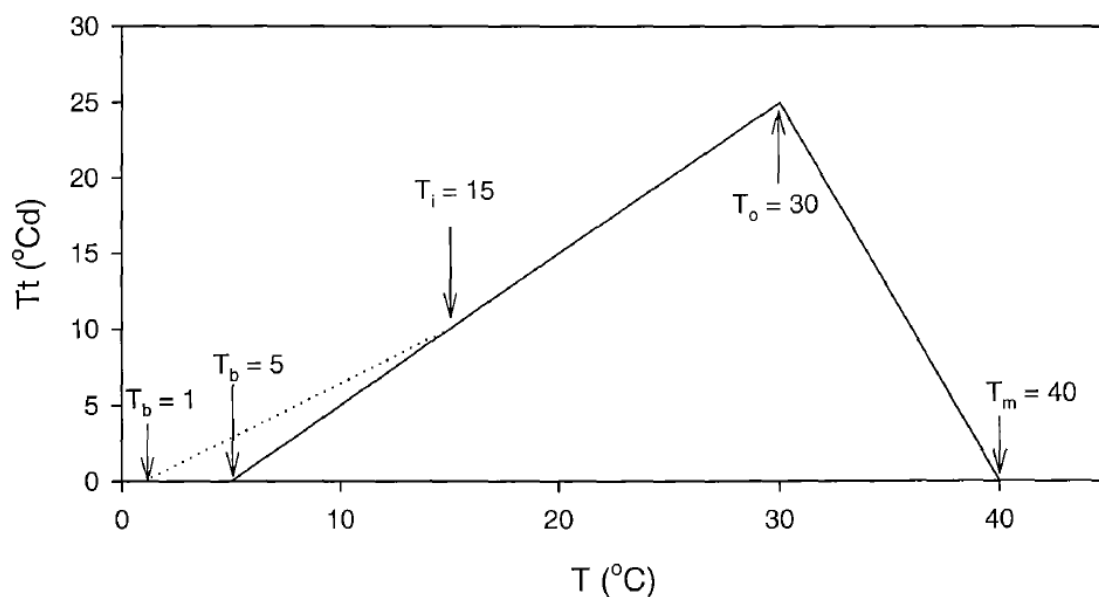


Figura 4.2.2 Modelo de cálculo para a obtenção de graus-dia de acordo com a temperatura do ar.

A linha tracejada representa o modelo com T_b igual a 1°C, enquanto que a linha contínua representa o modelo com T_b igual a 5°C. Fonte: Moot et al. (2001).

Histórico da área

Entre 2010 e 2011 a área foi utilizada para produção de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) e couve forrageira (*Brassica oleracea* ss. *Acephala*). Em setembro de 2011 ocorreu semeadura de colza (*Brassica napus* L.), e em abril de 2012 a ressemeadura de colza consorciada com centeio (*Secale cereale* L.), com cultivo subsequente de azevém anual 'ARI'. Em agosto de 2014 ocorreu aplicação de herbicida (Roundup 360, glifosato; 720 g a.i ha⁻¹) seguida por manejo de descompactação do solo em 2, 9 e 10 de setembro e 5 de outubro.

Em outubro de 2014, antes da semeadura, foi realizada análise da fertilidade do solo baseada em amostra composta de 20 sub amostras homogeneizadas de solo (0-150 mm de profundidade) coletadas aleatoriamente na área (Tabela 2.4.2). Baseado nesta análise, nenhuma correção de solo foi necessária. Em agosto de 2016 a análise foi repetida com a coleta de 20 sub amostras de solo por parcela. Esta última análise indicou deficiência de fósforo (P) e enxofre (S(SO₄)) com a aplicação de 350 kg ha⁻¹ de superfosfato extra (0:9:11, NPK) para correção realizada no dia 18 de agosto de 2016.

Tabela 4.2.2 Resultados de análise de solo da área I12 na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia nos períodos de 2014 e 2016.

Local	K	Ca	Mg	Na	P	S(SO ₄)	pH _{água}
	-----cmol dm ⁻³ -----				mg L ⁻¹	mg kg ⁻¹	
<i>Outubro de 2014</i>							
Norte	0,28	7,2	0,86	0,13	13	3	5,9
Sul	0,39	7,0	0,76	0,12	16	3	5,8
<i>Agosto de 2016</i>							
CF 28	0,25	6,4	0,8	0,2	10	5	5,9
CF 42	0,29	7,2	0,9	0,22	9	6	5,8
CF 84	0,3	7,1	0,86	0,2	9	8	5,9
*Exigência mínima	0,26	-	0,34	-	15-20	11	5,3

*De acordo com Morton e Roberts, 1999. Dados de Norte e Sul representam as coordenadas geográficas dentro da área experimental.

Delineamento experimental e manejo da pastagem

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) com parcelas subdivididas, com três intervalos entre desfolhações (CF 28 dias, CF 42 dias e CF 84 dias) representaram as parcelas principais, e três diferentes níveis de dormência de alfafa: dormente (cv. AgR Palatable; FD2), semi dormente (cv. Grassland Kaituna; FD5) e extremamente não dormente (SARDI 10; FD10), compreenderam as subparcelas. O delineamento resultou em 9 tratamentos com 4 repetições, totalizando 36 parcelas (20 x 4,2 m) (Apêndice 1). A semeadura da alfafa ocorreu em 8 de outubro de 2014, as sementes inoculadas (Nodule®) foram distribuídas em densidades de 15,1; 11,8 e 11,1 kg ha⁻¹. Esta diferença foi em decorrência da taxa de germinação diferenciada de cada nível de dormência, objetivando uma germinação padrão de 10 kg ha⁻¹. O período de estabilização da pastagem terminou em 25 de janeiro de 2015, quando as hastes previamente marcadas atingiram 80% de florescimento, e então foi realizado corte de homogeneização da área a 5 cm de altura. A partir deste momento, os tratamentos foram rebaixados de acordo com os intervalos entre desfolhações. Os dados da fase de estabelecimento foram descritos por Ta et al. (2016).

O rebaixamento da pastagem para os tratamentos CF 28 e CF 42 consistiu no corte a 5 cm do solo usando um triturador de forragem Fieldmaster acoplado em trator munido de carreta forrageira. A altura de corte das plantas foi determinada para prevenir danos na coroa e garantir o corte de toda a biomassa aérea, evitando hastes residuais para o próximo ciclo de crescimento. O rebaixamento do tratamento CF 84 foi

geralmente sincronizado aos demais tratamentos e, devido às suas hastes mais grossas e firmes, foram realizados pastejo de ovelhas e/ou cordeiros por 3-5 dias, com subsequente corte de homogeneização das hastes restantes a 5 cm de altura do solo. A carga animal variou de acordo com a necessidade de remoção da matéria verde num período de 3-5 dias, utilizando a técnica “put-and-take” (MOTT & LUCAS, 1952). O período experimental foi de cinco anos, de outubro de 2014 a maio de 2019. Este período incluiu a fase de estabelecimento além de cinco estações de rebrotação, nas quais os intervalos entre desfolhações (CF) foram aplicados (Tabela 4.2.3).

Tabela 4.2.3 Período experimental para fase de estabelecimento e manejo de desfolhação de alfafa com níveis contrastantes de dormência na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Fase	Ano de rebrote	Duração experimental
Fase de estabelecimento	2014	De outubro de 2014 a janeiro de 2015 (110 dias)
1° rebrote	2015	De janeiro de 2015 a agosto de 2015 (188 dias)
2° rebrote	2015/16	De setembro de 2015 a maio de 2016 (255 dias)
3° rebrote	2016/17	De Julho de 2016 a abril de 2017 (283 dias)
4° rebrote	2017/18	De Julho de 2017 a abril de 2018 (277 dias)
5° rebrote	2018/19	De julho de 2018 a maio de 2019 (297 dias)

Controle de invasoras

Nos dois primeiros meses pós-emergência das plântulas foi realizado controle manual de invasoras conforme necessário. Na primavera de 2015, o trevo branco (*Trifolium repens*) invadiu a área experimental, principalmente no tratamento CF 28. Para tanto, após coleta e rebaixamento destas parcelas, o herbicida Classic® (Chlorimuron-ethyl; 30 a.i ha⁻¹) foi aplicado nas parcelas referentes ao tratamento CF 28 (8 de outubro de 2015). No inverno de 2016, Nu-Trazine 900DF (Atrazina; 720g a.i ha⁻¹) foi aplicado em toda a área experimental para controle de azevém perene (*Lolium perene* L.), capim-galinha (*Poa annua* L.) e azevém anual.

A aplicação de Classic® para controle de trevo branco foi repetida em 11 de dezembro de 2017, 7 de maio de 2018, 26 de outubro de 2018 e 4 de dezembro de 2018. Em 30 de outubro de 2018, NuTrazine 900DF foi aplicado novamente para controle de língua de vaca (*Rumex obtusifolius* L.).

Irrigação e quantidade de água no solo

Do Ano 1 ao Ano 4, a exigência de irrigação foi calculada com base no déficit de umidade dos perfis do solo máximo de 250 mm, para evitar estresse hídrico. No Ano 5 a irrigação foi aplicada com base na necessidade de umedecer o solo e facilitar a coleta das raízes nas datas pré-estipuladas. Para tanto utilizou sistema de irrigação por aspersão utilizando aspersor móvel automático calculado para aplicar de 6 a 8 mm/h de água (Tabela 4.2.4).

A quantidade de água contida no solo foi mensurada a cada 15 dias utilizando Tubos de Sonda de Nêutrons (Neutron Probe Tubes, Troxler Electronic Industries, Inc., Research Triangle Park, Carolina do Norte, EUA) em profundidade de 0,2 a 2,0 m. Os tubos foram alocados em quatro pontos da área experimental, em piquete FD5 CF 42, considerada uma situação intermediária entre os tratamentos, sem tendências de extremos. A partir dos dados obtidos destas mensurações, um modelo simulado foi ajustado utilizando dados de precipitação (pluviosidade e irrigação) e drenagem do solo (BROWN, 2004; TEIXEIRA, 2006) (Figura 4.2.3).

Tabela 4.2.4 Irrigação aplicada no piquete I12 no Field Research Centre, Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia, de 2015 a 2019.

Data de início	Data de término	Quantidade (mm)
<i>Primeiro ano de rebrote</i>		
13/01/15	14/01/15	52
31/03/15	01/4/15	42
Total		94
<i>Segundo ano de rebrote</i>		
03/11/15	04/11/15	38
26/11/15	27/11/15	40
30/12/15	02/01/16	40
13/01/16	13/01/16	50
11/02/16	11/02/16	60
23/03/16	23/03/16	45
11/04/16	11/04/16	45
26/04/16	26/04/16	45
13/05/16	15/05/16	45
Total		408
<i>Terceiro ano de rebrote</i>		
08/12/16	09/12/16	60
09/01/17	10/01/17	60
22/02/17	23/02/17	60
05/03/17	06/03/17	60
Total		240
<i>Quarto ano de rebrote</i>		
12/11/17	13/11/17	40
20/11/17	21/11/17	40
29/11/17	30/11/17	30
13/12/17	14/12/17	30
14/02/18	15/02/18	30
20/02/18	21/02/18	30
Total		200
<i>Quinto ano de rebrote</i>		
10/10/18	11/10/18	30
12/11/18	13/11/18	30
07/01/19	08/01/19	30
28/01/19	29/01/19	90
07/02/19	07/02/19	30
18/02/19	20/02/19	90
22/02/19	22/02/19	30
07/03/19	08/03/19	60
Total		390

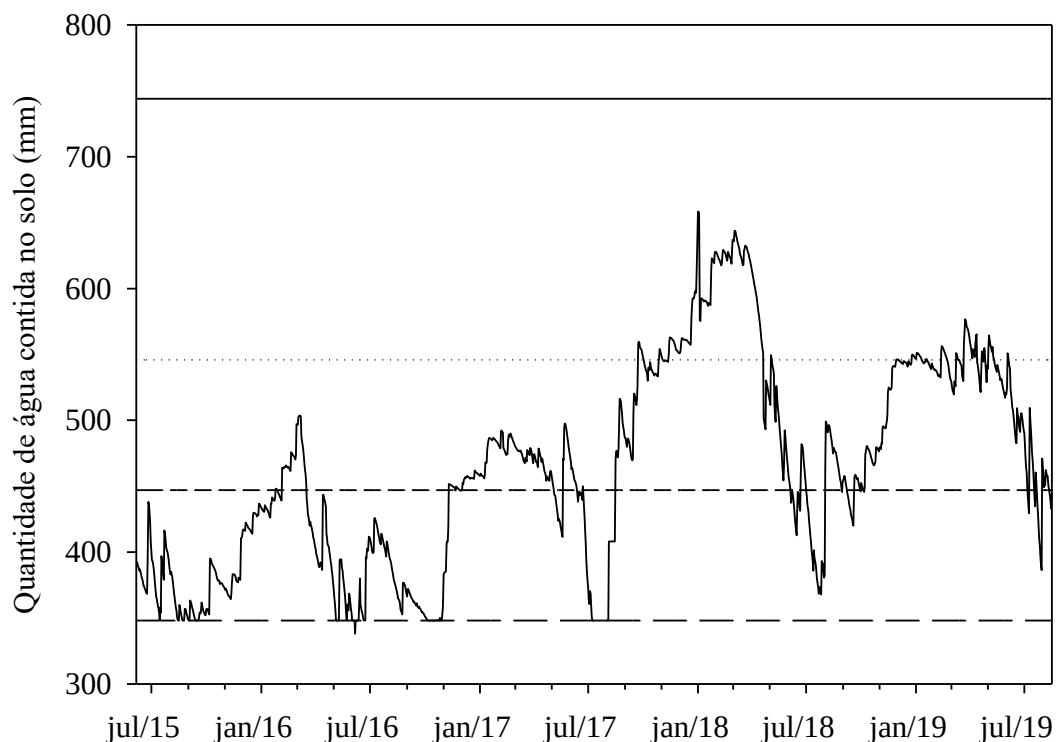


Figura 4.2.3 Quantidade total de água contida no solo (mm) do piquete 12 do Iversen Field por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

A linha sólida superior representa o limite máximo de contenção de água (744 mm); a linha pontilhada representa 75% da capacidade potencial de disponibilidade de água para as plantas (PAWC); a linha de traços curtos representa 50% da PAWC; a linha de traços longos representa o ponto de murcha permanente (348 mm).

Coleta de amostras e mensurações

A produção de biomassa radicular (t ha^{-1} de MS) foi mensurada a partir de coletas de acordo com as datas de corte pré-determinadas para cada intervalo entre desfolhações. Para tanto foi utilizado um quadrado de ferro de $0,2 \text{ m}^2$ lançado aleatoriamente no piquete, este quadro deveria englobar 4 linhas de plantio das quais as hastes foram cortadas acima do nível da coroa. Utilizando-se da mesma área, o sistema radicular das plantas foi manualmente escavado a aproximadamente 30 cm de profundidade, utilizando pá. As amostras passaram por triagem inicial para a retirada de solo e impurezas. As amostras de material radicular foram identificadas e encaminhadas para sala de triagem, lavadas com água corrente para a retirada completa de solo e

impurezas. Após secas, as amostras foram contadas para determinação de número de plantas por m² (planta m⁻²).

No primeiro ano de experimento, realizou-se a separação do material radicular entre coroa, porção superior da raiz (5 cm abaixo da base da coroa) e porção inferior da raiz para a determinação dos padrões de crescimento destes órgãos a partir da produção de MS de cada um. A relação entre coroa e porção superior da raiz foi forte ($R^2=0,85$), mas maior que 1:1 (Figura 4.2.4) para os dados dos anos iniciais (2015/16). Com base nisso, as amostras subsequentes foram separadas somente entre coroa (coroa e porção superior) e raiz (porção inferior da raiz). A porção superior da raiz utilizada neste estudo foi multiplicada por 1,18 para assim estabelecer a relação 1:1. As amostras foram secas em estufa a 55-65°C por 72 horas ou até peso constante, e então pesadas para produção total de MS. As amostras foram moídas em moinho de facas do tipo Willey com crivo de 1 mm, e armazenado para futuras análises.

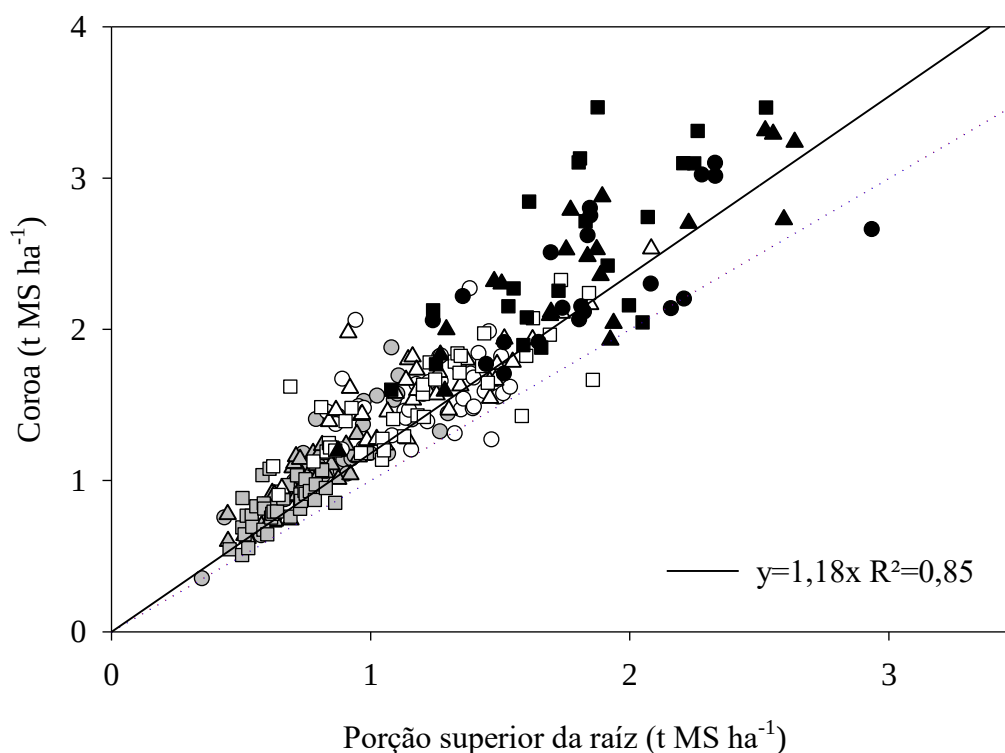


Figura 4.2.4 Relação entre coroa e porção superior da raiz (t MS ha⁻¹) de alfafa com níveis de dormência FD2 (○), FD5 (Δ) e FD10 (□) sob diferentes intervalos entre desfolhações (CF) de 28 dias (símbolos cinza), 42 dias (símbolos abertos) e 84 dias (símbolos fechados), por cinco anos na Universidade de Lincoln, Canterbury, Nova Zelândia.

Linha pontilhada representa a relação 1:1.

A taxa de crescimento linear (TCL, $\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) foi calculada pela inclinação entre os valores de produção de MS (t ha^{-1} de MS) e o acumulado de graus-dia para o ciclo de rebrote.

Análises químicas

As análises para determinação de açúcares solúveis e amido foram realizadas no laboratório do Field Research Centre, usando metodologia desenvolvida no laboratório Riddles da Lincoln University. Para tanto, as amostras de coroa e raiz foram analisadas separadamente. Foi realizado preparo inicial das amostras, com a pesagem de 25 mg de MS de amostra em duplicata e extração por etanol (1 mL de etanol 80%, submetido à mistura por vortex, incubação com agitação a 65 °C por 30 minutos (VorTemp™ 56, LabNet®) e centrifugadas a 13000 rpm por 15 minutos a 22 °C (Heraeus™ Mulifuge™ X1R Centrifuge, Thermo Scientific®)). O sobrenadante foi transferido para tubo de Eppendorf 02 mL. Esse processo foi repetido para garantir a total extração. Os sobrenadantes combinados nos tubos Eppendorf e os resíduos sólidos armazenados em tubos com tampa de rosca foram armazenados a -20 °C.

Determinação dos açúcares solúveis

A partir das amostras combinadas de sobrenadante, 12 μL foram transferidos para microprato (96 alvéolos, não tratados, de fundo achatado, estéreis, Biofil®) em triplicata com 188 μL de água deionizada e misturados. Desta diluição, 8 μL foram coletados e adicionados em novo microprato com 32 μL de água deionizada (40 μL). Esse processo foi desenvolvido para aumentar a acurácia da leitura do espectrofotômetro. Para determinar a curva padrão, uma solução estoque de sacarose (10 mg/10 mL) foi diluída em concentrações de 0, 10, 20, 30, 40, 50, 75 e 100 $\mu\text{L/mL}$ e adicionadas ao microprato (40 μL) em triplicata. As amostras e os padrões receberam 200 μL de reagente antrona (30 mL de etanol 100% + 50 mL de H_2SO_4 concentrado + 10 mg de antrona) e misturados. O microprato foi selado com plástico filme (Axygen® AxySeal), submetidos à incubação com agitação a 65 °C por 25 minutos, e a absorbância foi lida em Espectrofotômetro UV/Vis Miltiskan™ Sky (Thermo Fisher Scientific®) a 620 nm. A concentração de açúcares solúveis foi determinada pela equação 4.2.1.

$$\text{Açúcares solúveis (\%)} = \frac{\text{leitura média da triplicata}}{\text{peso inicial da amostra} \cdot 300 \cdot y_0} \quad \text{Equação 4.2.1}$$

Em que y_0 é o intercepto da curva padrão calculada para o microprato.

Determinação de amido

Para a determinação da concentração de amido, o resíduo sólido remanescente da extração por etanol recebeu 1 mL de água deionizada utilizando processo de extração semelhante ao anterior (etanol) sendo o sobrenadante descartado. Este processo foi realizado duas vezes para extração total dos resíduos solúveis em água. O resíduo sólido recebeu 500 μ L de água deionizada + 73 μ L de α -amilase termoestável (quantidade determinada por atividade enzimática, Sigma A3403 – 5MU). As amostras foram submetidas a banho-maria a 100 °C por 12 minutos com agitação intensa a cada 4 minutos. Os tubos foram resfriados a temperatura ambiente utilizando ventilador de mesa. Então, 500 μ L de solução tampão de acetato de sódio (pH 4,5) + 10 μ L de amiloglucosidase (Megazyme E-AMGDF) foram adicionados aos tubos, submetidos à incubação com agitação a 55 °C por 1 h. Finalmente, os tubos foram resfriados a temperatura ambiente com ventilador de mesa e centrifugados a 13000 rpm por 15 minutos.

As amostras foram diluídas 40x em microtubos de 1,2 mL (Micro Titertuber) (25 μ L de amostra + 975 μ L de água deionizada, misturados), dos quais 20 μ L foram coletados e transferidos para microprato em triplicata. Uma solução padrão de glicose (0,5 mg/mL) foi diluída a 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 e 0,5 mg/mL e transferidas ao microprato em triplicata (20 μ L). 100 μ L de glicose hexoquinase (Sigma G3293 – 50 mL) foram adicionados a cada alvéolo do microprato que foi então selado com plástico filme, submetido à incubação com agitação a temperatura ambiente por 15 minutos e lido usando Espectrofotômetro UV/Vis MultiskanTM Sky (Thermo Fisher Scientific®) a 340 nm. A concentração de amido foi determinada pela equação a seguir:

$$\text{Amido (\%)} = \frac{\left(\frac{\text{leitura média da triplicata} \cdot 40}{y_0} \right)}{\frac{\text{peso da amostra inicial}}{10}} \quad \text{Equação 4.2.2}$$

Em que y_0 é o intercepto da curva padrão calculada para o microprato.

Determinação de Nitrogênio

A concentração de nitrogênio (N) foi mensurada nas dependências da Faculty of Agriculture and Life Sciences, da Lincoln University. Para tanto, foi utilizado o método analítico Elemental rapid-N exceed®, que analisou a concentração de N em amostras de raízes e coroa de alfafa pela redução de óxido nitroso e absorção do excesso de oxigênio (Elementar Analysensysteme GmbH®).

A concentração de N foi multiplicada por 6,25 para a estimação da concentração de proteína bruta (PB, %) nas raízes e coroa. Para a determinação da produção de amido, açúcares solúveis e proteína bruta nas coroas e raízes, sua concentração foi multiplicada pela produção de biomassa de cada órgão separadamente. A biomassa restante foi considerada porção estrutural, composta por celulose, hemicelulose, pectina, fenóis, ácidos orgânicos e outros componentes (TEIXEIRA et al., 2008). A produção total de cada componente foi obtida a partir da soma da produção de cada órgão.

Análise estatística

Para analisar os efeitos das parcelas e sub parcelas, foi realizada análise de variância utilizando o PROC GLM, as diferenças significativas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Este teste ainda avaliou as interações entre os efeitos testados, no mesmo nível de significância. Regressões lineares e não lineares foram realizadas pelo PROC REG e PROC NLIN, respectivamente.

Para testar as diferenças dos parâmetros das regressões lineares, foram realizados testes de contrastes ortogonais, usando o PROC GLM. As regressões não lineares tiveram a soma dos quadrados dos resíduos de cada tratamento calculada utilizando variáveis *dummy* (teste de modelo de identidade e parâmetro de igualdade). Os resultados foram utilizados para o cálculo de qui-quadrado de cada parâmetro das equações. Apenas as comparações entre qui-quadrado calculado e qui-quadrado tabelado foram realizadas pelo teste F usando o software R®, versão 4.0.9 (P=0.05), e então comparados os parâmetros das regressões.

O cálculo para a determinação do r-quadrado das regressões não lineares foi realizado pela divisão da soma dos quadrados do modelo pela soma dos quadrados totais. Com a exceção da análise entre o qui-quadrado, todas as análises estatísticas

foram realizadas no SAS®, University Edition. Os gráficos foram confeccionados no programa SigmaPlot, versão 13.0 (SPPSS, Inc.).

4.3 Resultados e discussão

Resultados

A produção de matéria seca (t ha^{-1} de MS) do sistema radicular variou conforme as estações do ano, com aumento no outono e redução com o rebrote da primavera. Não houve interação entre intervalos entre desfolhações (CF) e nível de dormência (FD) ($P>0,05$) (Figura 4.3.1).

No tratamento CF 28, a produção variou de 1 a 5 t ha^{-1} de MS, com média de $2,8 \text{ t ha}^{-1}$ de MS. A partir do terceiro ano houve redução gradativa da produção de biomassa radicular do FD10, com o mínimo produzido apresentado no verão de 2019 ($0,8 \text{ t ha}^{-1}$ de MS). No mesmo período, o FD2 obteve $5,2 \text{ t ha}^{-1}$ de MS e o FD5 $1,9 \text{ t ha}^{-1}$ de MS.

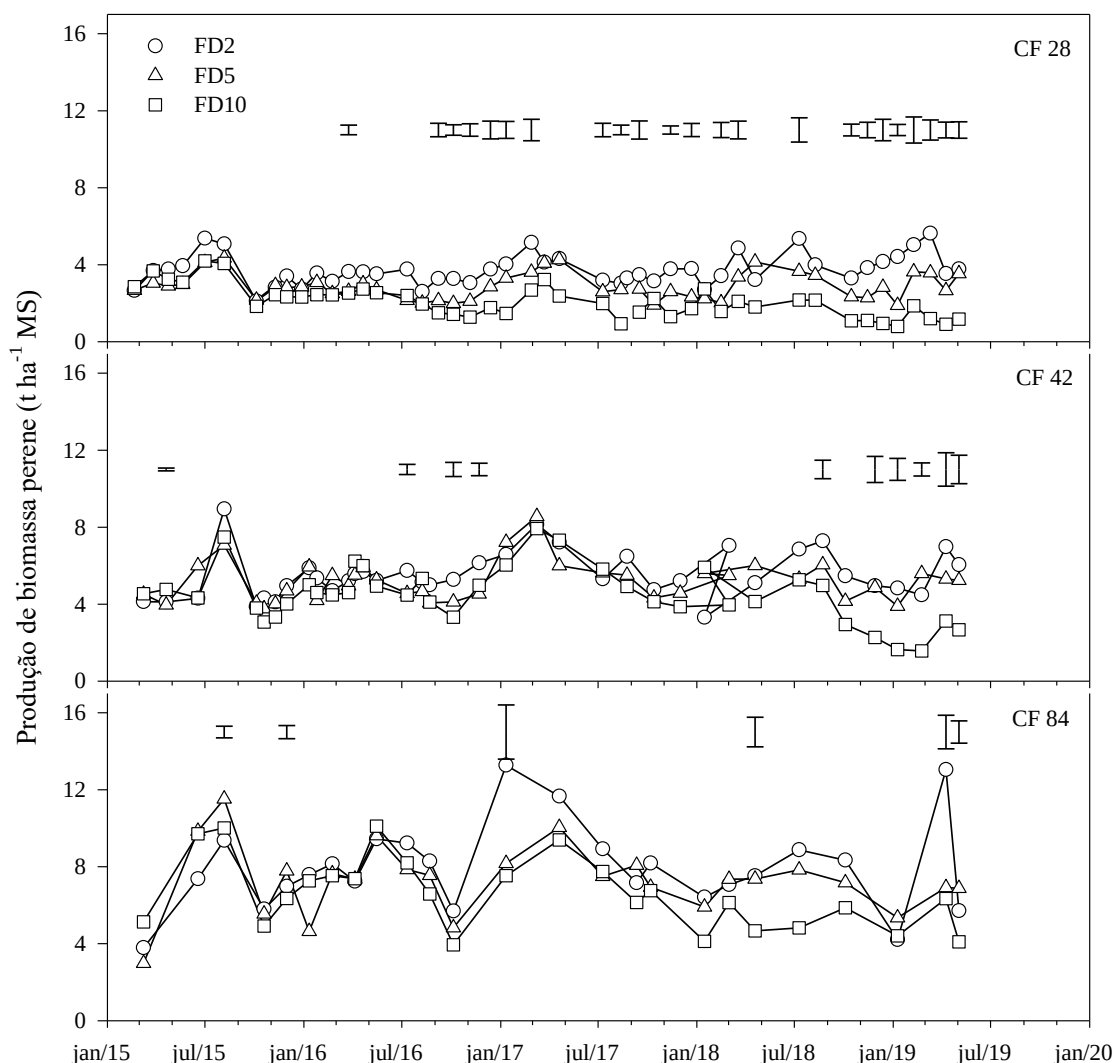


Figura 4.3.1 Produção de órgãos perenes ($t\ ha^{-1}$ de MS) de genótipos de alfafa FD2, FD5 e FD10 submetidos a três frequências de corte (CF 28, CF 42 e CF 84) por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

As barras indicam o erro padrão da média ($\alpha=0,05$) para diferenças entre os níveis de dormência em cada intervalo entre desfolhações.

A relação coroa:raiz foi expressa de formas diferentes ($P<0,05$) durante os fotoperíodos. Em fotoperíodo decrescente, os genótipos se comportaram da mesma forma ($P>0,05$), sem efeitos de manejo (Figura 4.3.2a). Nessa estação o crescimento inicial da coroa foi 1,5 vezes maior que o crescimento das raízes. Mas, a partir do momento que a coroa excedeu as $3,2\ t\ MS\ ha^{-1}$ esse órgão parece ter encontrado um fator limitante para o crescimento e reduziu essa proporção para 1,2 vezes o crescimento

das raízes. A regressão tem um padrão de crescimento exponencial com um crescimento máximo estimado da coroa de 15,6 t MS ha⁻¹ em fotoperíodo decrescente.

Durante o fotoperíodo crescente, houve diferenças (P<0,05) nessa relação entre níveis de dormência e intervalos entre desfolhações (Figura 4.3.2b). O FD2 e o FD5 não diferiram do FD10 CF 28 e tiveram um ponto de platô maior (9,2 t MS ha⁻¹), enquanto que FD10 CF 42 e CF 84 mostraram esse máximo crescimento da coroa de 8,1 t MS ha⁻¹. Em contraste ao fotoperíodo decrescente, nessa estação quando as 3,0 t MS ha⁻¹ de raízes foram atingidas a proporção de coroa era 1,75 vezes as raízes, e só reduziu para 1,2 vezes quando a coroa teve massa maior que 6,5 t MS ha⁻¹. Esse comportamento evidencia a exigência dos diferentes órgãos em comportar reservas energéticas, com o aumento inicial de massa nas coroa e posterior aumento nas raízes.

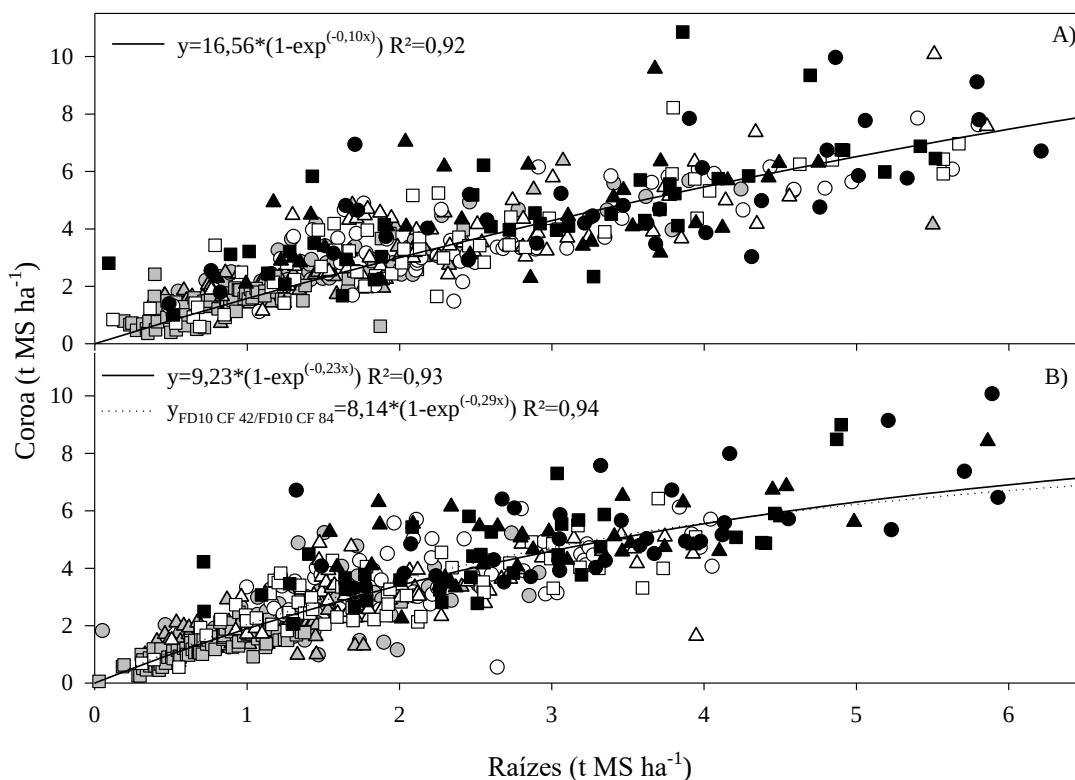


Figura 4.3.2 Relação entre coroa e raízes (14 t MS ha⁻¹) de genótipos de alfafa FD2 (○), FD5 (△) e FD10 (□) sob os intervalos entre desfolhações (CF) de 28 dias (símbolos cinza), 42 dias (símbolos abertos) e 84 dias (símbolos fechados) em fotoperíodo decrescente (a) e crescente (b) por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Como a proporção entre coroa e raízes não foi de 1:1, a concentração de componentes nesses órgãos foi avaliada separadamente (Tabela 4.3.1). Não houve interações significativas ($P>0,05$) entre CF x FD para nenhum dos componentes avaliados.

A concentração de amido (%) foi menor na coroa comparado à raiz; com média de 25,7% entre os níveis de dormência. O menor intervalo entre desfolhações causou uma redução ($P<0,05$) na concentração de amido nas raízes, com aproximadamente 4% menos amido do que CF 42 e CF 84. A concentração de açúcares solúveis provou ser maior ($P<0,05$) na raiz com superioridade ($P<0,05$) no FD2, tanto nas raízes quanto na coroa, com um acumulado de 23,1%. Enquanto que FD5 teve 20,7% e FD10 acumulou somente 19,0%. Os intervalos entre desfolhações não foram efetivos em promover mudanças na concentração de açúcares solúveis nos órgãos perenes ($P>0,40$).

Tabela 4.3.1 Concentrações de amido (%), açúcares solúveis (%) e nitrogênio (N) nas coroas e raízes de alfafa com níveis de dormência (FD) 2, 5 e 10 sob intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias durante cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

	Amido (%)		Açúcares solúveis (%)		Nitrogênio (%)	
	Coroa	Raiz	Coroa	Raiz	Coroa	Raiz
FD2	14,43 A ¹	26,57 A	9,33 A	13,80 A	1,91A	1,42 A
FD5	14,24 A	25,80 A	8,78 A	11,89 B	1,83 A	1,38 A
FD10	13,61 A	25,02 A	7,45 B	11,58 B	1,83 A	1,45 A
EPM	0,58	0,93	0,28	0,32	0,03	0,02
P	0,53	0,49	<,0001	<,0001	0,14	0,24
CF 28	13,63 A	22,71 B	8,53 A	12,42 A	1,67 B	1,18 C
CF 42	14,70 A	26,85 A	8,94 A	12,62 A	1,73 B	1,33 B
CF 84	14,05 A	27,83 A	8,08 A	12,24 A	2,17 A	1,74 A
EPM	0,59	0,93	0,28	0,32	0,03	0,03
P	0,47	0,0002	0,09	0,72	<,0001	<,0001
CF x FD						
EPM	1,01	1,60	0,47	0,56	0,06	0,04
P	0,86	0,36	0,30	0,39	0,44	0,77

¹letras maiúsculas representam diferenças entre as médias dos componentes de cada órgão pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). EPM = erro padrão da média.

A concentração de N (%) teve média de 1,85% na coroa, aproximadamente 0,4% maior ($P<0,05$) que nas raízes. O CF 84 permitiu que as plantas alocassem mais N nestes órgãos em comparação com o CF 42 e CF 28. Esta vantagem foi suficiente para

igualar ($P>0,05$) a porção menos concentrada de N no CF 84 às porções mais concentradas de N nos CF 28 e CF 42 (1,67% e 1,73%, respectivamente).

Ao longo dos anos é possível observar as flutuações na concentração de amido nos órgãos subterrâneos (Figura 4.3.3).

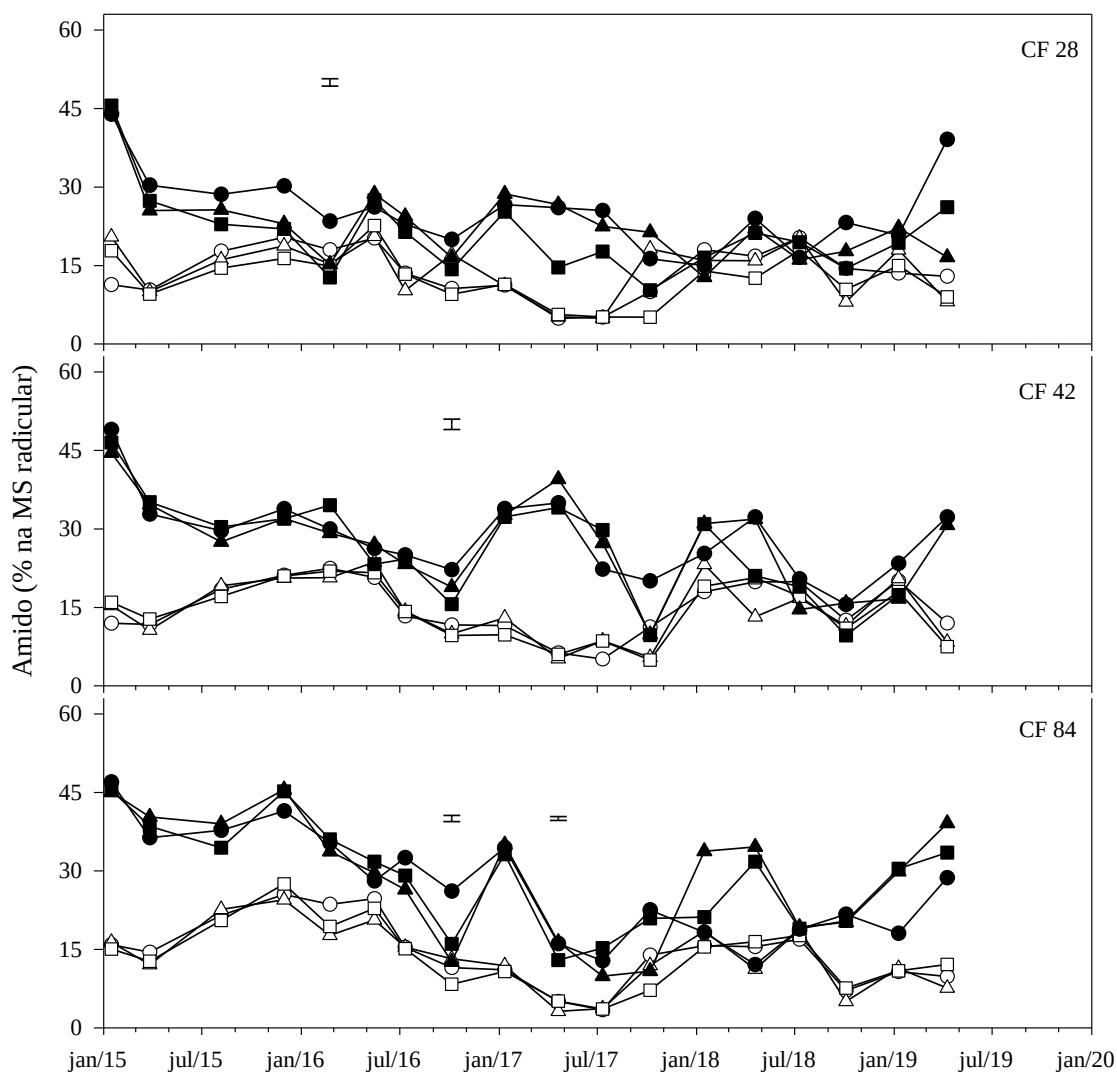


Figura 4.3.3 Concentração de amido (% na MS) na coroa (símbolos abertos) e raízes (símbolos fechados) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob diferentes intervalos entre desfolhações (CF 28, CF 42 e CF 84) por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

As barras indicam o erro padrão da média ($\alpha=0,05$) para diferenças entre os níveis de dormência em cada intervalo entre desfolhações.

No verão de 2015/16, as raízes foram a principal fonte de amido para as plantas, com significativa redução da concentração no FD5 e FD10, comparado ao FD2. No mesmo tratamento, a concentração de amido na coroa não mudou ($P>0,05$) e manteve média de 13,6% da MS. Essas variações sazonais tiveram maior destaque no CF 42, com o aumento das reservas no período de outono/inverno e redução com o rebrote na primavera, com um menor efeito ($P<0,05$) no FD2 que teve maior concentração de amido do que os demais níveis de dormência.

A flutuação sazonal dos açúcares solúveis, tanto na coroa quanto nas raízes, foi menos evidente, mas ainda presente, com redução no verão e aumento no período de outono/inverno para todos os níveis de dormência e intervalos entre desfolhações (Figura 4.3.4). Não houve interação entre CF x FD para coroa ($P=0,30$) e raízes ($P=0,39$). Na coroa FD2 e FD5 não diferiram, com média de 9,0% da MS, ambos superiores ($P<0,05$) ao FD10 (7,4% da MS). Nas raízes, FD2 teve maior ($P<0,05$) concentração de açúcares solúveis, 13,8% da MS, enquanto FD5 e FD10 não diferiram entre si com média de 11,7% da MS.

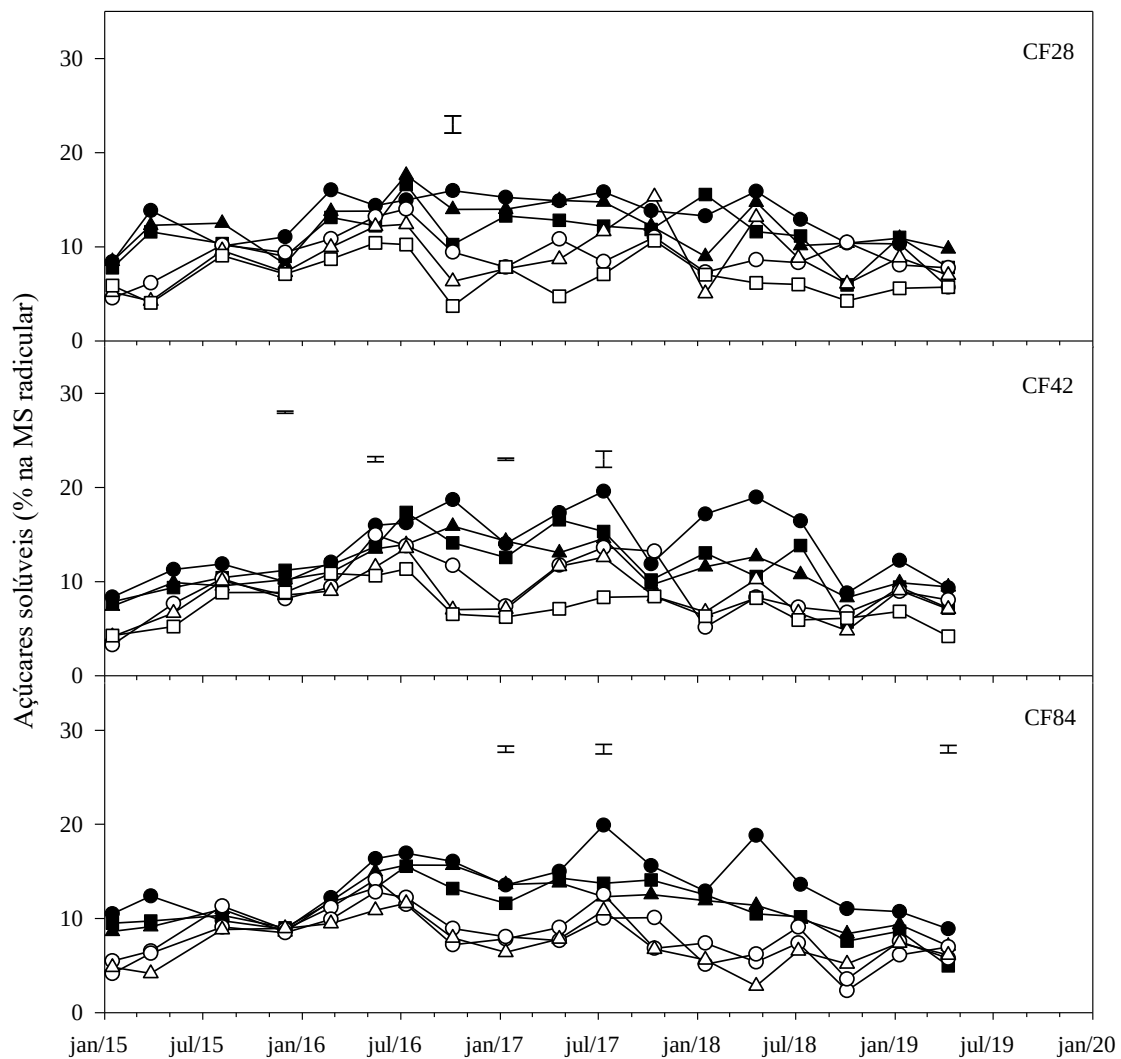


Figura 4.3.4 Açúcares solúveis (% da DM) na coroa (símbolos abertos) e raízes (símbolos fechados) de alfafa com níveis de dormência de 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob os intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

As barras indicam o erro padrão da média ($\alpha=0,05$) para diferenças entre os níveis de dormência em cada intervalo entre desfolhações.

No CF 28 a concentração de N nas coroas regrediu com os rebrotes de primavera/verão de 2,7% para ~1,5% da MS (Figura 4.3.5).

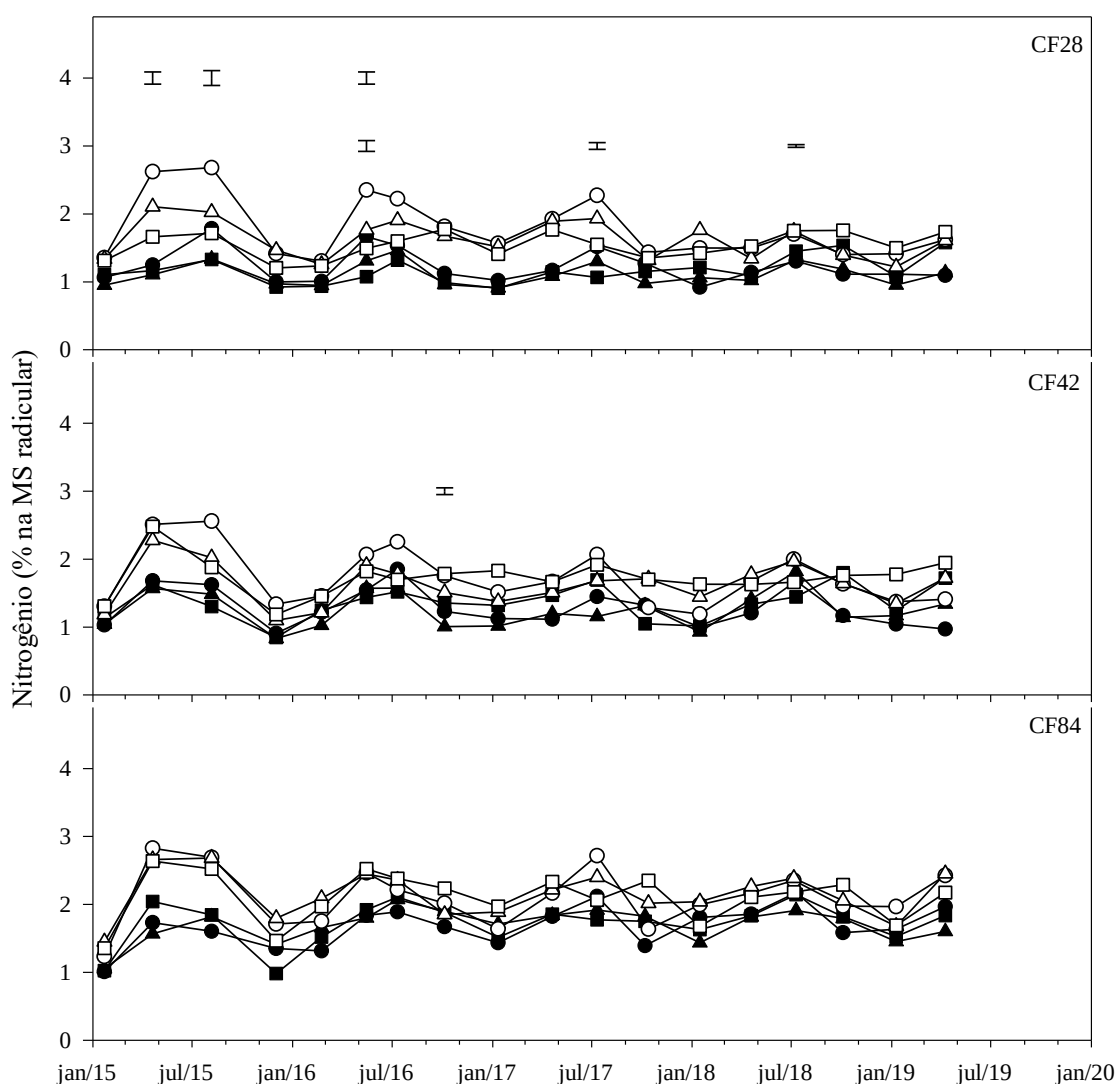


Figura 4.3.5 Concentração de nitrogênio (N; % da MS) na coroa (símbolos abertos) e nas raízes (símbolos fechados) de alfafa com nível de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) desfolhados a cada 28 (CF 28), 42 (CF 42) e 84 (CF 84) dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

As barras indicam o erro padrão da média ($\alpha=0,05$) para diferenças entre os níveis de dormência em cada intervalo entre desfolhações.

O padrão sazonal foi repetido em todos os intervalos entre desfolhações, com o aumento da concentração de N no outono/inverno e redução nos rebrotes de primavera/verão. Não houve diferenças ($P>0,05$) na concentração de N nas coroas e raízes no CF 42 a partir do outono de 2017, com médias de 1,7% da MS das coroas, e

1,3% da MS das raízes. O CF 84 apresentou o mesmo padrão de sazonalidade apresentado pelos demais intervalos entre desfolhações.

A produção dos componentes da coroa não apresentou interação entre CF x FD ($P=0,25$) durante os cinco anos (Tabela 4.3.2). Da produção total das coroas, há uma importante parcela composta por tecido estrutural, basicamente substâncias orgânicas e não orgânicas sem relação com o particionamento ou mobilização de reservas. Essa porção estrutural representou a maior ($P<0,05$) produção de MS nas coroas em comparação às reservas orgânicas. Não houve diferenças ($P>0,05$) entre as produções de amido, açúcares solúveis e nitrogênio entre níveis de dormência e intervalos entre desfolhações.

Tabela 4.3.2 Produção de componentes das coroas ($t\ MS\ ha^{-1}$) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2, 5 e 10 sob os intervalos entre desfolhações de 28, 42 e 84 dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

	Amido	Açúcares solúveis	Nitrogênio	Componentes estruturais	P valor	EPM ²
FD2	0,51 Ba ¹	0,35 Ba	0,44 Ba	2,52 Aa	<0,0001	0,08
FD5	0,44 Bab	0,28 Bb	0,38 Bab	2,21 Aab	<0,0001	0,07
FD10	0,38 Bb	0,23 Bc	0,33 Bb	1,96 Ab	<0,0001	0,07
P valor	0,0039	<0,0001	0,0017	0,0032		
EPM	0,003	0,02	0,02	0,11		
CF 28	0,25 Bc	0,16 Bc	0,18 Bc	1,27 Ac	<0,0001	0,03
CF 42	0,47 Bb	0,30 Bb	0,35 Bb	2,25 Ab	<0,0001	0,05
CF 84	0,63 Ba	0,40 Ba	0,63 Ba	3,18 Aa	<0,0001	0,09
P valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001		
EPM	0,03	0,02	0,02	0,11		
CF x FD						
P valor	0,15	0,77	0,84	0,94		
EPM	0,05	0,03	0,04	0,19		

¹Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). EPM = erro padrão da média.

Entre os níveis de dormência, o FD2 apresentou maior ($P<0,05$) produção de amido comparado ao FD10, sem diferenças para FD5. Isso se repetiu na produção de N e componentes estruturais, quando o FD2 foi $0,1\ t\ MS\ ha^{-1}$ e $0,6\ t\ MS\ ha^{-1}$ mais produtivo ($P<0,05$) que FD10. A produção de açúcares solúveis teve aumento gradual com o aumento da dormência, o FD2 foi o mais produtivo ($P<0,05$) com $0,3\ t\ MS\ ha^{-1}$, seguido por FD5 ($0,3\ t\ MS\ ha^{-1}$) e o FD10 como menos produtivo ($0,2\ t\ MS\ ha^{-1}$). Os

intervalos entre desfolhações tiveram padrão similar para todos os componentes orgânicos, sendo o CF 28 o menos ($P<0,05$) produtivo e o CF 84 o mais ($P<0,05$) produtivo. A variação do amido atingiu $0,4 \text{ t MS ha}^{-1}$ do CF 84 para CF 28; a produção de açúcares solúveis do CF 84 foi de $0,2 \text{ t MS ha}^{-1}$ maior que o CF 28; e a diferença na produção de N excedeu os $0,4 \text{ t MS ha}^{-1}$ do CF 84 para o CF 28.

As raízes não tiveram interação significativa entre CF x FD ($P>0,98$) (Tabela 4.3.3). A porção estrutural foi, em geral, duas vezes maior que a produção de amido ($P<0,0001$), com maiores valores para FD2 comparado ao FD10, $1,7$ e $1,4 \text{ t MS ha}^{-1}$, respectivamente. A produção de açúcares solúveis e N não diferiram entre os níveis de dormência, com médias de $0,4 \text{ t MS ha}^{-1}$ e $<0,1 \text{ t MS ha}^{-1}$, respectivamente. O amido seguiu o mesmo padrão da porção estrutural, com maiores valores para FD2 ($0,9 \text{ t MS ha}^{-1}$) comparado ao FD10 ($0,7 \text{ t MS ha}^{-1}$).

Tabela 4.3.3 Produção de componentes das raízes (t MS ha^{-1}) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2, 5 e 10 sob os intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias por cinco anos em Lincoln, Canterbury, Nova Zelândia.

	Amido	Açúcares solúveis	Nitrogênio	Componentes estruturais	P valor	EPM
FD2	0,88 Ba	0,46 Ca	0,05 Da	1,73 Aa	$<0,0001$	0,06
FD5	0,76 Bab	0,33 Cb	0,04 Da	1,56 Aab	$<0,0001$	0,06
FD10	0,68 Bb	0,30 Cb	0,04 Da	1,36 Ab	$<0,0001$	0,06
P valor	0,0277	$<0,0001$	0,16	0,0045		
EPM	0,057	0,023	0,004	0,087		
CF 28	0,36 Bc	0,18 Cc	0,02 Dc	0,86 Ac	$<0,0001$	0,03
CF 42	0,81 Bb	0,38 Cb	0,04 Db	1,55 Ab	$<0,0001$	0,04
CF 84	1,16 Ba	0,54 Ca	0,08 Da	2,26 Aa	$<0,0001$	0,07
P valor	$<0,0001$	$<0,0001$	$<0,0001$	$<0,0001$		
EPM	0,057	0,023	0,004	0,087		
CF x FD						
P valor	0,53	0,38	0,99	0,98		
EPM	0,09	0,04	0,007	0,15		

¹Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). EPM = erro padrão da média.

Com mais tempo para estocagem entre desfolhas, o CF 84 teve a maior ($P<0,05$) produção de componentes nas raízes, ainda que a porção estrutural fosse maior ($P<0,0001$) nesse mesmo tratamento ($2,3 \text{ t ha}^{-1} \text{ MS}$). A produção de amido foi $0,35 \text{ t ha}^{-1} \text{ MS}$ maior que o CF 42; e $0,8 \text{ t ha}^{-1} \text{ MS}$ maior que o CF 28. A produção de açúcares

solúveis no CF 84 foi três vezes a produção de CF 28, e 1,4 vezes a produção do CF 42. Até mesmo a produção de N teve diferença significativa entre os intervalos entre desfolhações, quatro vezes maior que o CF 28 ($0,02 \text{ t MS ha}^{-1}$) e duas vezes a produção do CF 42 ($0,04 \text{ t ha}^{-1} \text{ MS}$).

Discussão

A sazonalidade da produção de componentes dos órgãos perenes, com aumento no outono/inverno e redução na primavera/verão, suporta os achados de Teixeira et al. (2007) com variação de $3,0 \text{ t ha}^{-1} \text{ MS}$ a $5,6 \text{ t ha}^{-1} \text{ MS}$ para ciclo de rebrote longo-longo (CF 42). O ciclo de rebrote curto-curto (CF 28) raramente ultrapassou os $3,5 \text{ t MS ha}^{-1}$ mesmo nas estações frias. Gramshaw et al. (1993) indicam que intervalo entre desfolhações ideal seria de, no mínimo, cinco semanas para reduzir o impacto nas reservas radiculares. Moot et al. (2003) apresentaram essa sazonalidade e afirmam que, enquanto CF 42 está em balanço entre o rebrote da primavera e a reposição de reservas no outono/inverno, o ciclo mais curto (CF 28) continua a perder biomassa subterrânea como resultado de suas necessidades constantes das reservas para restauração do dossel. Tal afirmação foi destacada por Rimi et al. (2014) como o principal agente na redução da população de plantas pelo tempo.

A redução na produção de biomassa radicular ao longo dos anos foi agente e resultado da redução da população de plantas (Capítulo 3). Cela et al. (2013) encontraram uma relação linear entre a população de plantas e biomassa subterrânea de um campo de alfafa com não mais de cinco anos ($R^2=0,70$), com um considerável aumento da biomassa radicular com a redução da densidade de plantas. Após esses cinco anos, a relação fica mais fraca ($R^2=0,44$), mas os autores enfatizam que um campo com mais de seis anos é raramente encontrado na Espanha. Wang et al. (2011) indicaram que o diâmetro da coroa e a produção de órgãos perenes são as principais características para a seleção genética para maior produção de MS.

A relação entre coroa e raiz foi linear apenas nos dois primeiros anos após o estabelecimento da pastagem (TA, 2018), mas por cinco anos essa relação se provou ser exponencial com diferenças entre os fotoperíodos. Esse resultado requer a análise dos órgãos separadamente para investigar completamente as mudanças através dos anos. Nos anos iniciais, num dossel com grande densidade populacional, os órgãos perenes se expandem para distribuição das hastes (aumento do diâmetro da coroa), ramos e seu

pivô (raiz) em busca de nutrientes e água, o que pode causar competição entre as plantas e a eliminação das menores (SUZUKI et al., 1991). Após essa redução na população inicial de plantas, as coroas têm maior espaço para aumentar seu diâmetro e massa (HAKL et al., 2012) e tem-se a melhoria da sobrevivência das plantas como resultado (HAKL et al., 2011). Essa mudança no padrão de crescimento não afetou a concentração de carboidratos ou de N nestes órgãos, mas afetou a produção total deles.

A concentração de amido foi superior nas raízes (15 – 45% da MS) em comparação à coroa (5 – 30% da MS), o que corrobora o reportado por Fornasier et al. (2003) e acompanha a flutuação sazonal obtida por Mitchell et al. (2020), de aumento na concentração no verão e redução no outono/inverno. Diferentes autores (CUNNINGHAM & VOLENEC, 1998; PEMBLETON et al., 2010a) afirmaram que a produção de amido nos órgãos perenes não é influenciada pelo nível de dormência em um máximo de dois anos de cultivo, mas há uma redução natural dessa produção com o tempo (SUZUKI et al., 1991). É possível afirmar que estes níveis de dormência, após dois ou três anos, expressam sua redução natural das reservas de amido em diferentes taxas. O FD10 teve uma redução mais rápida que o FD2, com uma consequente redução da sobrevivência ao inverno e persistência devido ao menor suporte às células individualmente para o processo de respiração celular (PEMBLETON et al., 2010a; FORNASIER et al., 2003).

Dentre os intervalos entre desfolhações, a acentuada maior exigência de nutrientes para o rebrote no CF 28 não reduziu a concentração de amido nestes órgãos, contudo a mortalidade de plantas neste tratamento gerou menor produção de reservas por área. O principal escape de amido nas raízes é a respiração deste tecido, resultado do processo de mobilização de N para a porção aérea, o C é perdido parcialmente para o ambiente (ERICE et al., 2011), o que deve ser realocado após o equilíbrio fotossintético da planta. Contudo, em um curto período de tempo entre desfolhações, a probabilidade desta reposição não ocorrer, ou ocorrer somente parcialmente, é grande, o que quebra esse ciclo e afeta diretamente a produtividade e sobrevivência do dossel (MITCHELL et al., 2020).

Os açúcares solúveis variaram em concentração, estão mais presentes nas raízes, com variação de 9 a 14% da MS. Estes valores são consistentes com Teixeira et al. (2007) e Mitchell et al. (2020), que obtiveram sazonalidade através dos anos com uma variação de 4% a 12% na MS, e 7 a 14% na MS, respectivamente, para os ciclos de

rebrote similares ao CF 42. As médias totais de açúcares solúveis mostraram maior ($P < 0,05$) concentração no FD2 e corrobora o fato que quanto maior a concentração nos órgãos radiculares, menor a taxa de danos no inverno (CUNNINGHAM et al., 2001; SEPPÄNEN et al., 2018). Teixeira et al. (2007) indicaram que os açúcares solúveis são a primeira fonte de energia para as plantas, com uma rápida mobilização em tratamentos com menor intervalo entre desfolhações. Baseado nas diferenças na produção de açúcares na coroa e raiz, essa mobilização ocorre principalmente na coroa, onde a produção de açúcares teve maior flutuação.

A variação na concentração de N foi menor que a dos demais componentes orgânicos, contudo foi observada maior concentração de N no período de outono/inverno (1,5 – 2,0% da MS) e redução com o rebrote na primavera (1,0-1,5% da MS). Resultado semelhante foi reportado por Pembleton et al. (2010b) com um aumento significativo das reservas do genótipo mais dormente no período de outono/inverno e um menor impacto do rebrote na primavera nas reservas de FD5 em condições de seca. Em condições de irrigação, os autores não encontraram diferenças na produção de proteínas solúveis entre os genótipos, com um padrão de redução na primavera e aumento no outono/inverno. O mesmo padrão foi obtido por Cunningham e Volenec (1998) e Cunningham et al. (2001) com uma maior concentração de proteínas solúveis em genótipos dormentes comparado com não-dormentes.

A quantidade de N presente nas reservas radiculares é controlada pelo *cas18*, um gene presente em maior quantidade em plantas dormentes, que leva à maior concentração de N em FD2 do que em FD10, e ainda é mais concentrado na coroa do que nas raízes (LIU et al., 2016). A concentração de N (%) foi geralmente menor que a obtida por Cella et al. (2013) para o sistema radicular como um todo (2,4% na MS para alfafa com 3 anos de idade; 2,3% na MS para alfafa com 4 anos de idade e 2,1% na MS para alfafa com 5 anos de idade).

As diferenças de N entre os intervalos entre desfolhações foram mais destacadas quando a produção de N foi analisada, e o CF 84 apresentou as maiores produções neste componente tanto nas raízes quanto nas coroas (0,63 e 0,08 t ha⁻¹ MS, respectivamente). Teixeira et al. (2007) obtiveram menores concentração de N com ciclo de rebrote curto-curto no genótipo Grassland Kaituna. No ciclo de rebrote curto-longo, os autores encontraram redução imediata da concentração de N quando o ciclo curto foi iniciado, o que prova a maior exigência deste nutriente em tratamentos com maior frequência de

desfolha; de acordo com Lemaire e Allirand (1993) para produzir cerca de 2 t MS ha⁻¹ de pastagem a alfafa perde cerca de 30 kg de N ha⁻¹, só então há a restauração deste componente nas raízes.

4.4 Conclusões

Os níveis de dormência foram efetivos em mudar a produção de biomassa dos órgãos perenes, com a redução nas plantas menos dormentes (FD10). Este cenário foi agravado ao longo dos anos, com a demanda de mais e mais componentes para a rebrota, as plantas começaram a colapsar, o que pode ter causado a mortalidade das plantas neste tratamento. Interessantemente, o padrão da relação coroas:raízes foi similar no fotoperíodo decrescente, o que prova que mesmo em condições de pouca biomassa estes órgãos mantêm o comportamento de priorizar a deposição de componentes nas coroas, em taxas próximas de 1,5, e então promovem o aumento das raízes, em taxas ~1,2.

Esta relação coroa:raiz está associada com as concentrações de amido e açúcares solúveis, uma vez que estes foram encontrados em maiores teores e produção na raiz. Estes componentes estavam em maior quantidade nas plantas FD2, talvez causado pela necessidade destas plantas em estocar a sobreviver ao período de inverno. Mas claramente não associado à deposição de N, uma vez que este não apresentou diferenças entre os níveis de dormência.

As frequências de desfolhação estressaram as plantas o suficiente para causarem diferenças na produção de biomassa perene, uma vez que o CF 28 não teve tempo para aumentar suas reservas apresentando os menores valores. Por outro lado, mesmo no CF 84, com muito tempo para particionamento de MS para os órgãos perenes, o FD10 teve os menores valores, o que enfatiza sua menor capacidade neste processo. Devido ao menor intervalo entre desfolhações, o CF 28 teve menores produções e concentração de compostos orgânicos, o que representa a grande demanda destes componentes para o rebrote. No geral, o CF 42 teve comportamento mais estável, com maior equilíbrio entre reservas e crescimento aéreo através dos anos.

4.5 Referências bibliográficas

- CELA, S.; SANTIVERA, F.; LLOVERAS, J. Short communication. Nitrogen content of residual alfalfa taproots under irrigation. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v.11, n.2, p.481-484, 2013. Doi: 10.5424/sjar/2013112-3689
- CUNNINGHAM, S.M.; VOLENEC, J.J. Seasonal carbohydrate and nitrogen metabolism in roots of contrasting alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars. **Journal of Plant Physiology**, v.153, p.220-225, 1998. Doi: 10.1016/S0176-1617(98)80069-2
- CUNNINGHAM, S.M.; GANA, J.A.; VOLENEC, J.J.; et al. Winter hardiness, root physiology, and gene expression in successive fall dormancy selections from “Mesilla” and “CUF 101” alfalfa. **Crop Physiology & Metabolism**, v.41, p.1091-1098, 2001. Doi: 10.2135/cropsci2001.4141091x
- BROWN, H.E. **Understanding yield and water use of dryland forage crops in New Zealand**. 2005. 306p. Thesis (Doctor of Philosophy) – Lincoln University, Lincoln, Canterbury, New Zealand.
- ERICE, G.; SANZ-SAÉZ, A.; ARANJUELO, I.; et al. Photosynthesis, N₂ fixation and taproot reserves during the cutting regrowth cycle of alfalfa under elevated CO₂ and temperature. **Journal of Plant Physiology**, v.168, p.2007-2014, 2011. Doi: 10.1016/j.jplph.2011.07.007
- FORNASIER, F.; PECETTI, L.; PIANO, E. Variation in crown and root organic reserves among lucerne genotypes of different morphology and flower color. **Journal of Agronomy & Crop**, v.189, p.63-70, 2003. Doi: 10.1046/j.1439-037X.2003.00009.x
- GRAMSHAW, D.; LOWE, K.F.; LLOYD, D.L. Effect of cutting interval and winter dormancy on yield, persistence, nitrogen concentration, and root reserves of irrigated lucerne in the Queensland subtropics. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.33, p.847-854, 1993. Doi: 10.1071/ea9930847
- HAKL, J.; FUKSA, P.; SANTRUCEK, J.; et al. The development of lucerne root morphology traits under high initial stand density within a seven years period. **Plant Soil Environment**, v.57, n.2, p.81-87, 2011. Doi: 10.17221/186/2010-pse
- HAKL, J.; MASKOVÁ, K.; SANTRUCEK, J.; et al. Development of root morphology traits of the Czech lucerne varieties in Chernozem over a three year period. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, v.60, n.3, 2012. Doi: 10.11118/actaun201260030025
- HEWITT, A.E. New Zealand soil classification. **Landcare Research Science series**, n.1. Manaki Whenua Press, Lincoln, New Zealand, 2010.
- LEMAIRE, G.; ALLIRAND, J.M. Relation entre croissance et qualité de la luzerne: interaction genotype–mode d’exploitation. **Fourrages**, v.134, p.183–198, 1993.

- LIU, Z.; YANG, G.; LI, X.; et al. Autumn dormancy regulates the expression of cas18, vsp and corF genes during cold acclimation of lucerne (*Medicago sativa* L.). **Crop & Pasture Science**, v.67, p.666-678, 2016. Doi: 10.1071/CP15289
- MITCHELL, M.L.; CLARCK, S.G.; BUTLER, K.L.; et al. Harvest initial affects lucerne (*Medicago sativa* L.) taproot total yield, starch, nitrogen and water-soluble carbohydrates. **Journal of Agronomy, Crop Science**, v.0, p.1-11, 2020. Doi: 10.1111/jac.12397
- MOOT, D.J., ROBERTSON, M.J., POLLOCK, K.M., Validation of the APSIM-Lucerne model for phenological development in a cool-temperate climate. In: **Proceedings...**, Hobart, Tasmania, 2001.
- MOOT, D.J.; BROWN, H.E.; TEIXEIRA, E.I.; et al. Crop growth and development affect seasonal priorities for lucerne management. **New Zealand Grassland Association**, Research and Practice series, v.11, p.201-208, 2003.
- MOTT, G.O., LUCAS, H.L. The design, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 6, 1952, Pennsylvania. **Proceedings of ...** Pennsylvania, United States of America, p.1380-1385, 1952.
- MORTON, J.; ROBERTS, A. Fertilizer use on New Zealand sheep and beef farm. **New Zealand Fertilizer Manufacturer's Association**, v.36, 1999.
- PEMBLETON, K.G.; VOLENEC, J.J.; RAWNSLEY, R.P.; et al. Partitioning of taproot constituents and crown bud development are affected by water deficit in regrowing alfalfa (*Medicago sativa* L.). **Crop Science**, v.50, 2010a.
- PEMBLETON, K.G.; CUNNINGHAM, S.M.; VOLENEC, J.J. Effect of summer irrigation on seasonal changes in taproot reserves and the expression of winter dormancy/activity in four contrasting lucerne cultivars. **Crop & Pasture Science**, v.61, p.873-884, 2010b. Doi: 10.1071/CP10030
- RIMI, F.; MACOLINO, S.; LEINAUER, B.; et al. Fall dormancy and harvest stage impact on alfalfa persistence in a subtropical climate. **Agronomy Journal**, v.106, n.4, p.1258-1266, 2014. Doi: 10.2134/agronj13.0495
- SEPPÄNEN, M.M.; ALITALO, V.; BÄCKSTRÖM, H.K.; et al. Growth, freezing tolerance, and yield performance of alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivar grown under controlled and field conditions in northern latitudes. **Canadian Journal of Plant Science**, v.98, p.1109-1118, 2018. Doi: /10.1139/cjps-2017-0305
- SUZUKI, M. Effects of stand age on agronomic, morphological and chemical characteristics of alfalfa. **Canadian Journal Plant Science**, v.71, p.445-452, 1991. Doi: 10.4141/cjps91-061

- TA, H. T. **Growth and development of lucerne with different fall dormancy rating.** 2018. 175f. Thesis (Doctor of Philosophy) – Lincoln University, Lincoln, Canterbury, New Zealand.
- TEIXEIRA, E.I. **Understanding growth and development of lucerne crops (*Medicago sativa* L.) with contrasting levels of perennial reserves.** 2006. 298p. Thesis (Doctor of Philosophy) – Lincoln University, Lincoln, Canterbury, New Zealand.
- TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J.; MICKELBART, M.V. Seasonal patterns of root C and N reserves of lucerne crops (*Medicago sativa* L.) grown in a temperate climate were affected by defoliation regime. **European Journal of Agronomy**, v.26, p.10-20, 2007. Doi: 10.1016/j.eja.2006.08.010
- TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J.; BRONW, H.E. Defoliation frequency and season affected radiation use efficiency and dry matter partitioning to roots of lucerne (*Medicago sativa* L.). **European Journal of Agronomy**, v.28, p.103-111, 2008. Doi 10.1016/j.eja.2007.05.004
- WEBB, T.H.; CLAYDON, J.J.; HARRIS, S.R. Quantifying variability of soil physical properties within soil series to address modern land-use issues on the Canterbury Plains, New Zealand. **Soil Research**, v.38, p.1115-1129, 2000.
- WANG, F.; YU, L.; TIAN, Z.; et al. Root characteristics and the relationship with yield of 18 alfalfa cultivars. **Chinese Journal of Grassland**, v.4, 2011.

5 ABSORÇÃO DE RADIAÇÃO E ESTRUTURA DO DOSSEL DE ALFAFA DE DIFERENTES NÍVEIS DE DORMÊNCIA SUBMETIDOS A CONTRASTANTES INTERVALOS ENTRE DESFOLHAÇÕES

RESUMO

O estudo e compreensão da arquitetura do dossel são essenciais para o entendimento da interceptação luminosa da forrageira e a análise da eficiência na conversão da radiação em biomassa. O estudo foi desenvolvido na área experimental da Lincoln University, na região de Canterbury, Nova Zelândia, entre os anos de 2015 e 2019. O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, com três parcelas (intervalos entre desfolhações - CF), três subparcelas (nível de dormência das plantas - FD) e quatro repetições. Os intervalos entre desfolhações foram de 28 dias (CF 28), 42 dias (CF 42) e 84 dias (CF 84) combinados com níveis FD2 (AgR Palatable), FD5 (Grassland Kaituna) e FD10 (SARDI 10), totalizando 9 tratamentos. As avaliações se iniciaram após a estabilização da pastagem em janeiro de 2015, e encerraram em abril de 2019. As avaliações morfométricas foram realizadas com intervalo de 5-7 dias a partir de hastes principais previamente marcadas, nas quais foram contados número de folhas primárias, número de folhas senescente, número de ramos, altura da haste principal e presença de botão visível. Análises de índice de área foliar (IAF) foram realizadas de maneira destrutiva, a partir da coleta de material, e não destrutivas com uso do equipamento Sunscan®. A taxa de expansão foliar (TEF) foi a variável morfológica que desencadeou as principais diferenças entre os níveis de dormência, sendo majoritariamente maior no FD2 e FD5 ($0,007$ e $0,006 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2} \text{ }^\circ\text{Cd}^{-1}$, respectivamente). Seus efeitos foram maior IAF ($2,45$ e $2,27 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, para FD2 e FD5) e radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_i) ($559,7$ e 5768 MJ m^{-2} para FD2 e FD5, respectivamente), em comparação ao FD10. A altura do dossel do FD10 deixou de apresentar resultados compatíveis à produção de matéria seca (MS) a partir dos Anos 3 (CF 28) e 4 (CF 42). O maior intervalo entre desfolhações (CF 84) permitiu maior desenvolvimento do dossel, porém causou aumento da senescência foliar, entrada em fase reprodutiva e queda do IAF. A colheita de plantas de alfafa em altura de aproximadamente 65 cm (CF 42) aparentemente equilibra características produtivas e estruturais, visando a qualidade nutritiva do dossel.

A altura do dossel deve ser usada com moderação como estimador do ponto de colheita, uma vez que em dosséis degradados (FD10, Ano 5) há a redução da sua confiabilidade.

Palavras-chave: Filocrono, índice de área foliar, interceptação luminosa, taxa de expansão foliar.

RADIATION INTERCEPTION AND MORPHOLOGICAL STRUCTURE OF DIFFERENT DORMANCY LEVELS OF LUCERNE SUBMITTED TO CONTRASTING DEFOLIATION FREQUENCIES

ABSTRACT

The study and comprehension of canopy structure are essential to understand the forage light interception and its efficiency to convert it into biomass. This study was carried out at Lincoln University, Canterbury, New Zealand, from 2014 to 2019. Three lucerne dormancy levels were tested: very dormant (FD2), semi dormant (FD5) and non-dormant (FD10); submitted to three defoliation frequencies: 28 days (CF 28), 42 days (CF 42) and 84 days (CF 84). The crop seeding was done in October 2014 and its establishment was concluded in January 2015, when the data collection was initiated, according to the treatments schedule. The phenology evaluations were done within a 5-7 days interval of earlier marked main shoots, from what the number of primary leaves, number of senescent leaves, branching number, shoot height and visual buds were counted. The leaf area index (LAI) was measured based on destructive analyses and non-destructive analyses, with the equipment Sunscan®. The leaf area expansion rate (LAER) was the phenological variable that triggered the main dormancy level differences, being generally greater in FD2 and FD5. Its effects included greater LAI and photosynthetic active radiation intercepted (PAR_i) compared with FD10. The FD10 shoot height lost its advantages, related to greater shoot yield, in Year 3 (CF 28) and Year 4 (CF 42). The lower defoliation frequency (CF 84) allowed a greater canopy development, but caused an increase of senescent leaves, reproductive phase entrance and reduction of LAI. The harvesting of lucerne plants of ~65 cm height (CF 42) seems to balance the yield and phenological characteristics, aiming the canopy nutritional quality. The shoot height must be used sparingly as shoot yield estimator and harvesting point, once collapsed canopies (FD10, Year 5) there is the reliability reduction of it.

Keywords: leaf area expansion rate, leaf area index, light interception, phyllochron.

5.1 Introdução

O estudo e compreensão da arquitetura do dossel são essenciais para o entendimento da interceptação luminosa da forrageira e a análise da eficiência na conversão da radiação em biomassa. O impacto dos fatores ambientais nestas características, como área foliar e número de folhas, determina a taxa em que as plantas expressam seu potencial (BROWN et al., 2005). Ao associar o acúmulo de graus-dia e fotoperíodo com o manejo de desfolhação, é possível alcançar a situação ideal de desenvolvimento ótimo da planta e sua eficiência, associado à persistência.

O índice de área foliar (IAF) é uma das unidades mais comuns de se avaliar a estrutura do dossel e as suas fases de desenvolvimento, utilizada para determinar o momento ideal de desfolha e equilibrar a conversão de energia em tecidos de alto valor nutritivo. Mas, no campo, a altura do dossel é a técnica mais prática para avaliar o momento de desfolhação ideal. O nível de dormência da alfafa influencia no desenvolvimento das plantas nas diferentes estações do ano, é avaliada e classificada principalmente pela altura de planta, o que gera uma altura de planta crítica para cada genótipo, ou um diferente ponto de colheita. O uso correto desta técnica deve considerar a situação como um todo, nível de dormência – intervalo entre desfolhações – ambiente, e ainda contemplar a eficiência do dossel, seu valor nutritivo e densidade populacional (GASTAL & LEMAIRE, 2015).

O objetivo deste capítulo foi elucidar os padrões de interceptação luminosa e seus impactos nas respostas morfométricas dos três níveis de dormência de alfafa submetido a intervalos entre desfolhações contrastantes por cinco anos em clima temperado.

5.2 Material e métodos

Caracterização da área

O experimento foi conduzido no Field Research Centre (FRC) pertencente a Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia (43°38'S e 172°8'L, 10 m) em área de 0,61ha (135 x 45 m) localizada no piquete 12 do Iversen Field (I12). O solo é

classificado como “Wakanui silt loam” (Aquic Haplustept, USDA Soil Taxonomy), caracterizado como um solo jovem e pálido, seco no verão e úmido no inverno (HEWITT, 2010). Seu perfil é composto por 0,3 m de superfície densa e argilosa, com horizontes arenosos de profundidade de 2 a 3 m. Essa distribuição de horizontes resulta em uma camada superficial de alta densidade e baixa drenagem. A concentração de água disponível varia de 120 a 180 mm m⁻¹ (WEBB et al., 2000).

O clima na região de Canterbury é caracterizado por pluviosidade anual de aproximadamente 640 mm, com estação de chuvas definida (Tabela 5.2.1). A temperatura média anual é 11,4 °C com variação mínima de 6,4 °C em junho e máxima de 16,6 °C em janeiro. Os dados meteorológicos da área experimental foram coletados na Estação Meteorológica Broadfields (NIWA, Instituto Nacional de Águas e Pesquisas Atmosféricas, Nova Zelândia), localizada a 2 km ao norte da área experimental.

Tabela 5.2.1 Médias mensais de 2014 a 2019 de radiação solar total (R_0), temperatura máxima ($T_{\max}$), mínima ($T_{\min}$) e média ($T_{\text{média}}$) do ar; médias históricas de 1960 a 2019 de evapotranspiração potencial (ET_p), pluviosidade total e velocidade do vento mensurados na estação meteorológica Broadfield.

	Período experimental				Medias históricas		
	R_0 (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	$T_{\max}$ (°C)	$T_{\min}$ (°C)	$T_{\text{média}}$ (°C)	ET_p (mm)	Pluviosidade (mm)	Vento (km dia ⁻¹)
Jan	22,37	22,68	12,12	17,15	1,56	49,41	4,60
Fev	20,16	23,24	11,57	16,97	1,45	42,64	4,28
Mar	14,13	20,50	10,79	15,25	1,71	52,15	3,95
Abr	9,11	17,26	7,58	12,32	3,05	56,13	3,75
Mai	6,24	15,47	4,88	10,17	1,56	56,93	3,40
Jun	4,59	12,39	2,92	7,53	1,56	61,65	3,02
Jul	5,55	11,78	2,06	6,90	1,63	60,85	3,53
Ago	8,10	12,45	2,48	7,60	1,00	61,13	3,53
Set	12,41	14,30	4,96	9,61	1,29	39,87	4,15
Out	18,10	17,54	6,23	11,81	1,08	47,79	4,22
Nov	22,40	19,21	7,93	13,56	1,33	50,03	4,24
Dez	22,90	21,01	10,71	15,70	1,39	51,67	4,64
Média anual	14,05	17,53	7,28	12,31	1,56	52,52	3,96

As médias mensais de precipitação e Penmann evapotranspiração potencial estão na Figura 5.2.1.

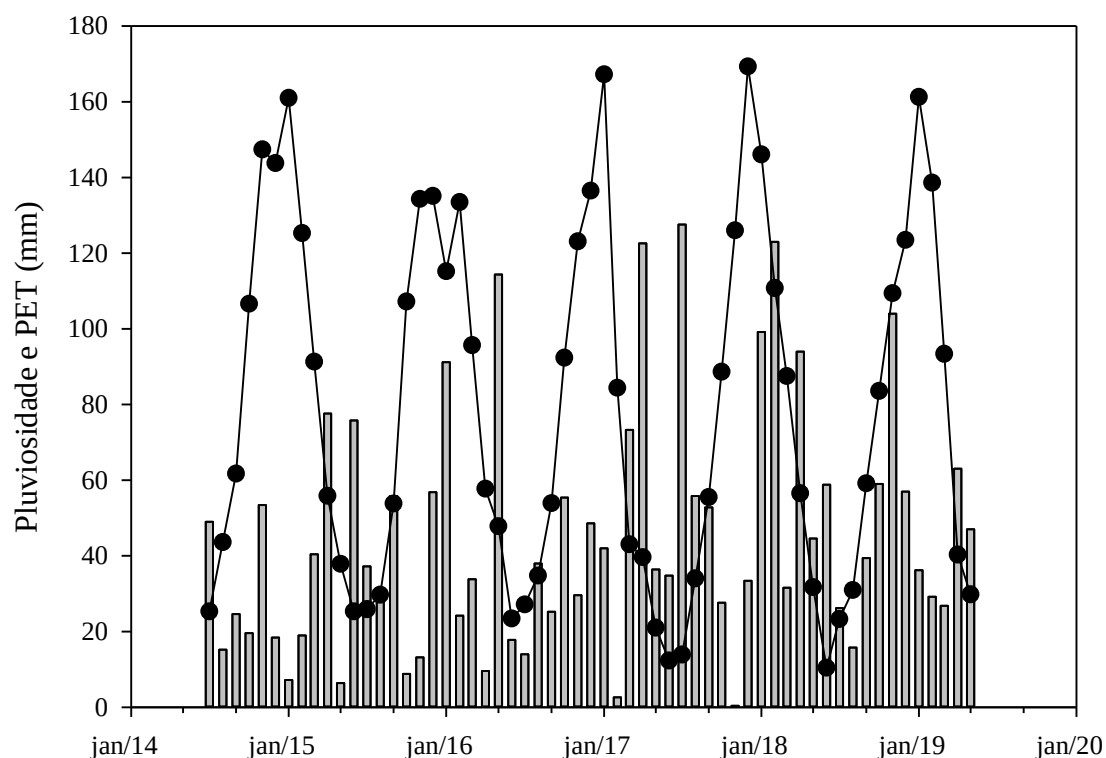


Figura 5.2.1 Pluviosidade mensal acumulada (mm - colunas) e Penmann evapotranspiração potencial (PET; mm - pontos) para o período de junho de 2014 a maio de 2019 na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Dados coletados na Estação Meteorológica Broadfield.

Os valores para graus-dia (T_t , $^{\circ}\text{Cd}^{-1}$) foram derivados da temperatura do ar utilizando o modelo “broken-stick threshold” (Figura 5.2.2) com temperatura basal igual a 1°C (T_b). Sendo assim o modelo calcula temperaturas do ar abaixo de 1°C são iguais a zero (MOOT et al., 2001). Esse modelo acumula $0,71^{\circ}\text{Cd}^{-1}$ por grau entre T_b e 15°C , a partir de então passa a acumular 1°Cd^{-1} por grau até os 30°C (T_o). Acima de T_o os graus-dia decaem linearmente a zero até os 40°C (T_m) (MOOT et al., 2001). O acumulado de graus-dia foi calculado pela soma de graus-dia de cada ciclo de rebrote, a cada ano de rebrote ou durante todo o experimento.

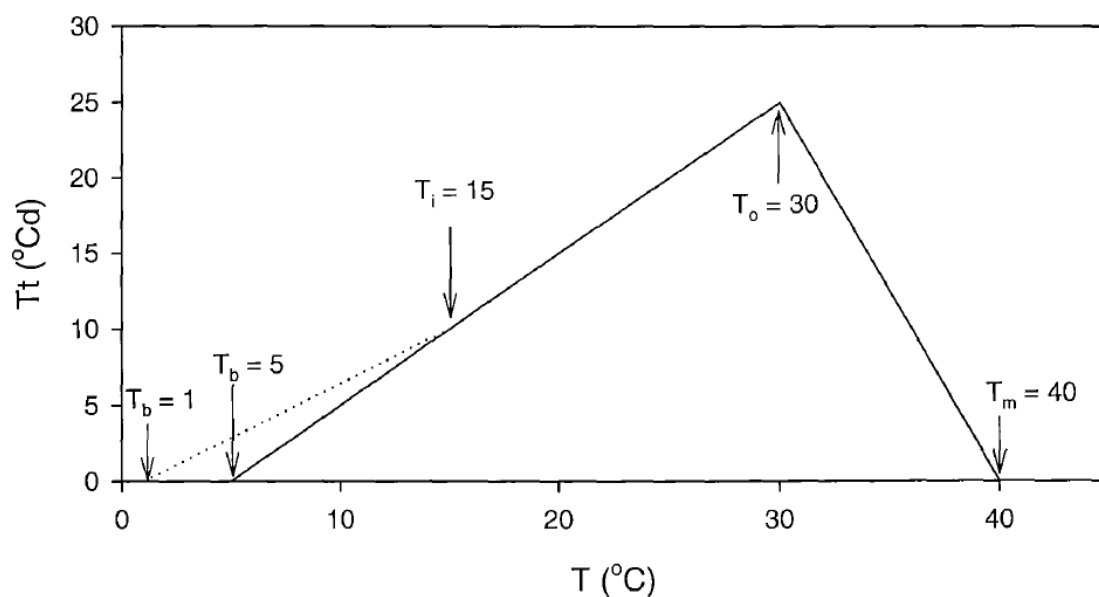


Figura 5.2.2 Modelo de cálculo para a obtenção de graus-dia de acordo com a temperatura do ar.

A linha tracejada representa o modelo com T_b igual a 1°C, enquanto que a linha contínua representa o modelo com T_b igual a 5°C. Fonte: Moot et al. (2001).

Histórico da área

Entre 2010 e 2011, a área foi utilizada para produção de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) e couve forrageira (*Brassica oleracea* ss. *Acephala*). Em setembro de 2011 ocorreu semeadura de colza (*Brassica napus* L.), e em abril de 2012 a ressemeadura de colza consorciada com centeio (*Secale cereale* L.), com cultivo subsequente de azevém anual 'ARI'. Em agosto de 2014 ocorreu aplicação de herbicida (Roundup 360, glifosato; 720 g a.i ha⁻¹) seguida por manejo de descompactação do solo em 2, 9 e 10 de setembro e 5 de outubro.

Em outubro de 2014, antes da semeadura, foi realizada análise da fertilidade do solo baseada em amostra composta de 20 sub amostras homogeneizadas de solo (0-150 mm de profundidade) coletadas aleatoriamente na área (Tabela 5.2.2). Baseado nesta análise, nenhuma correção de solo foi necessária. Em agosto de 2016 a análise foi repetida com a coleta de 20 sub amostras de solo por parcela. Esta última análise indicou deficiência de fósforo (P) e enxofre (S(SO₄)) com a aplicação de 350 kg ha⁻¹ de superfosfato extra (0:9:11, NPK) para correção realizada no dia 18 de agosto de 2016.

Tabela 5.2.2 Resultados de análise de solo da área I12 na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia nos períodos de 2014 e 2016.

Local	K	Ca	Mg	Na	P	S(SO ₄)	pH _{água}
	-----cmol dm ⁻³ -----				mg L ⁻¹	mg kg ⁻¹	
<i>Outubro de 2014</i>							
Norte	0,28	7,2	0,86	0,13	13	3	5,9
Sul	0,39	7,0	0,76	0,12	16	3	5,8
<i>Agosto de 2016</i>							
CF 28	0,25	6,4	0,8	0,2	10	5	5,9
CF 42	0,29	7,2	0,9	0,22	9	6	5,8
CF 84	0,3	7,1	0,86	0,2	9	8	5,9
*Exigência mínima	0,26	-	0,34	-	15-20	11	5,3

*De acordo com Morton e Roberts, 1999. Dados de Norte e Sul representam as coordenadas geográficas dentro da área experimental.

Delineamento experimental e manejo da pastagem

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) com parcelas subdivididas, com três intervalos entre desfolhações (CF 28 dias, CF 42 dias e CF 84 dias) representaram as parcelas principais, e três diferentes níveis de dormência de alfafa: dormente (cv. AgR Palatable; FD2), semi dormente (cv. Grassland Kaituna; FD5) e extremamente não dormente (SARDI 10; FD10), compreenderam as subparcelas. O delineamento resultou em 9 tratamentos com 4 repetições, totalizando 36 parcelas (20 x 4,2 m) (Apêndice 1). A semeadura da alfafa ocorreu em 8 de outubro de 2014, as sementes inoculadas (Nodule®) foram distribuídas em densidades de 15,1; 11,8 e 11,1 kg ha⁻¹. Esta diferença foi em decorrência da taxa de germinação diferenciada de cada nível de dormência, objetivando uma germinação padrão de 10 kg ha⁻¹. O período de estabilização da pastagem terminou em 25 de janeiro de 2015, quando as hastes previamente marcadas atingiram 80% de florescimento, e então foi realizado corte de homogeneização da área a 5 cm de altura. A partir deste momento, os tratamentos foram rebaixados de acordo com os intervalos entre desfolhações. Os dados da fase de estabelecimento foram descritos por Ta et al. (2016).

O rebaixamento da pastagem para os tratamentos CF 28 e CF 42 consistiu no corte a 5 cm do solo usando um triturador de forragem Fieldmaster acoplado em trator munido de carreta forrageira. A altura de corte das plantas foi determinada para prevenir danos na coroa e garantir o corte de toda a biomassa aérea, evitando hastes residuais para o próximo ciclo de crescimento. O rebaixamento do tratamento CF 84 foi

geralmente sincronizado aos demais tratamentos e, devido às suas hastes mais grossas e firmes, foram realizados pastejo de ovelhas e/ou cordeiros por 3-5 dias, com subsequente corte de homogeneização das hastes restantes a 5 cm de altura do solo. A carga animal variou de acordo com a necessidade de remoção da matéria verde num período de 3-5 dias, utilizando a técnica “put-and-take” (MOTT & LUCAS, 1952). O período experimental foi de cinco anos, de outubro de 2014 a maio de 2019. Este período incluiu a fase de estabelecimento além de cinco estações de rebrotação, nas quais os intervalos entre desfolhações (CF) foram aplicados (Tabela 5.2.3).

Tabela 5.2.3 Período experimental para fase de estabelecimento e manejo de desfolhação de alfafa com níveis contrastantes de dormência na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Fase	Ano de rebrote	Duração experimental
Fase de estabelecimento	2014	De outubro de 2014 a janeiro de 2015 (110 dias)
1° rebrote	2015	De janeiro de 2015 a agosto de 2015 (188 dias)
2° rebrote	2015/16	De setembro de 2015 a maio de 2016 (255 dias)
3° rebrote	2016/17	De Julho de 2016 a abril de 2017 (283 dias)
4° rebrote	2017/18	De Julho de 2017 a abril de 2018 (277 dias)
5° rebrote	2018/19	De julho de 2018 a maio de 2019 (297 dias)

Controle de invasoras

Nos dois primeiros meses pós-emergência das plântulas, foi realizado controle manual de invasoras conforme necessário. Na primavera de 2015, o trevo branco (*Trifolium repens*) invadiu a área experimental, principalmente no tratamento CF 28. Para tanto, após coleta e rebaixamento destas parcelas, o herbicida Classic® (Chlorimuron-ethyl; 30 a.i ha⁻¹) foi aplicado nas parcelas referentes ao tratamento CF 28 (8 de outubro de 2015). No inverno de 2016, Nu-Trazine 900DF (Atrazina; 720g a.i ha⁻¹) foi aplicado em toda a área experimental para controle de azevém perene (*Lolium perene* L.), capim-galinha (*Poa annua* L.) e azevém anual.

A aplicação de Classic® para controle de trevo branco foi repetida em 11 de dezembro de 2017, 7 de maio de 2018, 26 de outubro de 2018 e 4 de dezembro de 2018. Em 30 de outubro de 2018, NuTrazine 900DF foi aplicado novamente para controle de língua de vaca (*Rumex obtusifolius* L.).

Irrigação e quantidade de água no solo

Do Ano 1 ao Ano 4, a exigência de irrigação foi calculada com base no déficit de umidade dos perfis do solo máximo de 250 mm, para evitar estresse hídrico. No Ano 5 a irrigação foi aplicada com base na necessidade de umedecer o solo e facilitar a coleta das raízes nas datas pré-estipuladas. Para tanto utilizou sistema de irrigação por aspersão utilizando aspersor móvel automático calculado para aplicar de 6 a 8 mm/h de água (Tabela 5.2.4).

A quantidade de água contida no solo foi mensurada a cada 15 dias utilizando Tubos de Sonda de Nêutrons (Neutron Probe Tubes, Troxler Electronic Industries, Inc., Research Triangle Park, Carolina do Norte, EUA) em profundidade de 0,2 a 2,0 m. Os tubos foram alocados em quatro pontos da área experimental, em piquete FD5 CF 42, considerada uma situação intermediária entre os tratamentos, sem tendências de extremos. A partir dos dados obtidos destas mensurações, um modelo simulado foi ajustado utilizando dados de precipitação (pluviosidade e irrigação) e drenagem do solo (BROWN, 2004; TEIXEIRA, 2006) (Figura 5.2.3).

Tabela 5.2.4 Irrigação aplicada no piquete I12 no Field Research Centre, Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia, de 2015 a 2019.

Data de início	Data de término	Quantidade (mm)
<i>Primeiro ano de rebrote</i>		
13/01/15	14/01/15	52
31/03/15	01/4/15	42
Total		94
<i>Segundo ano de rebrote</i>		
03/11/15	04/11/15	38
26/11/15	27/11/15	40
30/12/15	02/01/16	40
13/01/16	13/01/16	50
11/02/16	11/02/16	60
23/03/16	23/03/16	45
11/04/16	11/04/16	45
26/04/16	26/04/16	45
13/05/16	15/05/16	45
Total		408
<i>Terceiro ano de rebrote</i>		
08/12/16	09/12/16	60
09/01/17	10/01/17	60
22/02/17	23/02/17	60
05/03/17	06/03/17	60
Total		240
<i>Quarto ano de rebrote</i>		
12/11/17	13/11/17	40
20/11/17	21/11/17	40
29/11/17	30/11/17	30
13/12/17	14/12/17	30
14/02/18	15/02/18	30
20/02/18	21/02/18	30
Total		200
<i>Quinto ano de rebrote</i>		
10/10/18	11/10/18	30
12/11/18	13/11/18	30
07/01/19	08/01/19	30
28/01/19	29/01/19	90
07/02/19	07/02/19	30
18/02/19	20/02/19	90
22/02/19	22/02/19	30
07/03/19	08/03/19	60
Total		390

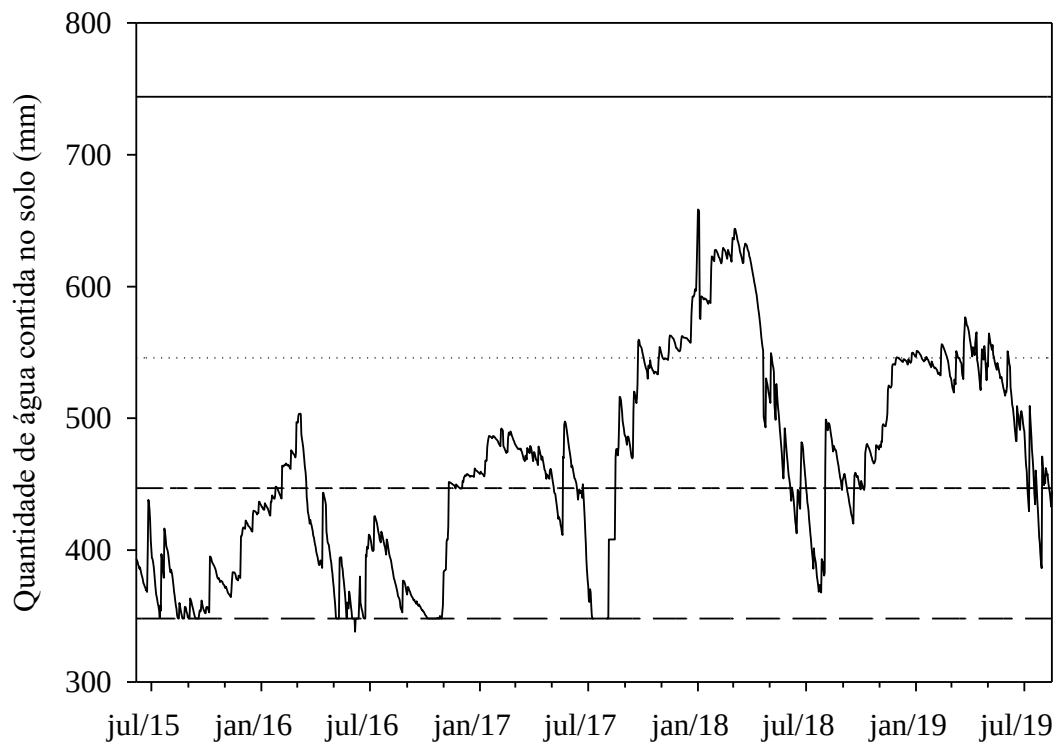


Figura 5.2.3 Quantidade total de água contida no solo (mm) do piquete 12 do Iversen Field por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

A linha sólida superior representa o limite máximo de contenção de água (744 mm); a linha pontilhada representa 75% da capacidade potencial de disponibilidade de água para as plantas (PAWC); a linha de traços curtos representa 50% da PAWC; a linha de traços longos representa o ponto de murcha permanente (348 mm).

Coleta de amostras e mensurações

No início do ciclo de rebrote, cinco hastes dominantes foram selecionadas por parcela para acessar o número de folhas totalmente expandidas, número de folhas senescentes, altura de haste (cm), número de ramos e início do processo reprodutivo (presença de botão visível). As mensurações foram realizadas em intervalo de 5-7 dias até a desfolhação.

O filocrono ($^{\circ}\text{Cd folhas}^{-1}$) quantifica a taxa de aparecimento de novas folhas na haste principal de acordo com o acúmulo de graus Celsius por dia ($^{\circ}\text{Cd}$).

O índice de área foliar foi calculado de duas formas, um método destrutivo e outro não destrutivo.

As análises destrutivas foram realizadas de acordo com os intervalos entre desfolhações. As amostras foram coletadas de maneira aleatória em cada parcela usando um quadro de 0,2 m² no qual as hastes foram cortadas acima do nível da coroa. Estas foram então levadas à sala de separação onde 10 hastes foram aleatoriamente selecionadas da amostra total de alfafa, das quais as folhas foram separadas das hastes. Da amostra total separou-se alfafa, material morto e invasoras, para o cálculo de produção de matéria seca as amostras foram encaminhadas à estufa de circulação forçada a 55-65°C por 72 h ou até peso constante.

Baseado nas avaliações prévias de Ta et al. (2020) usando um medidor de área foliar (LI-COR 3100; Licor Inc., Lincoln EUA) para calcular a área foliar específica (AFE), a relação foi estabelecida para determinar o IAF a partir da produção de folhas (g MS_{foliar}) como apresentado na Equação 5.2.1.

$$IAF = g MS_{foliar} / AFE \quad \text{Equação 5.2.1}$$

A taxa de expansão foliar (TEF, m² m⁻² °Cd⁻¹), foi então calculada pela inclinação entre IAF e graus-dia. Para reduzir o viés resultante das folhas senescente, os resultados maiores que 95% de IAF foram removidos do banco de dados. Os dados de graus-dia também foram plotados contra altura da haste principal para a obtenção da taxa de alongamento da haste (TAH, cm °Cd⁻¹).

O método não destrutivo de análise de IAF foi obtido a partir de mensurações realizadas com equipamento Sunscan plant analyser (Delta-T Devices Ltd, Burwell, Cambridge, Inglaterra). Esta avaliação foi realizada a cada quinze dias com cinco mensurações por parcela. Esses dados foram então comparados aos resultados da análise destrutiva e mostrou uma superestimação pelo equipamento Sunscan (Figura 5.2.4), causado pela inclusão de hastes e material senescente e plantas invasoras obtido pelo método não destrutivo. Ainda, Ta et al. (2020) indicaram que essa metodologia requer certa altura do dossel para que seja possível a mensuração, o que pode influenciar nas parcelas de CF 28.

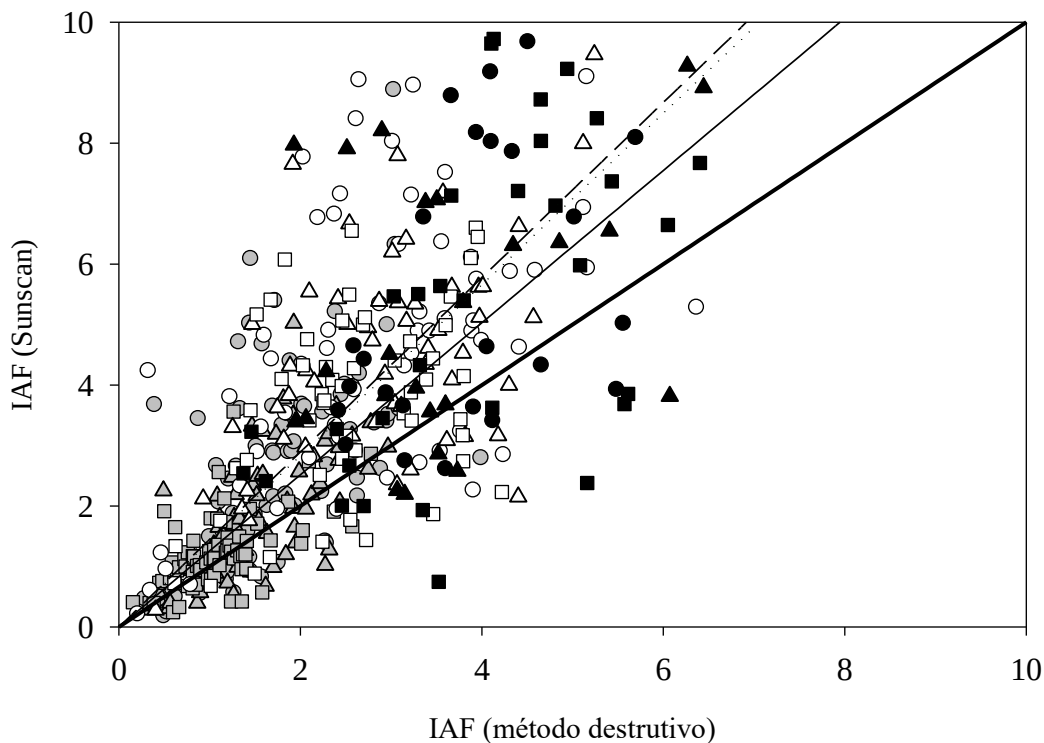


Figura 5.2.4 Relação entre índice de área foliar (IAF) obtido a partir do equipamento Sunscan e o IAF obtido a partir de método destrutivo de alfafa com níveis de dormência 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob três intervalos entre desfolhações (CF) de 28 dias (símbolos cinza), 42 dias (símbolos abertos) e 84 dias (símbolos fechados) por cinco anos em clima temperado.

A partir das avaliações com o equipamento Sunscan também foram obtidos os dados de radiação incidente (R_i) e radiação transmitida (R_0). O equipamento mensura a radiação acima do dossel por usar uma estação fixa, enquanto que a radiação abaixo do dossel foi capturada por uma estação móvel. O logaritmo neperiano da relação entre R_i e R_0 , plotado contra IAF das análises destrutivas (IAV, índice de área verde), resultou no coeficiente de extinção (k) com valor de 0.83 ($R^2=0,85$) para todos os níveis de dormência e intervalos entre desfolhações (Figura 5.2.5).

A interpolação da fração diária de luz interceptada foi realizada baseada nos dados do Sunscan e, associado com dados de radiação incidente, permitiram calcular a radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_i). A radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA_0) é estimada para ser cerca de 50% da radiação solar total. A partir

dos dados diários de RFA_0 , a RFA_i acumulada foi calculada pela soma diária destes dados (TEIXEIRA et al., 2008).

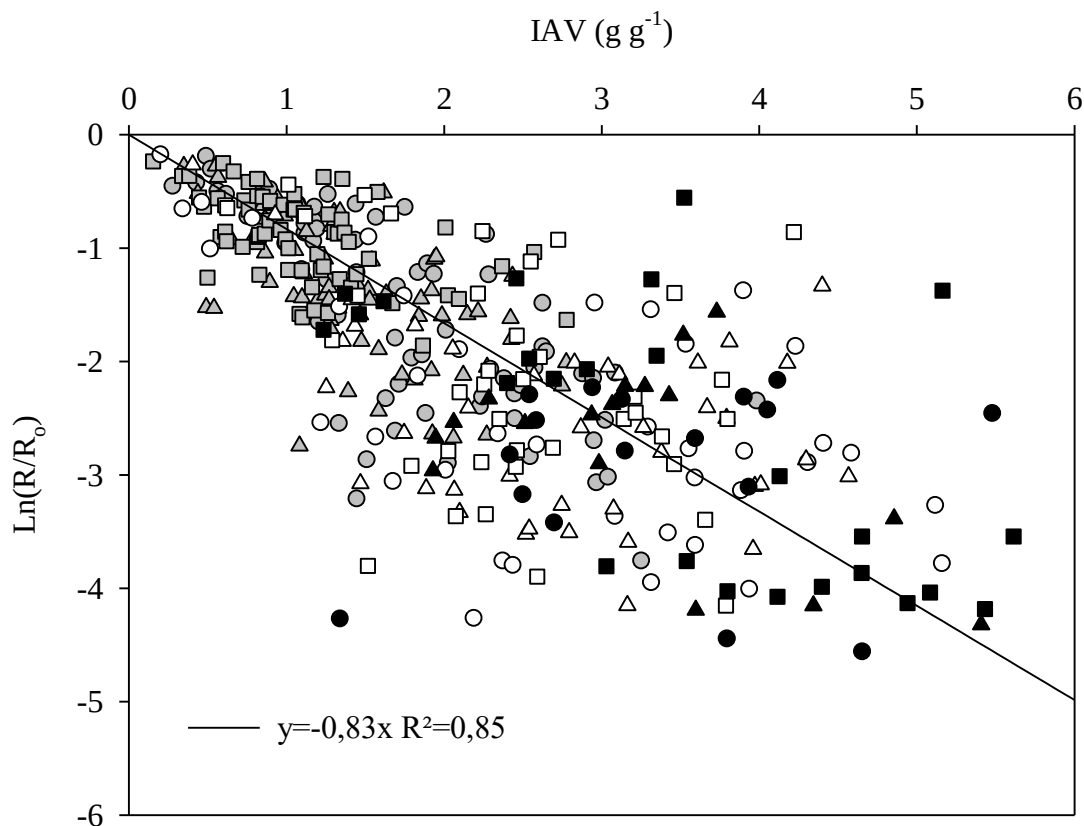


Figura 5.2.5 Logaritmo neperiano da transmissão de luz (R/R_0) obtido a partir do Sunscan e índice de área verde (IAV) de análises destrutivas dos níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) de alfafa sob intervalos entre desfolhações de 28 dias (símbolos cinza), 42 dias (símbolos abertos) e 84 dias (símbolos fechados) por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

A inclinação da regressão representa o coeficiente de extinção (k).

Análise estatística

Para analisar os efeitos das parcelas e sub parcelas, foi realizada análise de variância utilizando o PROC GLM, as diferenças significativas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Este teste ainda avaliou as interações entre os efeitos testados, no mesmo nível de significância. Regressões lineares e não lineares foram realizadas pelo PROC REG e PROC NLIN, respectivamente.

Para testar as diferenças dos parâmetros das regressões lineares, foram realizados testes de contrastes ortogonais, usando o PROC GLM. As regressões não lineares

tiveram a soma dos quadrados dos resíduos de cada tratamento calculada utilizando variáveis *dummy* (teste de modelo de identidade e parâmetro de igualdade). Os resultados foram utilizados para o cálculo de qui-quadrado de cada parâmetro das equações. Apenas as comparações entre qui-quadrado calculado e qui-quadrado tabelado foram realizadas pelo teste F usando o software R®, versão 4.0.9 (P=0.05), e então comparados os parâmetros das regressões.

O cálculo para a determinação do r-quadrado das regressões não lineares foi realizado pela divisão da soma dos quadrados do modelo pela soma dos quadrados totais. Com a exceção da análise entre o qui-quadrado, todas as análises estatísticas foram realizadas no SAS®, University Edition. Os gráficos foram confeccionados no programa SigmaPlot, versão 13.0 (SPPSS, Inc.).

5.3 Resultados e discussão

A fração de radiação interceptada não mostrou diferenças ($P>0,05$) entre nenhum dos tratamentos estudados quando plotada contra o índice de área foliar (IAF) (Figura 5.3.1), o que indica que as plantas de todos os níveis de dormência e intervalos entre desfolhações tiveram um padrão de interceptação luminosa similar, e o mesmo IAF_{crit} de 3,6 aos 95% de interceptação luminosa (IL).

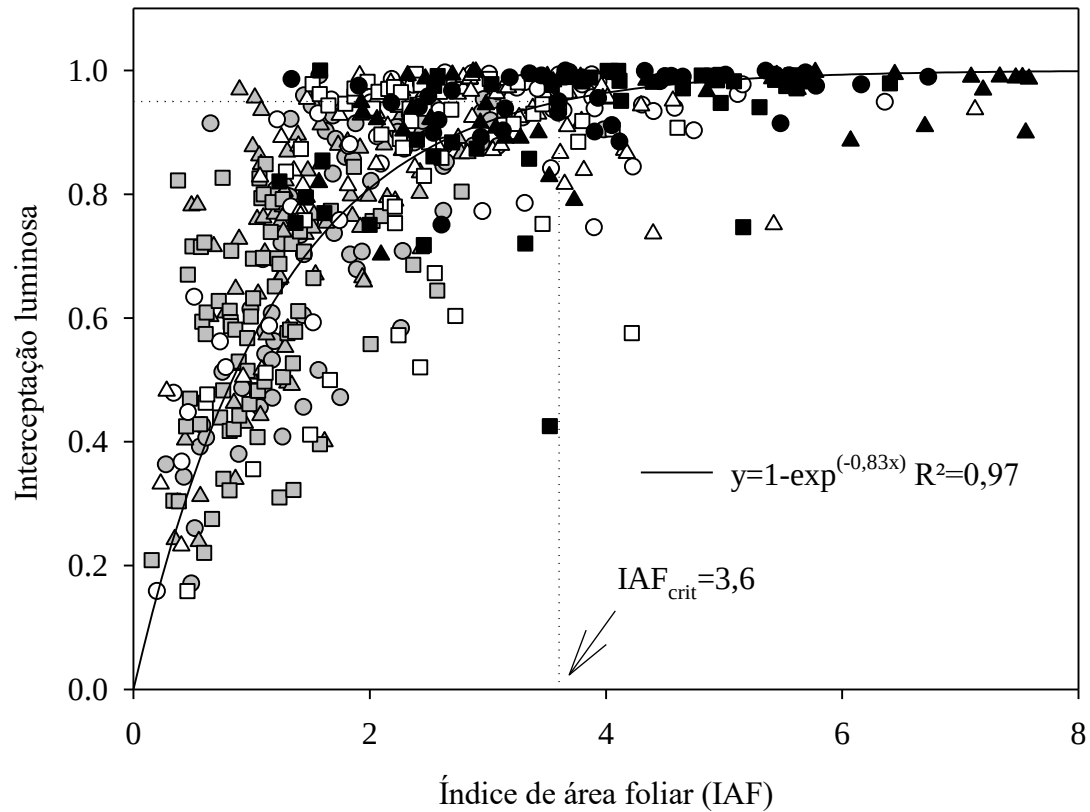


Figura 5.3.1 Relação entre a fração diária de radiação interceptada (Sunscan®) e índice de área foliar proveniente de análises destrutivas de alfafa com os níveis de dormência (FD) 2 (○), 5 (△) e 10 (□) sob os intervalos entre desfolhações de 28 dias (símbolos cinza), 42 dias (símbolos abertos) e 84 dias (símbolos fechados) por cinco anos em clima temperado.

Linha pontilhada representa o IAF_{crit} de $3,6 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ aos 95% de IL.

A radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_i) acumulada anualmente não apresentou interação entre os fatores CF x FD ($P=0,18$), mas com efeitos dos intervalos entre desfolhações ($P<0,0001$) (Figura 5.3.2).

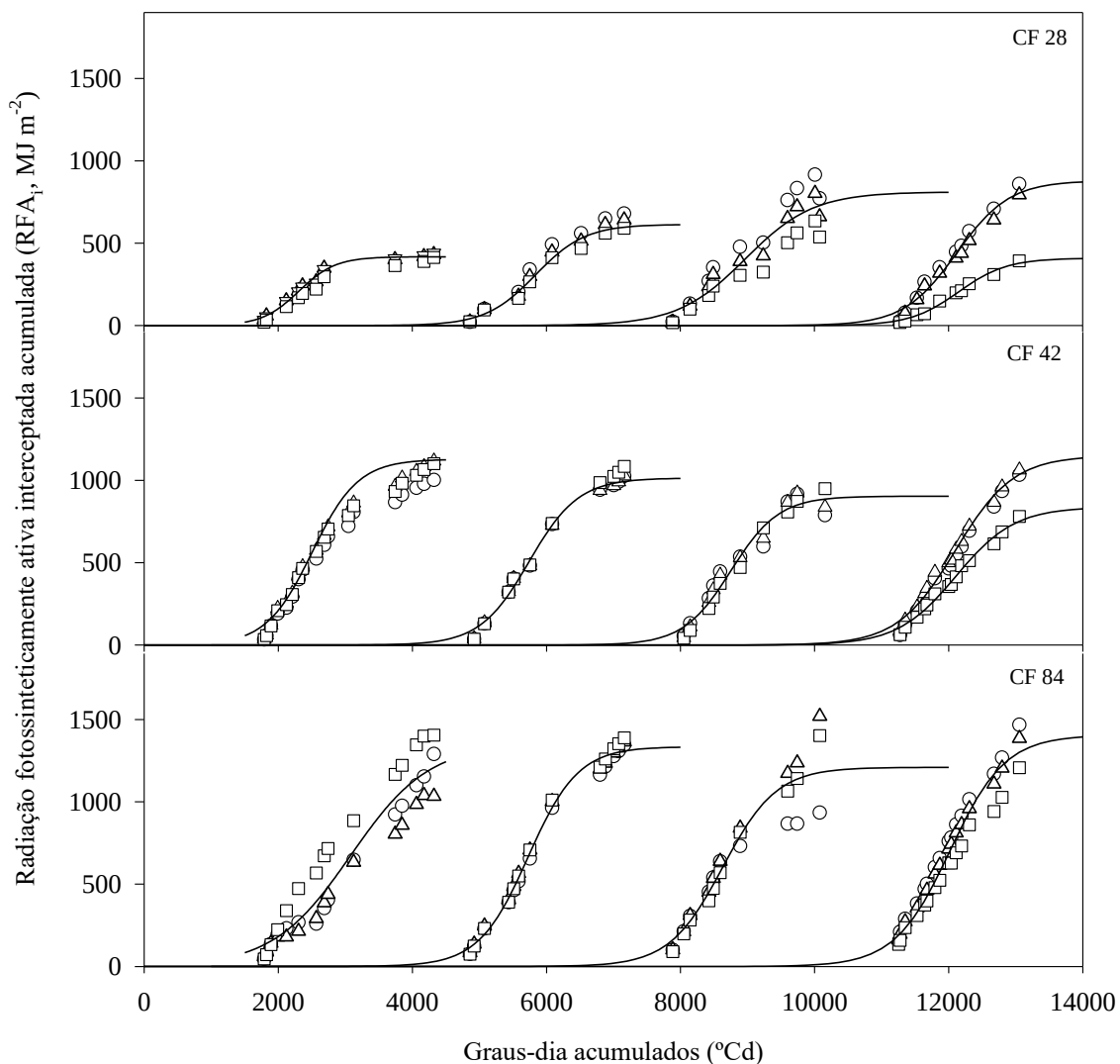


Figura 5.3.2 Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_i) acumulada por ano durante o acúmulo de graus-dia (°Cd) dos níveis de dormência (FD) 2 (○), 5 (Δ) e 10 (□) de alfafa sob os intervalos entre desfolhações de 28, 42 e 84 dias por cinco anos em Lincoln, Canterbury, Nova Zelândia.

Os parâmetros das equações e seus respectivos erros médio padrão são apresentados no Apêndice 3.

Conforme esperado, o CF 84 (599,8 MJ m⁻²) interceptou a maior média de RFA_i por rotação que o CF 28 (302,8 MJ m⁻²). No Ano 5, o FD10 apresentou o menor padrão de RFA_i, com média de 403,7 RFA_i m⁻², enquanto que os demais níveis de dormência apresentaram médias de 596,7 RFA_i m⁻² e 590,6 RFA_i m⁻² (FD2 e FD5, respectivamente).

Os fatores de IAF ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) não mostraram interação entre CF x FD ($P=0,61$), mas efeitos significativos dos intervalos entre desfolhações e níveis de dormência (Figura 5.3.3).

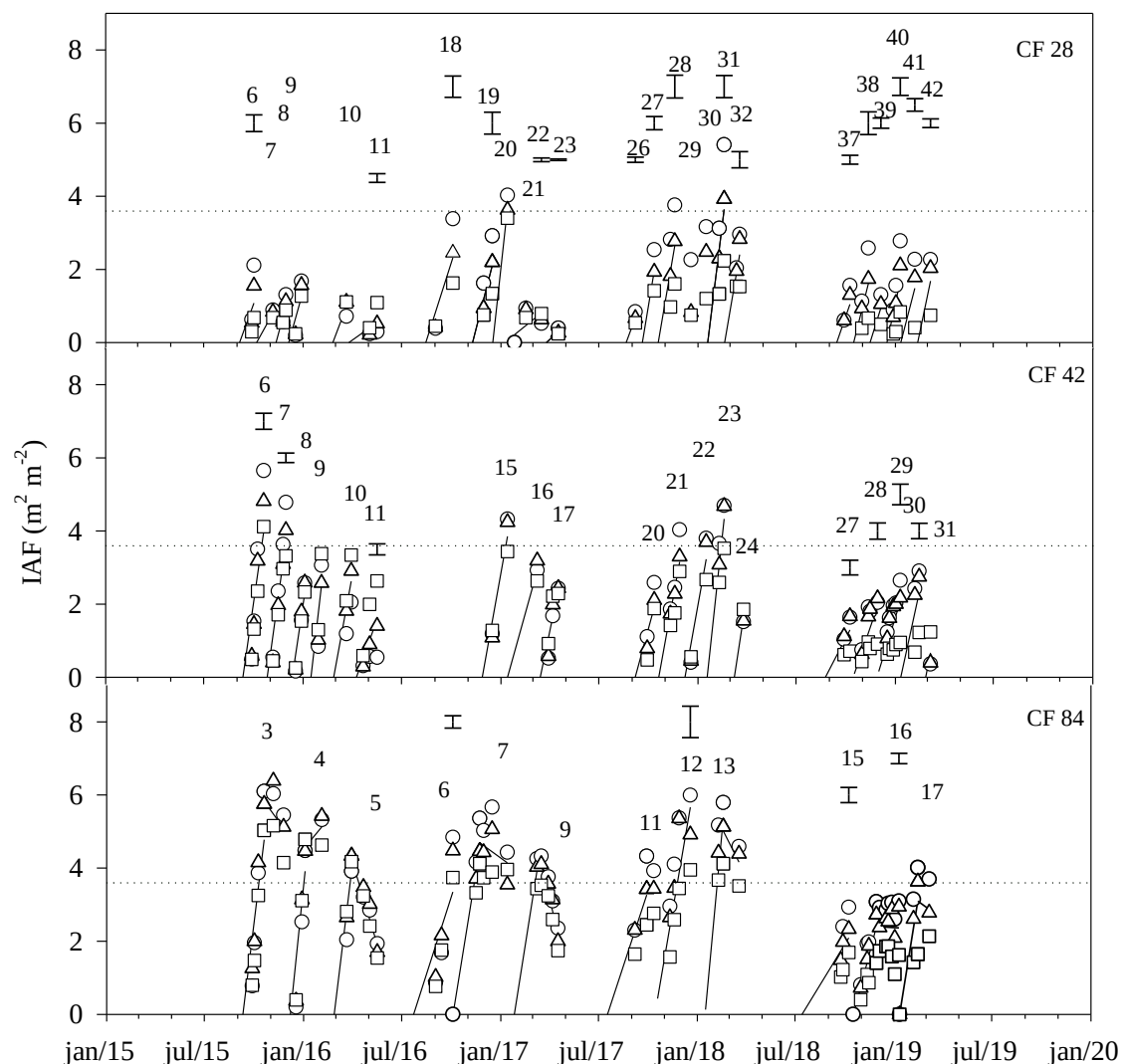


Figura 5.3.3 Índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) de cada ciclo de rebrote de alfafa com os níveis de dormência 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob os intervalos entre desfolhações de 28, 42 e 84 dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

A linha pontilhada representa o IAF_{crit} de $3,6 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$. As barras indicam o erro padrão da média ($\alpha=0,05$) para diferenças entre os níveis de dormência em cada intervalo entre desfolhações. Os parâmetros das equações e seus respectivos erros padrão da média estão apresentados no Apêndice 4.

As plantas no CF 84 tiveram maior IAF comparado ao CF 42, tendo o CF 28 apresentado os menores valores. Quando diferenças ($P<0,05$) foram observadas entre os

níveis de dormência, estas foram geralmente causadas pelos menores valores de IAF de FD10, e sem diferenças entre FD2 e FD5 ($P>0,05$). A sazonalidade representada pelo maior IAF no verão, e menor no outono, foi observado em todos os intervalos entre desfolhações.

No CF 28, as plantas raramente atingiram o IAF_{crit} , exceto o FD2 e o FD5 nos verões de 2016/17 e 2017/18, e apresentaram média de $1,31 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. Devido ao maior intervalo entre desfolhações, senescência e florescimento foram observados no CF 84 e causaram a mudança de inclinação nas regressões deste tratamento (Apêndice 4). O máximo IAF foi observado no FD5 ($6,39 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$). Mas as reduções subsequentes resultaram em valores abaixo do IAF_{crit} .

O número de folhas primárias na haste principais não mostrou interação significativa entre os fatores CF x FD, com efeitos ($P<0,05$) somente entre intervalos entre desfolhações (Figura 5.3.4). No CF 28 a média total foi de 8,6 de folhas por haste principal. No CF 42 houve uma clara flutuação nos valores de folhas primárias, com o aumento do número de folhas na primavera e redução no outono. O CF 84 permitiu as plantas produzirem mais folhas por ciclos de rebrote, com o máximo de 35 folhas (FD10) no ciclo de rebrote 5.

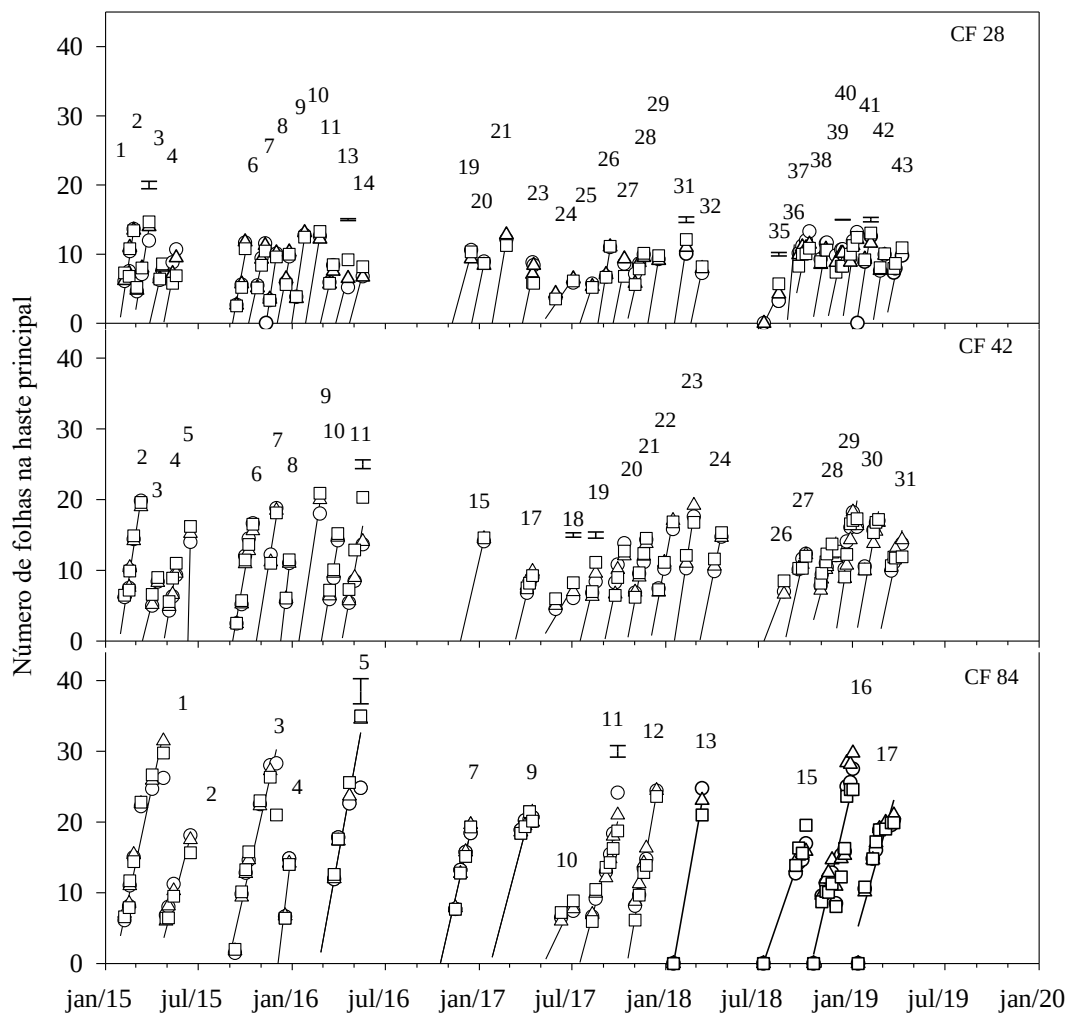


Figura 5.3.4 Número de folhas primárias na haste principal de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 (○), 5 (Δ) e 10 (□) sob intervalos entre desfolhações de 28, 42 e 84 dias, por cinco anos em clima temperado.

Os números representam os respectivos ciclos de rebrote. As barras indicam o erro padrão da média ($\alpha=0,05$) para diferenças entre os níveis de dormência em cada intervalo entre desfolhações. Os parâmetros das equações e seus respectivos erros padrão estão apresentados no Apêndice 5.

Estas variações entre níveis de dormência são um sintoma da expansão do dossel em resposta ao acúmulo de graus-dia (Figura 5.3.5), apesar de não ter havido interação entre CF x FD ($P>0,05$).

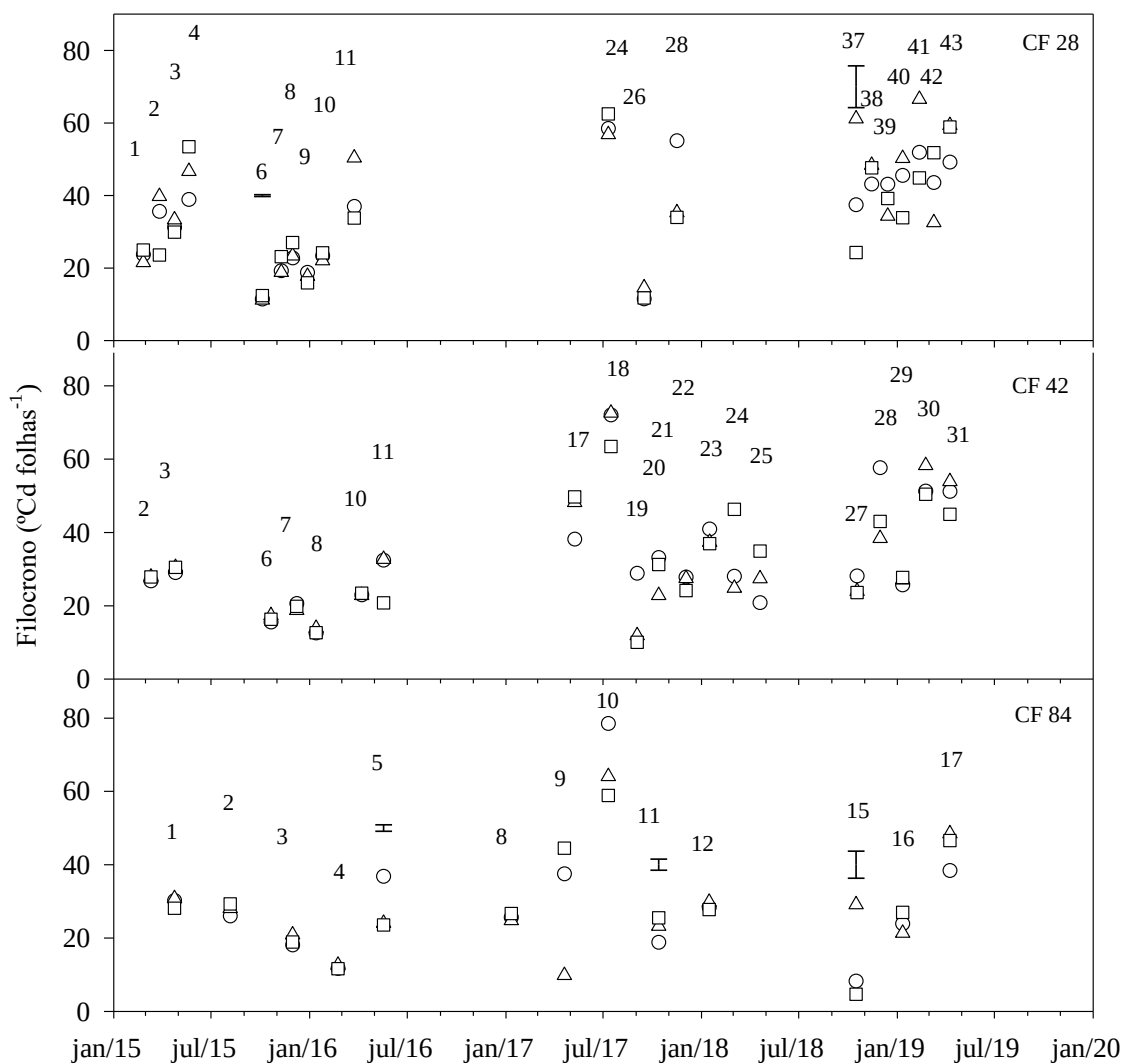


Figura 5.3.5 Filocrono ($^{\circ}\text{Cd folha}^{-1}$) de alfafa com níveis de dormência 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) desfolhadas a cada 28, 42 e 84 dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Os números representam os respectivos ciclos de rebrote. As barras indicam o erro padrão da média ($\alpha=0,05$) para diferenças entre os níveis de dormência em cada intervalo entre desfolhações.

O aumento do filocrono no outono e sua redução na primavera reflete a exigência de fotoperíodo destas plantas para produzir novas folhas. Mas, durante as estações houve variações destas exigências dos níveis de dormência, por exemplo, no CF 84 ciclo de rebrote 5 (outono), o FD2 teve uma exigência maior ($P<0,05$) para produzir uma nova folha, comparado com FD5 e FD10 (36,7; 24,5 e 23,5 $^{\circ}\text{Cd folha}^{-1}$, respectivamente). Por outro lado, no ciclo de rebrote 11 (primavera) o filocrono de

FD10 foi maior ($P<0,05$) que o FD2 (25,5 e 18,8 °Cd folha⁻¹, respectivamente). O CF 42 resultou em um filocrono máximo de 69,7 °Cd folha⁻¹ (ciclo de rebrote 18) e um mínimo de 13,0 °Cd folha⁻¹ no verão de 2016 (ciclo de rebrote 8).

O filocrono ainda respondeu diferentemente ($P<0,05$) de acordo com o regime de fotoperíodo, com um aumento de janeiro a junho (fotoperíodo decrescente) e valor constante ($P>0,05$) em fotoperíodo crescente (primavera) (Figura 5.3.6).

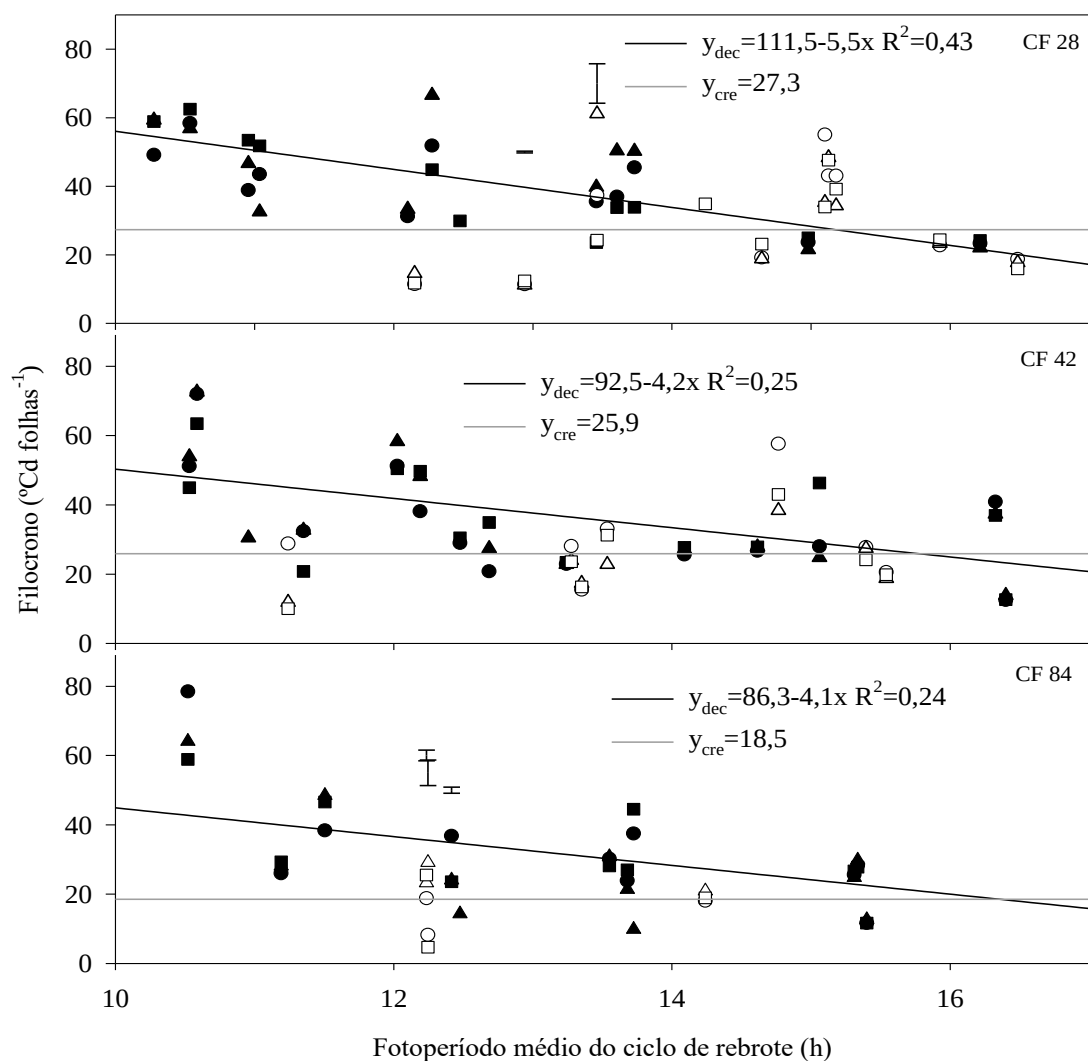


Figura 5.3.6 Filocrono (°Cd folha⁻¹) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 (○), 5 (Δ) e 10 (□) sob intervalos entre desfolhações de 28, 42 e 84 dias em fotoperíodo crescente (símbolos abertos – linha cinza) e decrescente (símbolos fechados – linha sólida), por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

As barras indicam o erro padrão da média ($\alpha=0,05$) para diferenças entre os níveis de dormência em cada intervalo entre desfolhações.

Os níveis de dormência não tiveram respostas diferentes ($P>0,05$) dentro dos intervalos entre desfolhações. Em fotoperíodo decrescente houve aumentos de $5,5\text{ }^{\circ}\text{Cd folha}^{-1}\text{ h}^{-1}$ no CF 28, $4,2\text{ }^{\circ}\text{Cd folha}^{-1}\text{ h}^{-1}$ (CF 42) e $4,1\text{ }^{\circ}\text{Cd folha}^{-1}\text{ h}^{-1}$ no CF 84. Em fotoperíodo crescente não houve mudanças no filocrono, que se manteve em $27,3\text{ }^{\circ}\text{Cd folha}^{-1}\text{ h}^{-1}$ (CF 28), $25,9\text{ }^{\circ}\text{Cd folha}^{-1}\text{ h}^{-1}$ (CF 42) e $18,5\text{ }^{\circ}\text{Cd folha}^{-1}\text{ h}^{-1}$ (CF 84).

Como esperado, a taxa de expansão foliar (TEF, $\text{m}^2\text{ m}^{-2}\text{ }^{\circ}\text{Cd}^{-1}$) seguiu o mesmo padrão de IAF, sem interações significativas entre CF x FD, mas um efeito principal ($P=0,05$) do intervalo entre desfolhações (Figura 5.3.7). No CF 28 as plantas tiveram maior TEF comparada com os outros intervalos entre desfolhações, causado pelos estímulos constantes de remoção de tecido, o que significa que as plantas estavam provavelmente em algum nível de estresse de C.

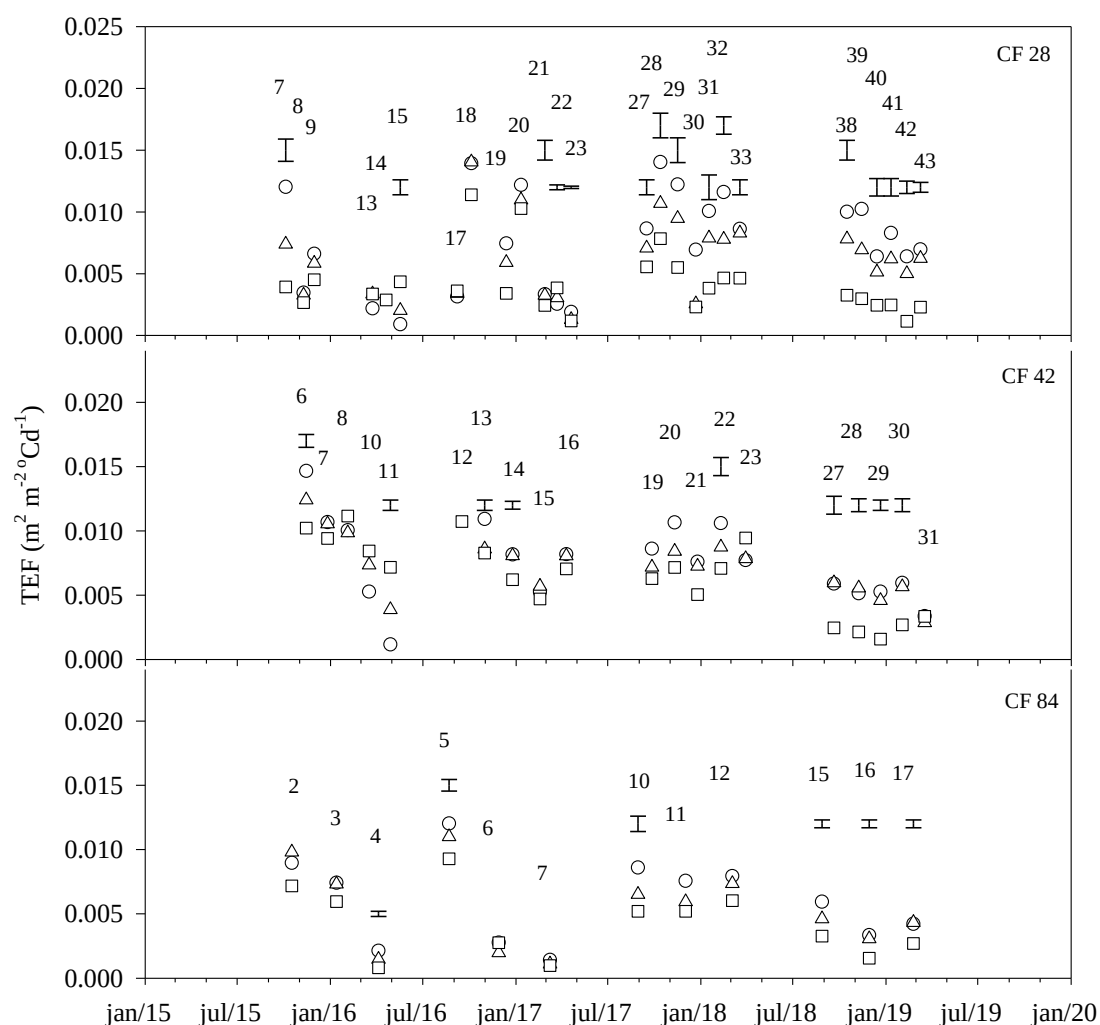


Figura 5.3.7 Taxa de expansão foliar (TEF, $\text{m}^2 \text{m}^{-2} \text{°Cd}^{-1}$) de alfafa com os níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob os intervalos entre desfolhações de 28, 42 e 84 dias por cinco anos.

Os números representam os ciclos de rebrote. As barras indicam o erro padrão da média ($\alpha=0,05$) para diferenças entre os níveis de dormência em cada intervalo entre desfolhações.

A TEF também respondeu de maneira diferente ($P<0,05$) ao fotoperíodo (Figura 5.3.8). Assim como o fotoperíodo decresceu, a TEF também reduziu com exceção do tratamento FD10 CF 28 ($P>0,05$) que manteve média de $0,003 \text{ m}^2 \text{m}^{-2} \text{°Cd}^{-1} \text{h}^{-1}$. Em contraste, FD2 e FD5 tiveram uma redução de $0,0013 \text{ m}^2 \text{m}^{-2} \text{°Cd}^{-1} \text{h}^{-1}$ no mesmo período.

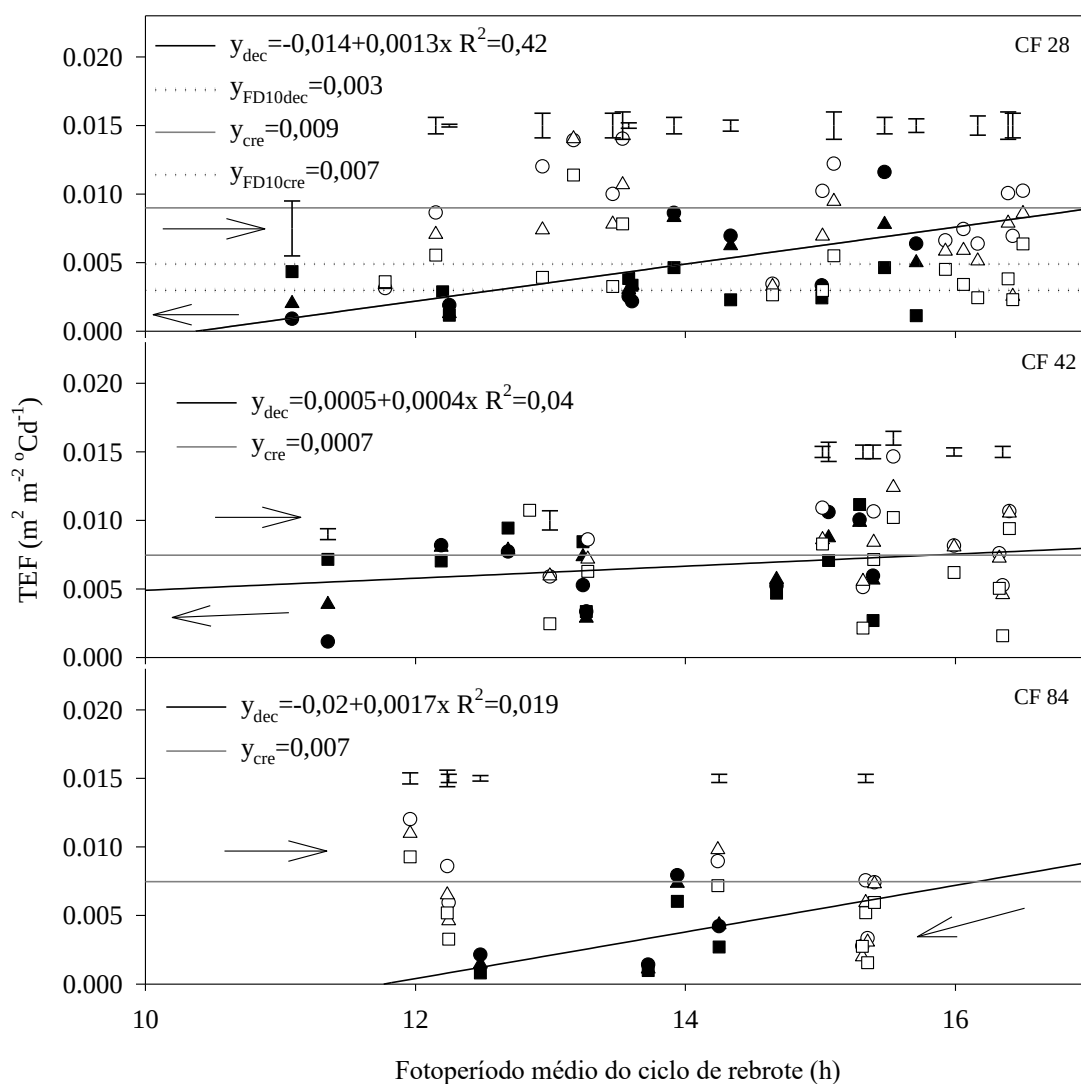


Figura 5.3.8 Taxa de expansão foliar (TEF, $\text{m}^2 \text{m}^{-2} \text{°Cd}$) de alfafa com os níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob diferentes intervalos entre desfolhações (CF) em função de fotoperíodo crescente (símbolos abertos – linha cinza) e decrescente (símbolos fechados – linha sólida) por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

As barras indicam o erro padrão da média ($\alpha=0,05$) para diferenças entre os níveis de dormência em cada intervalo entre desfolhações.

No CF 42 a redução da TEF foi de $0,004 \text{ m}^2 \text{m}^{-2} \text{°Cd}^{-1} \text{h}^{-1}$ sem diferenças ($P>0,05$) entre os níveis de dormência. Contudo em fotoperíodo crescente teve-se uma média de $0,007 \text{ m}^2 \text{m}^{-2} \text{°Cd}^{-1} \text{h}^{-1}$ apresentado por CF 42, CF 84 e FD10 CF 28. As exceções foram FD2 e FD5 em CF 28 que tiveram maior ($P<0,05$) média de $0,009 \text{ m}^2 \text{m}^{-2} \text{°Cd}^{-1} \text{h}^{-1}$, o

que implica que o intervalo entre desfolhações extremo forçou as plantas a aumentarem a TEF média na primavera/verão.

A altura de planta não mostrou interação significativa entre CF x FD ($P=0,67$). Entretanto, os intervalos entre desfolhações e níveis de dormência causaram ($P<0,0001$) alguns efeitos na altura da haste principal (Figura 5.3.9).

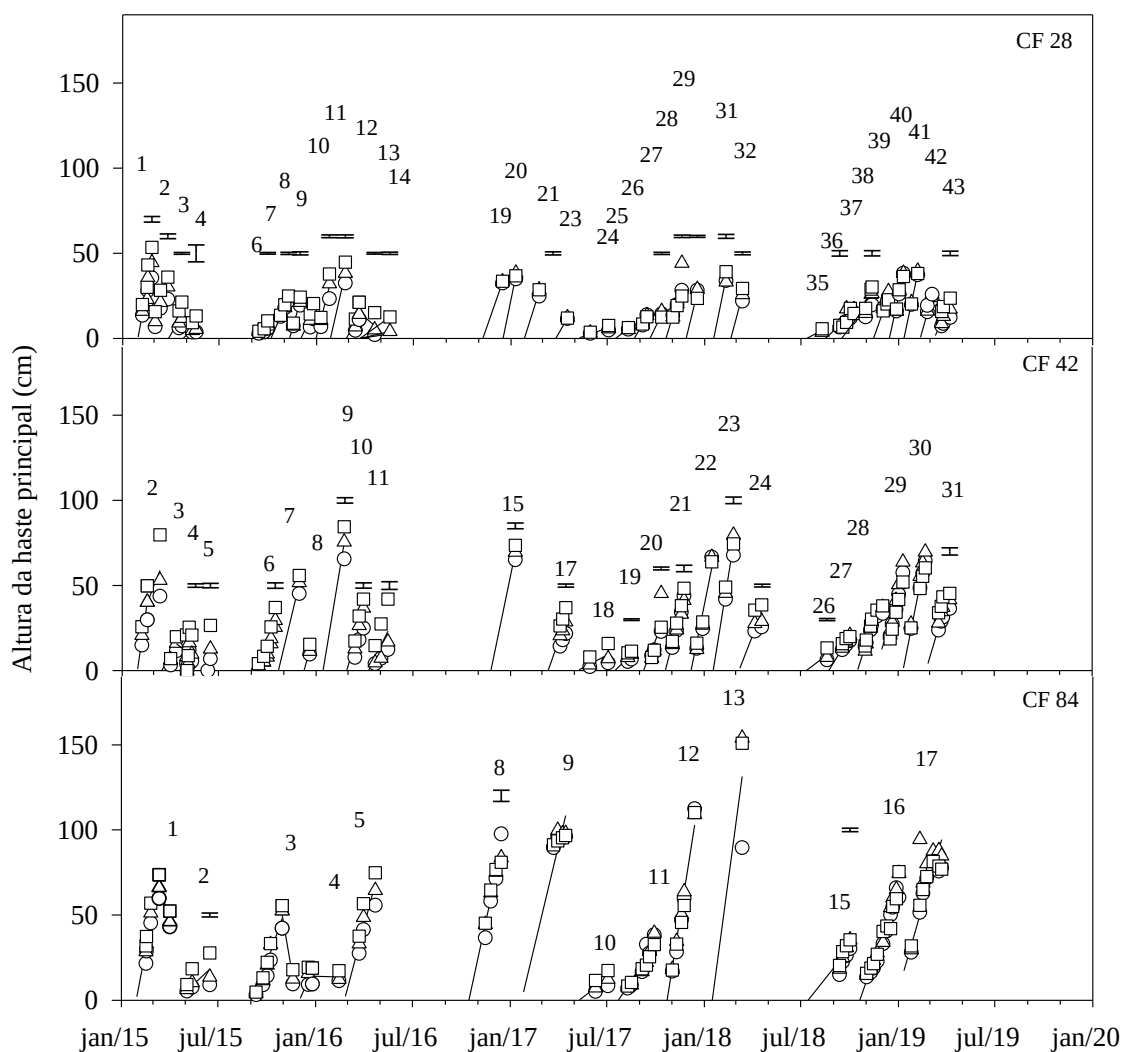


Figura 5.3.9 Altura de haste principal (cm) de alfafa os níveis de dormência 2 (○), 5 (Δ) e 10 (□) submetidos aos intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Os números representam os respectivos ciclos de rebrote. As barras indicam o erro padrão da média ($\alpha=0,05$) para diferenças entre os níveis de dormência em cada intervalo entre desfolhações. Os parâmetros das equações e seus respectivos erros padrão da média estão apresentados no Apêndice 6.

O FD10 teve a maior altura média (30,6 cm), com o FD2 como a menor altura (25,4 cm), e FD5 teve média de 28,6 cm. No CF 28 as plantas raramente ultrapassaram os 50 cm de altura, e quando isso ocorreu foi realizado pelo FD10. No CF 42 as plantas apresentaram flutuação sazonal bem destacada, com cerca de 25 cm no inverno, e mais de 70 cm no verão. No CF 84 o FD10 apresentou hastes mais altas no inverno. Mas, curiosamente, em janeiro de 2017 o FD2 ultrapassou os demais e atingiu 100 cm de altura.

A taxa de alongamento da haste (TAH, $\text{cm } ^\circ\text{Cd}^{-1}$) não apresentou interação entre os fatores ($P=0,97$) mas ambos, CF e FD tiveram efeitos significativos (Figura 5.3.10). Como esperado, o FD10 teve a maior ($P<0,05$) TAH, o que é consistente com a principal característica usada para a classificação das dormências. No CF 28 a TAH atingiu um máximo de $0,9 \text{ cm } ^\circ\text{Cd}^{-1}$ no verão, e $0,12 \text{ cm } ^\circ\text{Cd}^{-1}$ no outono. No CF 42 e CF 84 os maiores valores giraram em torno de $0,16 \text{ cm } ^\circ\text{Cd}^{-1}$. Seguindo o padrão de IAF e TEF, no Ano 5 as diferenças entre TAH dos níveis de dormência, antes dominado pelo FD10, não foi significativa.

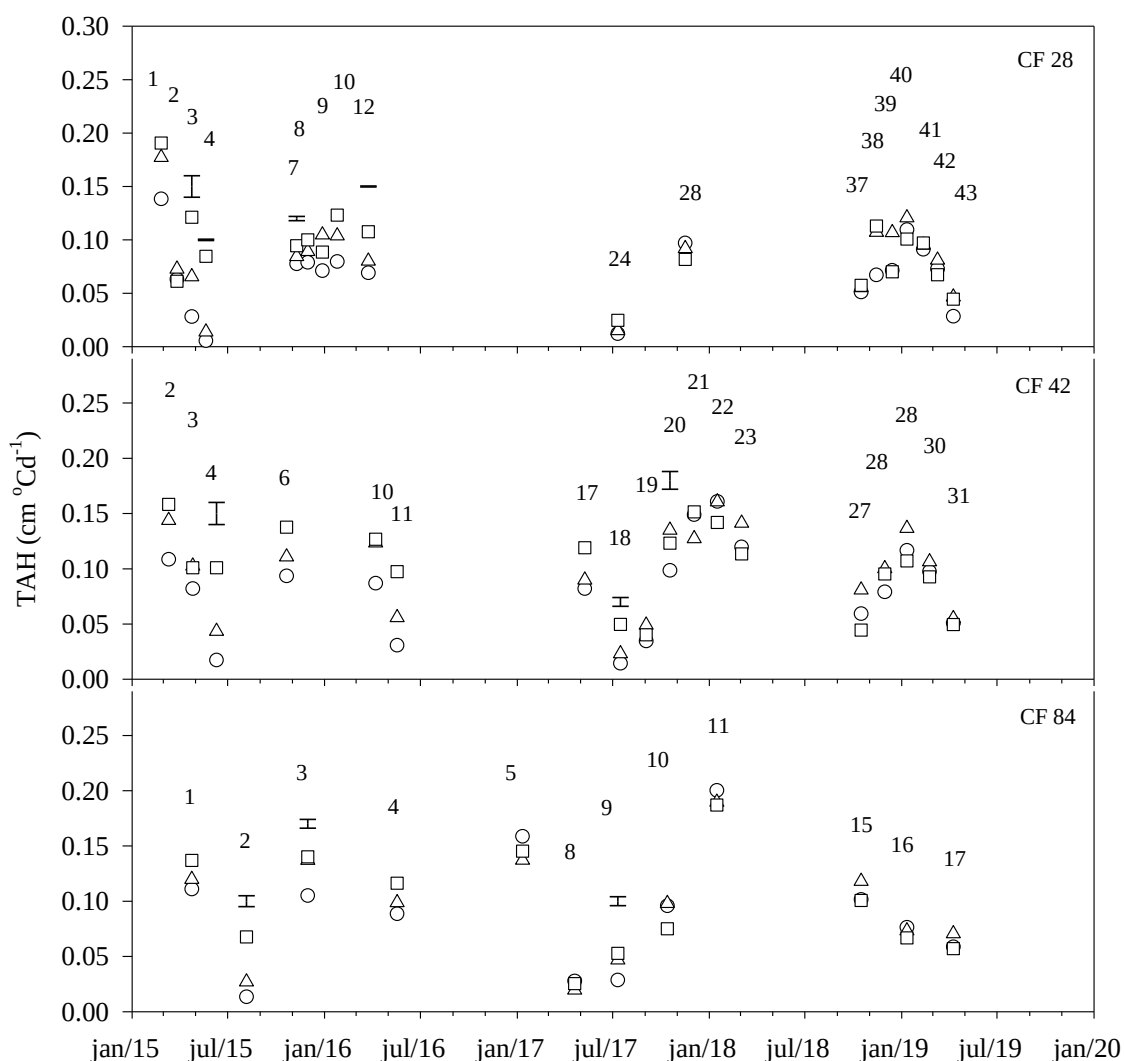


Figura 5.3.10 Taxa de alongamento de haste (TAH, cm °Cd⁻¹) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 (○), 5 (Δ) e 10 (□) sob os intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias por cinco anos em clima temperado.

Os números representam os ciclos de rebrote. As barras indicam o erro padrão da média ($\alpha=0,05$) para diferenças entre os níveis de dormência em cada intervalo entre desfolhações.

A altura de haste teve interação ($P<0,05$) com a produção de matéria seca aérea (MS) em resposta às mudanças de fotoperíodo (Figura 5.3.11). A produção de MS como uma função da altura do dossel seguiu um padrão em fotoperíodo decrescente, quando todos os tratamentos reduziram sua produção com a redução da expansão do dossel. No CF 28, FD2 e FD5 diferiram ($P<0,05$), tendo o FD2 produzido 0,05 t MS ha⁻¹ cm⁻¹, comparado às 0,03 t MS ha⁻¹ cm⁻¹ apresentado por FD5. O CF 42 apresentou diferenças ($P<0,05$) entre FD5 e FD10 com 0,07 t MS ha⁻¹ cm⁻¹ e 0,04 t MS ha⁻¹ cm⁻¹,

respectivamente, no mesmo fotoperíodo. Como esperado, no CF 28 os níveis de dormência não tiveram diferenças ($P>0,05$) com uma taxa de $0,02 \text{ t MS ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$.

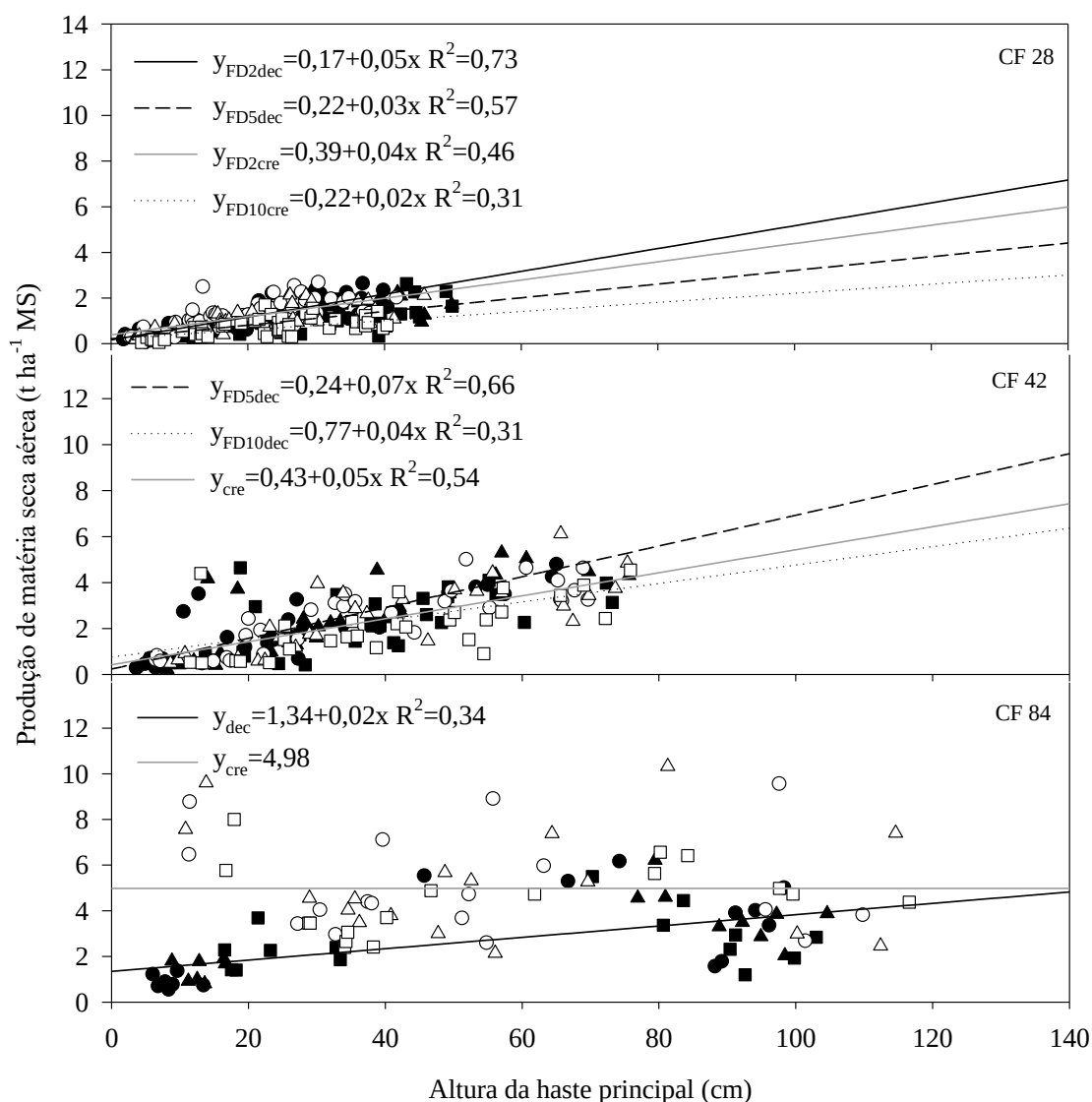


Figura 5.3.11 Estimação da produção de matéria seca aérea ($\text{t MS ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) a partir da altura de dossel de alfafas com os níveis de dormência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) submetidas a intervalos entre desfolhações (CF) de 28, 42 e 84 dias, em fotoperíodo crescente (símbolos abertos – linha cinza) e decrescente (símbolos fechados – linha sólida) por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Durante o fotoperíodo crescente houve diferenças quanto aos intervalos entre desfolhações. Enquanto que CF 84 apresentou uma média de $4,98 \text{ t DM ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, sem variações entre os níveis de dormências, CF 28 teve dois padrões diferentes ($P<0,05$)

para FD2 e FD10. O FD2 teve taxa de produção de $0,044 \text{ t DM ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ e o FD10 de $0,022 \text{ t DM ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. No CF 42 os níveis de dormência não diferiram ($P < 0,05$) e tiveram inclinação de $0,050 \text{ t DM ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$.

O número de ramos na haste principal seguiu o mesmo padrão supracitado, com maiores valores no verão e uma redução durante o outono (Figura 5.3.12), apesar da ausência de interação entre CF x FD ($P = 0,14$).

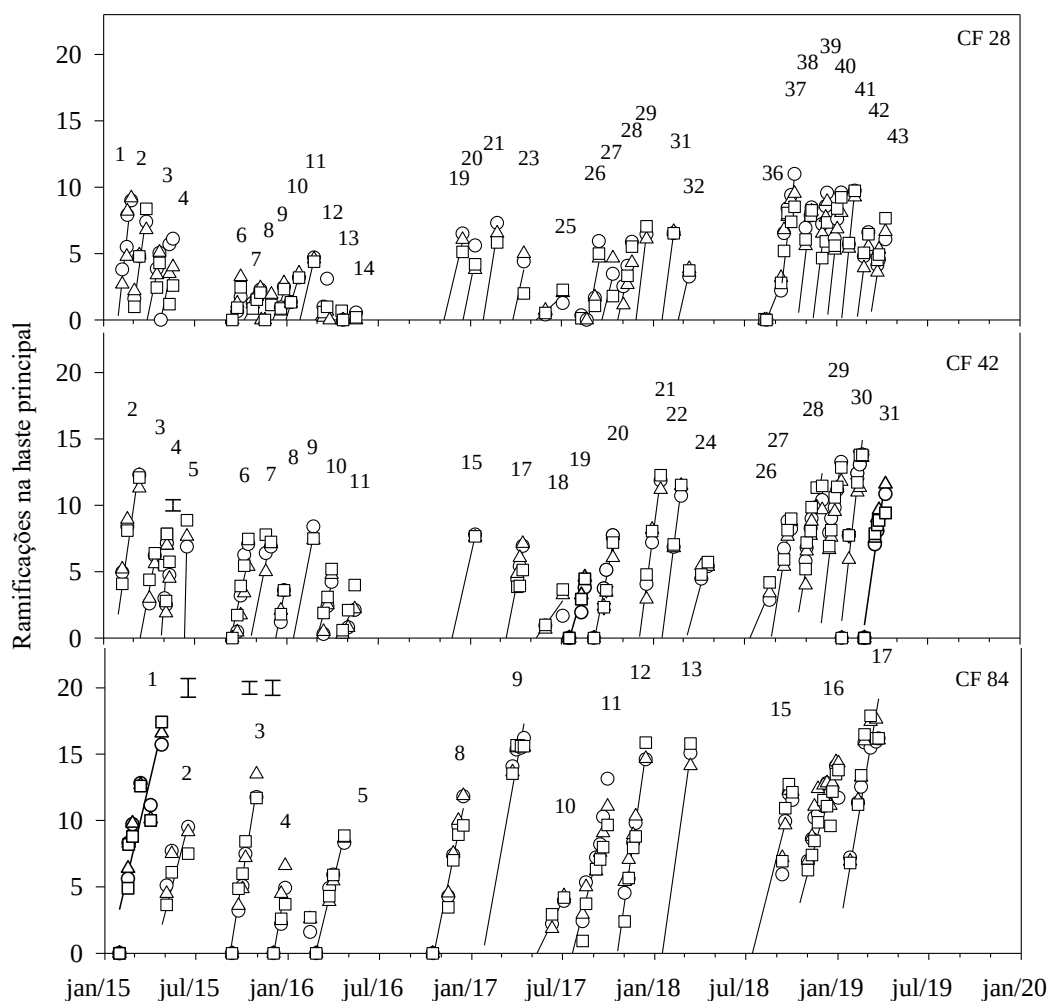


Figura 5.3.12 Número de ramos na haste principal de cultivares de alfafa com os níveis de dormência (FD) 2 (○), 5 (Δ) e 10 (□) nos intervalos entre desfolhações de 28, 42 e 84 dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Os números representam os respectivos ciclos de rebrote. As barras indicam o erro padrão da média ($\alpha = 0,05$) para diferenças entre os níveis de dormência em cada intervalo entre desfolhações. Os parâmetros das equações e seus respectivos erros padrão da média estão apresentados no Apêndice 7.

O CF 28 não causou diferença alguma entre os níveis de dormência, com médias de 4,3 ramos na haste principal. No CF 42 houve somente um ciclo de rebrote que resultou em diferenças entre FD2 e os demais níveis de dormência (ciclo de rebrote 04). Isso aconteceu no outono, quando o FD2 teve menos ramos. No CF 84, FD2 e FD5 ramificaram mais que o FD10 no Ano 02, mesmo no inverno, mas sem diferenças subsequentes ($P>0,05$), com média de 9,8 ramos na haste principal.

O número de folhas senescentes não teve interação entre CF x FD ($P=0,78$), mas com efeitos dos intervalos entre desfolhações ($P<0,0001$) (Figura 5.3.13).

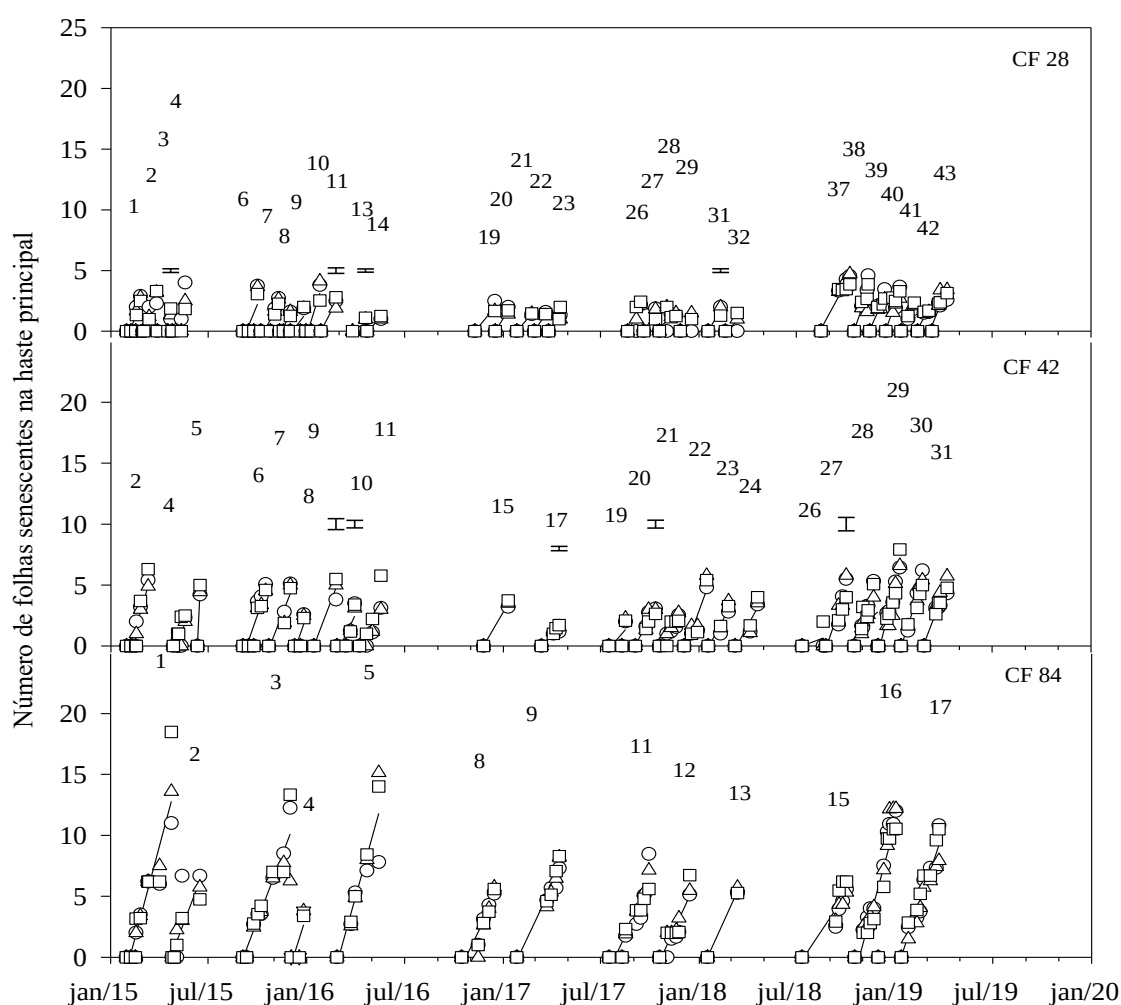


Figura 5.3.13 Número de folhas senescentes de cultivares de alfafa com nível dormência (FD) 2 (○), 5 (Δ) e 10 (□) sob as frequências de desfolhação de 28, 42 e 84 dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Os números representam os respectivos ciclos de rebrote. As barras indicam o erro padrão da média ($\alpha=0,05$) para diferenças entre os níveis de dormência em cada intervalo entre desfolhações. Os parâmetros das equações e seus respectivos erros padrão da média estão apresentados no Apêndice 8.

A maior frequência de remoção de tecido no CF 28 reduziu o número de folhas senescentes dos níveis de dormência, com um máximo de 5 folhas senescentes na haste principal. O CF 42 aumentou o máximo de folhas senescentes para 8 (ciclo de rebrote 29). Já era esperado que o CF 84 apresentasse um maior número de folhas senescentes na haste principal, e excedeu facilmente as 10 folhas em março (outono). Os níveis de dormência se comportaram da mesma maneira e não mostraram diferenças ao final dos ciclos de rebrote ($P>0,05$).

A exigência de graus-dia para a entrada na fase reprodutiva mudou ($P<0,05$) durante as estações. Em fotoperíodo decrescente levou em média 455 °Cd para atingir fase de botão aparente (Figura 5.3.14). O fotoperíodo crescente resultou em diferenças entre as frequências de desfolhação ($P<0,05$). O CF 28 não atingiu tal fase, com exceção do verão, numa média de 302 °Cd h⁻¹. Enquanto isso, o CF 84 teve muito graus-dia acumulado no ciclo de rebrote, o que permitiu às plantas atingir o estágio reprodutivo durante os anos, numa taxa de -80 °Cd h⁻¹ para atingir fase de botão visível.

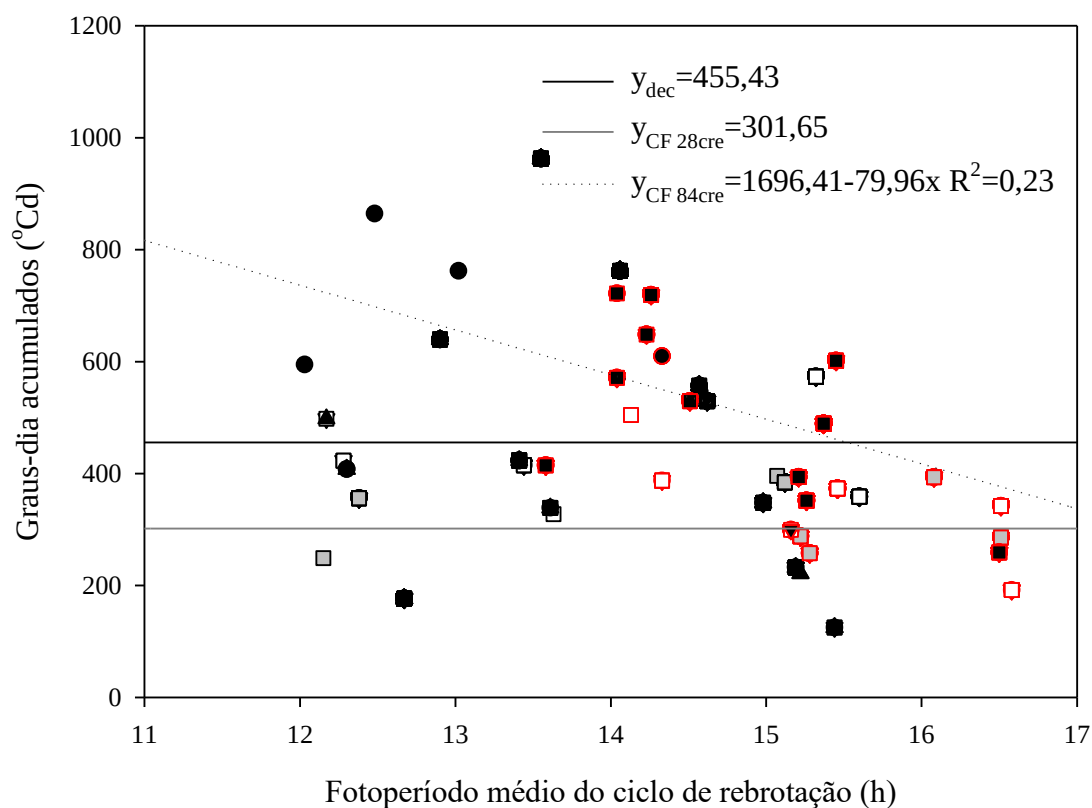


Figura 5.3.14 Acúmulo de graus-dia (T_{b1}) e fotoperíodo requeridos para alcançar a fase de botão visível de alfafa com níveis de dormiência (FD) 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) submetidos a intervalos entre desfolhações de 28 dias (símbolos cinza), 42 dias (símbolos abertos) e 84 dias (símbolos fechados) durante fotoperíodo crescente (bordas vermelhas) e decrescente (bordas pretas) por cinco anos em clima temperado.

Linha pontilhada representa a regressão de CF 84 em fotoperíodo crescente. A linha sólida mostra as médias de CF 28 e CF 42 em fotoperíodo crescente. A linha cinza representa a média total para fotoperíodo decrescente.

Discussão

Os diferentes métodos para estimar IAF, e o processo de ajuste para ter relação 1:1, foram devido a análise enviesada realizada pelas análises não destrutivas, como com o equipamento Sunscan, que desconsidera o material senescente (material marrom) e superestima tal avaliação (DELEGIDO et al., 2015).

A ausência de diferenças na fração de luz interceptada de acordo com o IAF de análise destrutiva, e um coeficiente de extinção (k) estável de 0,83 no IAF_{crit} de 3,6

sugere que os diferentes tratamentos foram expostos à mesma situação luminosa, mas sua eficiência em converter essa luz em biomassa afetou alguns processos fenológicos. Esses resultados são consistentes com os obtidos por Teixeira et al. (2007), Sim et al. (2017) e Jaurégui et al. (2019), que explicaram as mudanças do ângulo das folhas e a reflexão de luz como sinais que o ambiente e o manejo não regularam muitos dos processos fenológicos. A eficiência no uso da radiação (EUR) será discutida no Capítulo 6.

As diferenças em RFA_i acumulada entre os intervalos entre desfolhações foram em decorrência da falta de tempo para as plantas em CF 28 para atingir o fechamento do dossel. Isso foi apresentado por um IAF consistentemente menor que o IAF_{crit} , que reduziu a possibilidade da cultura de mostrar sua plasticidade potencial (TEIXEIRA et al., 2007). No Ano 5 isso se destacou pela redução da população de plantas, em que o maior espaço entre as plantas é altamente correlacionado ao RFA_i acumulado (MATTERA et al., 2013). A associação entre baixo RFA_i sem diferenças na arquitetura das folhas (padrão de luz interceptada), mostra que a redução no IAF foi a principal causa morfológica da baixa produção de matéria seca reportada no Capítulo 3. Isso é consistente com Teixeira et al. (2009) que reportaram que diferenças na população de plantas foi o principal fator estrutural sobre IAF e, consequentemente sobre RFA_i (GASTAL e LEMAIRE, 2015).

O IAF foi em geral maior que os valores reportados por Teixeira et al. (2011) de $1,25 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, e dos $1,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ observados por Ghanizadeh et al. (2014). Sim et al. (2017) obtiveram uma variação de 0,45 e $5,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ dependendo do suprimento de água, com maior correlação entre IAF e produção de matéria seca. Esta alta correlação entre produção e IAF também foi reportado por Wagle et al. (2019), que mostraram que em situações de pluviosidade ótima naquela região (250 mm/mês) uma produção de 3 t ha^{-1} de MS pode ser resultante de um dossel forrageiro com $3,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ de IAF.

Por sua vez, o IAF é uma resposta das mudanças na taxa de expansão foliar (TEF). Teixeira et al. (2007) encontraram correlação positiva forte entre TEF, concentração de nitrogênio (N) e produção de MS. Baseado nisto, é possível afirmar que a poucas reservas de N no FD10 CF 28 (Capítulo 4) reduziram a TEF, e causaram menor IAF e RFA_i (JAURÉGUI et al., 2019). É necessário avaliar o índice de N nutricional (INN) para confirmar que essa limitação foi a responsável pela baixa produção de MS (Capítulo 6). O CF 84 apresentou TEF similar ao reportado por

Teixeira et al. (2011) de $0,016 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{Cd}^{-1}$, mas extremamente mais baixa que o reportado por Teixeira et al. (2007) de $0,127 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{Cd}^{-1}$ para ciclos de rebrote longo-longo.

As diferenças na TEF pelos fotoperíodos foram também encontradas por Brown et al. (2005) que ainda afirmaram que a expansão foliar na primavera é naturalmente menor que no verão, uma vez que a exigência primária das plantas é a emissão de novas folhas, para então expandi-las. A taxa difere com a habilidade do nível de dormência em estocar componentes orgânicos e seu suprimento durante o processo (BROWN et al., 2005).

Como uma característica de seleção, a altura da haste principal e a taxa de alongamento da haste (TAH) foram maiores ($P < 0,05$) para o FD10 mesmo sob condições de limitação de C (CF 28). Alguns autores (RIMI et al., 2010; BERONE et al., 2020) sugeriram que a altura do dossel é uma variável confiável e fácil para a predição da produção de MS, o que corrobora com os resultados apresentados na Figura 5.3.12, e o fato de que quanto mais altas as plantas, maior o número de ramos (BERONE et al., 2020). Contudo, no CF 28 o FD2 teve uma menor necessidade de aumento da altura da haste para obter produção similar aos outros níveis de dormência. Isso aumenta a possibilidade de que, em situações de limitação de C como alta frequência de desfolhação, o IAF pode representar uma variável mais precisa para a estimativa da produção de MS. Isso contradiz Ta et al. (2020) que indicaram que no meio do Ano 3 deste experimento, a altura do dossel foi um bom indicador para pastejo, independentemente do nível de dormência.

Mesmo se usado como principal estimativa de produção de MS e hora da colheita, a altura da haste é oposta ao valor nutritivo, uma vez que quanto mais alto o dossel, maior o número de ramos, maior a produção (LIU et al., 2015), mas menor a digestibilidade e concentração de proteínas devido à lignificação das hastes e iniciação do processo reprodutivo (CHEN et al., 2013; BERONE et al., 2020). Alguns estudos tem mostrado a relação entre a redução da população de plantas e o aumento do número de ramos na alfafa (BROWN et al., 2005; BALDISSERA et al., 2014) que força um controle luminoso no dossel e continua a sombrear as folhas no horizonte inferior. Isso causa a senescência foliar mesmo em pequenas densidades populacionais, e explica o padrão de IL entre os tratamentos.

Com o início do período reprodutivo, há uma redução natural do valor nutritivo, causada principalmente pela altura das plantas e redução na relação folha:haste. Isso leva a uma consequente redução na concentração de proteína bruta (PB, %) e digestibilidade (KALU e FICK, 1983; BROWN e MOOT, 2006). Os dias para atingir a fase de botão visível no CF 84 indicam que neste intervalo entre desfolhações as plantas têm sido colhidas em fase de pós-florescimento, o que é classificado como uma forragem de baixo valor nutritivo por Kharage et al. (2014), com uma redução da proteína digestível de 20,8% na fase pré-florescimento para 18,1% em fase pós-florescimento (Capítulo 3).

Neste experimento, os níveis de dormência tiveram um filocrono consistente durante fotoperíodo crescente e entre as frequências de desfolhação. Durante esse período, não houve diferenças no desenvolvimento reprodutivo. Entretanto, em fotoperíodo decrescente houve um ângulo semelhante ao encontrado por Sim et al. (2015) de $-75,1\text{ }^{\circ}\text{Cd h}^{-1}$, mas inferior aos $-91,3\text{ }^{\circ}\text{Cd h}^{-1}$ apresentados por Teixeira et al. (2011), ambos no mesmo local. Brown et al. (2005) sugeriram o filocrono como indicador de particionamento de substratos para os órgãos perenes, uma vez que eles são inversamente proporcionais e simultâneos. Para confirmar isso, o particionamento de componentes orgânicos será explorado no Capítulo 6. De acordo com Sim et al. (2005) a taxa de aparecimento de folhar e, consequentemente, o filocrono são mediadores do sistema reprodutivo, uma vez que um maior filocrono reflete em uma exigência maior de graus-dia para atingir fase de botão visível.

A singularidade entre florescimento e reservas perenes é apontada como uma das principais razões da recomendação de colheita aos 10-20% de florescimento. Contudo, Dobrenz et al. (1966) concluíram, já naquela época, que há uma mobilização expressiva de carboidratos das reservas perenes para o desenvolvimento do aparelho reprodutor, o que pode indicar uma degradação lenta, mas perceptível, nestas reservas ao longo dos anos. Trabalhos mais recentes têm desafiado essa necessidade de esperar pelo florescimento antes da colheita (MOOT et al., 2003; BERONE et al., 2020) e a validação desta mudança será discutida no Capítulo 6.

5.4 Conclusão

Plantas dormentes e não dormentes responderam diferentemente ao manejo e situações ambientais. O FD2 teve maior índice de área foliar, um reflexo da menor exigência de graus-dia para produzir novas folhas (filocrono) e expandi-las (TEF). Por outro lado, o FD10 produziu plantas mais altas, com maior número de folhas, e maior número de ramos. No geral, em um dossel colapsado, a altura de planta não é um estimador preciso da produção de matéria seca, e deve ser limitado a dosséis bem formados como os de FD2 e FD5.

As frequências de desfolhação causaram diferenças em cada estrutura morfológica analisada. O menor filocrono de CF 84 foi acompanhado de menor TEF, o que indica uma grande quantidade de folhas pequenas; o maior número de folhas por sua vez foi equilibrado pela redução do IAF constatado pelas avaliações de meio de ciclo de rebrote, causado pela senescência; as hastes mais altas atingiram seu ciclo reprodutivo mais cedo e tiveram redução da qualidade nutricional. Enquanto isso, CF 42 teve os benefícios de ambos os extremos, hastes mais curtas com ramos e folhas em número suficiente para atingir a alta produção de matéria seca requerida; antes da senescência foliar e menor número de plantas em processo reprodutivo, o que mantém a qualidade nutricional da forragem.

5.5 Referências bibliográficas

- BALDISSERA, T.C.; FRAK, E.; CARVALHO, P.C.F.; et al. Plant development controls leaf area expansion in alfalfa plants competing for light. **Annals of Botany**, v.113, p.145-157, 2014. Doi: 10.1093/aob/mct251
- BERONE, G.D.; SARDIÑA, M.C.; MOOT, D.J. Animal and forage responses on lucerne (*Medicago sativa* L.) pastures under contrasting grazing managements in a temperate climate. **Grass and Forage Science**, v.00, p.1-14, 2020. Doi: 10.1111/gfs.12479
- BROWN, H.E. **Understanding yield and water use of dryland forage crops in New Zealand**. 2005. 306p. Thesis (Doctor of Philosophy) – Lincoln University, Lincoln, Canterbury, New Zealand.
- BROWN, H.I.; MOOT, D.J. Quality and quantity of chicory, lucerne and red clover production under irrigated. In: **Proceedings of the New Zealand Grassland Association**, v.66, p.257-264, 2004.

- BROWN, H.R.; MOOT, D.J.; TEIXEIRA, E.I. The components of lucerne (*Medicago sativa* L.) leaf area index respond to temperature and photoperiod in a temperate environment. **European Journal of Agronomy**, v.23, p.348-358, 2005. Doi: 10.1016/j.eja.2005.02.001
- CHEN, J.; GAO, C.; DI, G.; et al. Effects of cutting on alfalfa yield and quality in Northeast China. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v.12, n.2, p.253-26, 2013.
- DELEGIDO, J.; VERRELST, J.; RIVERA, J.P.; et al. Brown ad green LAI mapping through spectral indices. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.35, p.350-358, 2015. Doi: 10.1016/j.jag.2014.10.001
- DOBRENZ, A.K.; MASSENGALE, M.A. Change in carbohydrates in alfalfa (*Medicago sativa* L.) root during the period of floral initiation and seed development. **Crop Science**, v.6, p.604-607, 1966.
- GHANIZADEH, N.; MOGGHADHAM, A.; KHODABANDEH, N. Comparing the yield of alfalfa cultivars in different harvests under limiting irrigation conditions. **International Journal of Bioscience**, v.4, n.1, p.131-138, 2014. Doi:10.12692/ijb/4.1.131-138
- GASTAL, F.; LEMAIRE, G. Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilization in pasture: review of the underlying ecophysiological process. **Agriculture**, v.5, p.1146-1171, 2015. Doi: 10.3390/agriculture5041146
- HEWITT, A.E. New Zealand soil classification. **Landcare Research Science Series**, v.35, n.1, p.136, 2010.
- JÁUREGUI, J.M.; MILLS, A.; BLACK, D.B.S.; et al. Yield components of lucerne were affected by sowing dates and inoculation treatments. **European Journal of Agronomy**, v.103, p.1-12, 2019. Doi: 10.1016/j.eja.2018.10.005
- KALU, B.A.; FICK, G.W. Morphological stage of development as a predictor of alfalfa herbage quality. **Crop Science**, v.23, p.1167-1172, 1983
- KHARAGE, S.A.; DAMAME, S.V.; LOKHADE, P.K. Effects of plant growth stages of nutritional composition of promising lucerne (*Medicago sativa* L.) genotypes. **Range Management and Agroforestry**, v.35, n1, p.38-42, 2014.
- LIU, Z.; LI, X.; WANG, Z.; et al. Contrasting strategies of alfalfa stem elongation in response to fall dormancy in early regrowth stage: the trade-off between internode length and internode number. **Plos One**, v.10, n.8, 2015. Doi: 10.1371/journal.pone.0135934
- MATTERA, J.; ROMERO, L.A.; CUATRÍN, A.L.; et al. Yield components, light interception and radiation use efficiency of Lucerne (*Medicago sativa* L.) in response to row spacing. **European Journal of Agronomy**, v.45, p.87-95, 2013. Doi: 10.1016/j.eja.2012.10.008

- MOOT, D.J., ROBERTSON, M.J., POLLOCK, K.M., Validation of the APSIM-Lucerne model for phenological development in a cool-temperate climate. In: **Proceedings...**, Hobart, Tasmania, 2001.
- MOOT, D.J.; BROWN, H.E.; TEIXEIRA, E.I.; et al. Crop growth and development affect seasonal priorities for lucerne management. **New Zealand Grassland Association**, Research and Practice series, v.11, p.201-208, 2003.
- MOTT, G.O., LUCAS, H.L. The design, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 6, 1952, Pennsylvania. **Proceedings of ...** Pennsylvania, United States of America, p.1380-1385, 1952.
- MORTON, J.; ROBERTS, A. Fertilizer use on New Zealand sheep and beef farm. **New Zealand Fertilizer Manufacturer's Association**, v.36, 1999.
- RIMI, F.; MACOLINO, S.; LEINAUER, B.; et al. Alfalfa yield and morphology of three fall-dormancy categories harvest at two phenological stages in a subtropical climate. **Agronomy Journal**, v.102, p.1578-1585, 2010. Doi: 10.2134/agronj2010.0193
- SIM, R.E.; MOOT, D.J.; BROWN, H.E.; et al. Sowing date affected shoot and root biomass accumulation of lucerne establishment and subsequent regrowth season. **European Journal of Agronomy**, v.68, p.69-77, 2015. Doi: 10.1016/j.eja.2015.04.005
- SIM, R.E.; BROWN, H.E.; TEIXEIRA, E.I.; et al. Soil water extraction patterns of lucerne grown on stony soils. **Plant Soil**, v.414, p.95-112, 2017. Doi: 10.1007/s11104-016-3112-x
- TA, H.; TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J. Impact of autumn (fall) dormancy rating on growth and development of seedling Lucerne. **Journal of New Zealand Grasslands**, v.78, p.169-176, 2016.
- TA, H.; TEIXEIRA, E.I.; BROWN, H.E.; et al. Yield and quality changes in lucerne of different fall dormancy rates under three defoliation regimes. **European Journal of Agronomy**, v.115, 2020. Doi: 10.1016/j.eja.2020.126012
- TEIXEIRA, E.I. **Understanding growth and development of lucerne crops (*Medicago sativa* L.) with contrasting levels of perennial reserves**. 2006. 298p. Thesis (Doctor of Philosophy) – Lincoln University, Lincoln, Canterbury, New Zealand.
- TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J.; BROWN, H.E.; et al. How does defoliation management impact on yield, canopy forming process and light interception of lucerne (*Medicago sativa* L.) crops? **European Journal of Agronomy**, v.27, p.154-164, 2007. Doi: 10.1016/j.eja.2007.03.001

- TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J.; BROWN, H.E. Defoliation frequency and season affected radiation use efficiency and dry matter partitioning of roots of lucerne (*Medicago sativa* L.) crops. **European Journal of Agronomy**, v.27, p.103-111, 2008. Doi: 10.1016/j.eja.2007.05.004
- TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J.; BROWN, H.E. Modelling seasonality of dry matter partitioning and root maintenance respiration in lucerne (*Medicago sativa* L.) crops. **Crop & Pasture Science**, v.60, p.778-784, 2009. Doi: 10.1071/CP08409
- TEIXEIRA, E.I.; BROWN, H.E.; MEENKEN, E.D.; et al. Growth and phenological development patters differ between seedling ad regrowth lucerne crops (*Medicago sativa* L.). **European Journal of Agronomy**, v.35, p.47-55, 2011. Doi: 10.1016/j.eja.2011.03.006
- WAGLE, P.; GOWDA, P.H.; NORTHUP, B.K. Annual dynamics of carbon dioxide fluxes over a rainfed alfalfa field in the U.S. Southern Great Plains. **Agriculture and Forest Meteorology**, v.265, p.208-217, 2019. Doi: 10.1016/j.agrformet.2018.11.022
- WEBB, T.H.; CLAYDON, J.J.; HARRIS, S.R. Quantifying variability of soil physical properties within soil series to address modern land-use issues on the Canterbury Plains, New Zealand. **Soil Research**, v.38, p.1115-1129, 2000.

6 EFICIÊNCIA NO USO DA RADIAÇÃO E PARTICIONAMENTO DE COMPONENTES ENTRE PORÇÃO AÉREA E RADICULAR DE ALFAFA COM CRESCENTES NÍVEIS DE DORMÊNCIA SOB DIFERENTES INTERVALOS ENTRE DESFOLHAÇÕES

RESUMO

O estudo da eficiência no uso da radiação para produção de matéria seca aérea ($EUR_{aérea}$) e para a produção desta associada às reservas orgânicas (EUR_{total}), assim como da dinâmica de N nas plantas é de extrema importância para o completo entendimento da fisiologia destes dosséis. O estudo foi desenvolvido na área experimental da Lincoln University, na região de Canterbury, Nova Zelândia, entre os anos de 2015 e 2019. O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, com três parcelas (intervalos entre desfolhações - CF), três subparcelas (nível de dormência das plantas - FD) e quatro repetições. Os intervalos entre desfolhações foram de 28 dias (CF 28), 42 dias (CF 42) e 84 dias (CF 84) combinados com níveis FD2 (AgR Palatable), FD5 (Grassland Kaituna) e FD10 (SARDI 10), totalizando 9 tratamentos. As avaliações se iniciaram após a estabilização da pastagem em janeiro de 2015, e encerraram em abril de 2019. A $EUR_{aérea}$ e EUR_{total} foram calculadas a partir da inclinação do acúmulo de radiação fotossinteticamente ativa interceptada e as referentes produções de biomassa. O particionamento de matéria seca para os órgãos perenes ($P_{raízes}$) foi calculada pela razão entre $EUR_{aérea}$ e EUR_{total} . A análise nutricional da porção aérea das plantas de alfafa tornou possível a determinação da concentração crítica de N e seu índice de N nutricional (INN). A menor dormência das plantas incentivou a redução da $EUR_{aérea}$ ao longo dos anos (de $1,65 \text{ MJ t MS ha}^{-1}$ em 2015/16 para $1,13 \text{ MJ t MS ha}^{-1}$ em 2018/19, para FD2 CF 28), sendo acentuada pelo aumento do intervalo entre desfolhações. Os aumentos da temperatura e fotoperíodo levaram à redução da EUR_{total} e do particionamento de MS ao sistema radicular, com maior intensidade em plantas sob CF 28 e FD10 (reduções médias de $0,2$ e $0,3 \text{ MJ t MS ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, e de $0,06 \text{ MJ t MS ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente). O INN não apresentou efeito dos intervalos entre desfolhações, sendo FD5 e FD10 os níveis de dormência em maior estresse de tal nutriente. Conclui-se que as plantas de FD2 CF 42, sob tais condições climáticas, são as mais indicadas à

região de Canterbury, sendo mais eficientes na captura, uso e particionamento de N e água.

Palavras-chave: índice de nitrogênio nutricional, mobilização de componentes orgânicos, produção de matéria seca acumulada.

RADIATION USE EFFICIENCY AND PARTITIONING OF COMPONENTS BETWEEN ABOVE AND BELOWGROUND ORGANS OF CRESCENT DORMANCY LEVELS OF LUCERNE UNDER DIFFERENT DEFOLIATION FREQUENCIES

ABSTRACT

The study of radiation use efficiency to shoot yield (RUE_{shoot}) and to this yield associated with perennial organs (RUE_{total}), as the N dynamic within the plant are of extreme importance to fully understand these canopies physiology. This study was carried out at Lincoln University, Canterbury, New Zealand, from 2014 to 2019. Three lucerne dormancy levels were tested: very dormant (FD2), semi dormant (FD5) and non-dormant (FD10); submitted to three defoliation frequencies: 28 days (CF 28), 42 days (CF 42) and 84 days (CF 84). The crop seeding was done in October 2014 and its establishment was concluded in January 2015, when the data collection was initiated, according to the treatments schedule. The shoot radiation use efficiency (RUE_{shoot}) and the total radiation use efficiency (RUE_{total}) were calculated by the slopes of accumulated photosynthetic active radiation intercepted (PAR_i) and the refereed biomass accumulation. The fractional partitioning of DM to perennial organs (P_{root}) was calculated by the ratio between RUE_{shoot} and RUE_{total} . The nutritional quality of aerial biomass allowed the determination of critical N and the N nutrition index (NNI). The plant dormancy reduced the RUE_{shoot} over the years, being highlighted by the defoliation frequencies (from 1.65 MJ t DM ha⁻¹ in 2015/16 to 1.13 MJ t DM ha⁻¹ in 2018/19, to FD2 CF 28). The increases of temperature and photoperiod led to the reduction of RUE_{total} and P_{root} , more intensely in plants submitted to CF 28 and FD10 (mean reductions of 0.2 and 0.3 MJ t DM ha⁻¹ °C⁻¹, and of 0.06 MJ t DM ha⁻¹ h⁻¹, respectively). The NNI did not present effects of defoliation frequency, being the FD5 and FD10 the dormancy levels with greater N stress. It follows that FD2 CF 42 plants, under such environmental conditions, are the most indicated to Canterbury region, due to their greater absorption, use and partitioning of resources.

Keywords: Accumulated shoot yield, nitrogen nutritional index, organic components mobilization.

6.1 Introdução

No Capítulo 5, observamos a grande influência da radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_i) sobre a produção de matéria seca das pastagens de alfafa; contudo, a igualdade do coeficiente de extinção (k) apresentado pelos tratamentos levanta questões sobre a eficiência com que estas plantas estão convertendo tal radiação em biomassa. Portanto, o estudo da eficiência no uso da radiação para produção de matéria seca aérea ($EUR_{aérea}$) e para a produção desta associada às reservas orgânicas (EUR_{total}) parece ser de extrema necessidade para a compreensão da fisiologia destas plantas.

O rebrote da alfafa após a desfolhação está mais altamente correlacionado com o suprimento de nitrogênio (N) do sistema radicular, do que com o suprimento de carbono (C) (OURRY et al., 1994). Sabe-se também que a variável taxa de expansão foliar (TEF) está altamente correlacionada com o N disponível à planta (TEIXEIRA et al., 2007), sendo esta a principal desencadeadora das diferenças morfológicas deste estudo (Capítulo 5). Logo, o estudo da dinâmica de N nas plantas também se faz de grande importância para a elucidação dos processos metabólicos.

O objetivo deste capítulo foi estudar a eficiência no uso da radiação interceptada, o particionamento de componentes orgânicos para os órgãos perenes e a dinâmica de N nas plantas de alfafa com os níveis de dormência 2, 5 e 10 submetidas a diferentes intervalos entre desfolhações por cinco anos em clima temperado.

6.2 Material e métodos

Caracterização da área

O experimento foi conduzido no Field Research Centre (FRC) pertencente a Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia (43°38'S e 172°8'L, 10 m) em área de 0,61ha (135 x 45 m) localizada no piquete 12 do Iversen Field (I12). O solo é classificado como “Wakanui silt loam” (Aquic Haplustept, USDA Soil Taxonomy), caracterizado como um solo jovem e pálido, seco no verão e úmido no inverno (HEWITT, 2010). Seu perfil é composto por 0,3 m de superfície densa e argilosa, com horizontes arenosos de profundidade de 2 a 3 m. Essa distribuição de horizontes resulta

em uma camada superficial de alta densidade e baixa drenagem. A concentração de água disponível varia de 120 a 180 mm m⁻¹ (WEBB et al., 2000).

O clima na região de Canterbury é caracterizado por pluviosidade anual de aproximadamente 640 mm, com estação de chuvas definida (Tabela 6.2.1). A temperatura média anual é 11,4 °C com variação mínima de 6,4 °C em junho e máxima de 16,6 °C em janeiro. Os dados meteorológicos da área experimental foram coletados na Estação Meteorológica Broadfields (NIWA, Instituto Nacional de Águas e Pesquisas Atmosféricas, Nova Zelândia), localizada a 2 km ao norte da área experimental.

Tabela 6.2.1 Médias mensais de 2014 a 2019 de radiação solar total (R_0), temperatura máxima ($T_{\max}$), mínima ($T_{\min}$) e média ($T_{\text{média}}$) do ar; médias históricas de 1960 a 2019 de evapotranspiração potencial (ET_p), pluviosidade total e velocidade do vento mensurados na estação meteorológica Broadfield.

	Período experimental					Médias históricas	
	R_0 (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	$T_{\max}$ (°C)	$T_{\min}$ (°C)	$T_{\text{média}}$ (°C)	ET_p (mm)	Pluviosidade (mm)	Vento (km dia ⁻¹)
Jan	22,37	22,68	12,12	17,15	1,56	49,41	4,60
Fev	20,16	23,24	11,57	16,97	1,45	42,64	4,28
Mar	14,13	20,50	10,79	15,25	1,71	52,15	3,95
Abr	9,11	17,26	7,58	12,32	3,05	56,13	3,75
Mai	6,24	15,47	4,88	10,17	1,56	56,93	3,40
Jun	4,59	12,39	2,92	7,53	1,56	61,65	3,02
Jul	5,55	11,78	2,06	6,90	1,63	60,85	3,53
Ago	8,10	12,45	2,48	7,60	1,00	61,13	3,53
Set	12,41	14,30	4,96	9,61	1,29	39,87	4,15
Out	18,10	17,54	6,23	11,81	1,08	47,79	4,22
Nov	22,40	19,21	7,93	13,56	1,33	50,03	4,24
Dez	22,90	21,01	10,71	15,70	1,39	51,67	4,64
Média anual	14,05	17,53	7,28	12,31	1,56	52,52	3,96

As médias mensais de precipitação e Penmann evapotranspiração potencial estão na Figura 6.2.1.

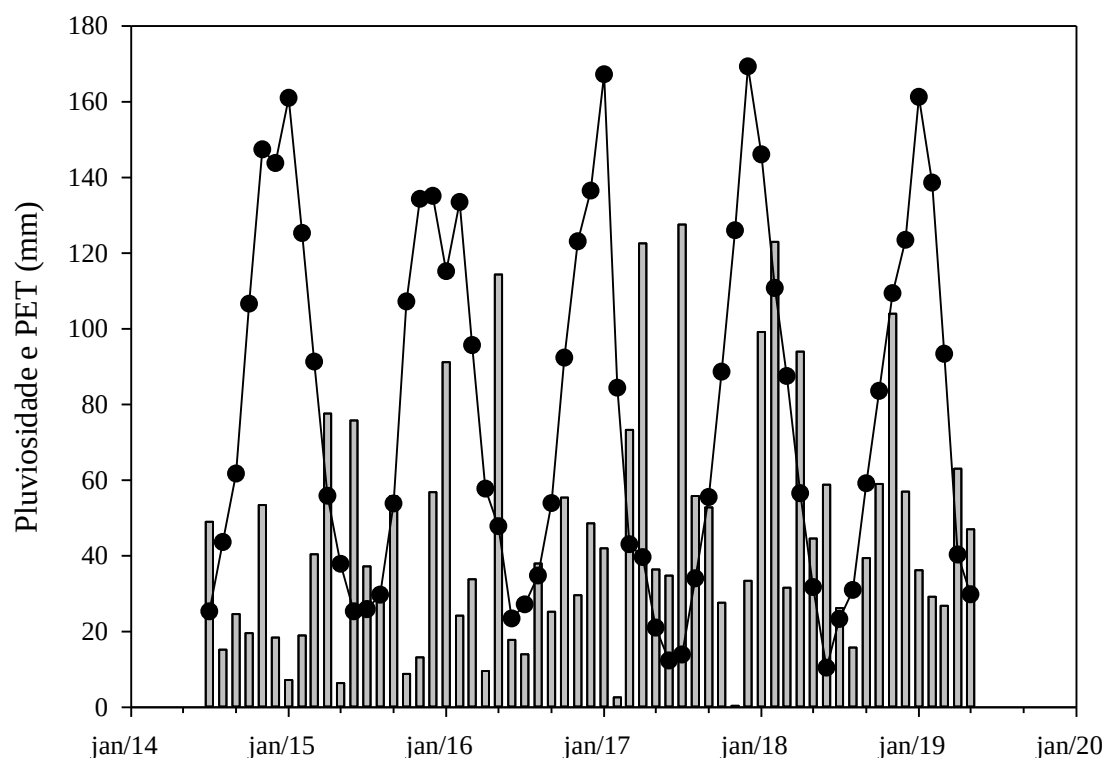


Figura 6.2.1 Pluviosidade mensal acumulada (mm - colunas) e Penmann evapotranspiração potencial (PET; mm - pontos) para o período de junho de 2014 a maio de 2019 na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Dados coletados na Estação Meteorológica Broadfield.

Os valores para graus-dia (T_t , $^{\circ}\text{Cd}^{-1}$) foram derivados da temperatura do ar utilizando o modelo “broken-stick threshold” (Figura 6.2.2) com temperatura basal igual a 1°C (T_b). Sendo assim o modelo calcula temperaturas do ar abaixo de 1°C são iguais a zero (MOOT et al., 2001). Esse modelo acumula $0,71^{\circ}\text{Cd}^{-1}$ por grau entre T_b e 15°C , a partir de então passa a acumular 1°Cd^{-1} por grau até os 30°C (T_o). Acima de T_o os graus-dia decaem linearmente a zero até os 40°C (T_m) (MOOT et al., 2001). O acumulado de graus-dia foi calculado pela soma de graus-dia de cada ciclo de rebrote, a cada ano de rebrote ou durante todo o experimento.

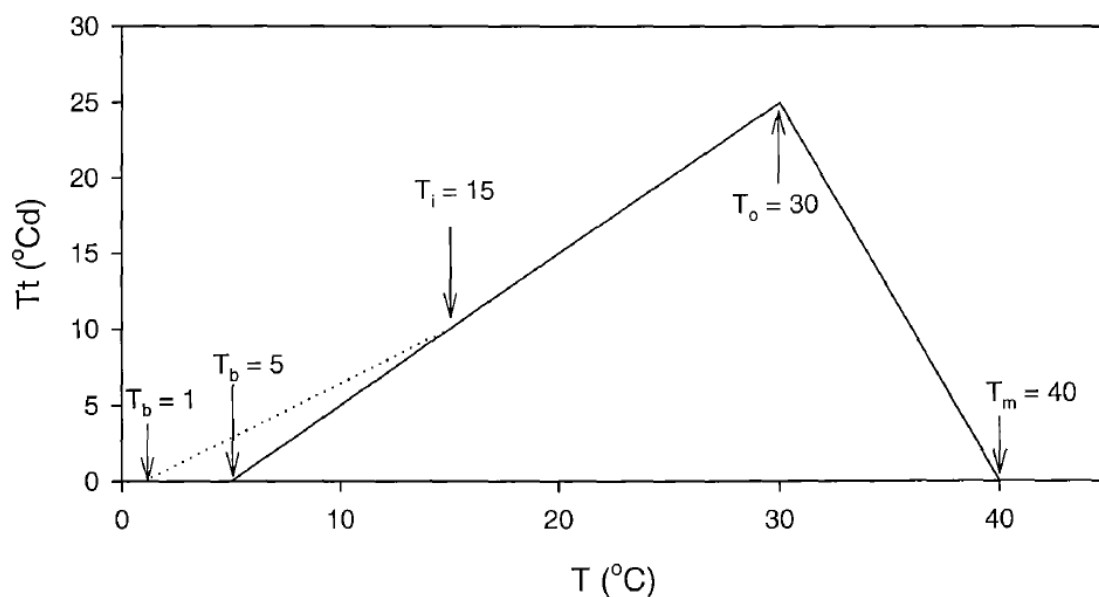


Figura 6.2.2 Modelo de cálculo para a obtenção de graus-dia de acordo com a temperatura do ar.

A linha tracejada representa o modelo com T_b igual a 1°C, enquanto que a linha contínua representa o modelo com T_b igual a 5°C. Fonte: Moot et al. (2001).

Histórico da área

Entre 2010 e 2011, a área foi utilizada para produção de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) e couve forrageira (*Brassica oleracea* ss. *Acephala*). Em setembro de 2011 ocorreu semeadura de colza (*Brassica napus* L.), e em abril de 2012 a ressemeadura de colza consorciada com centeio (*Secale cereale* L.), com cultivo subsequente de azevém anual 'ARI'. Em agosto de 2014 ocorreu aplicação de herbicida (Roundup 360, glifosato; 720 g a.i ha⁻¹) seguida por manejo de descompactação do solo em 2, 9 e 10 de setembro e 5 de outubro.

Em outubro de 2014, antes da semeadura, foi realizada análise da fertilidade do solo baseada em amostra composta de 20 sub amostras homogeneizadas de solo (0-150 mm de profundidade) coletadas aleatoriamente na área (Tabela 6.2.2). Baseado nesta análise, nenhuma correção de solo foi necessária. Em agosto de 2016 a análise foi repetida com a coleta de 20 sub amostras de solo por parcela. Esta última análise indicou deficiência de fósforo (P) e enxofre (S(SO₄)) com a aplicação de 350 kg ha⁻¹ de superfosfato extra (0:9:11, NPK) para correção realizada no dia 18 de agosto de 2016.

Tabela 6.2.2 Resultados de análise de solo da área I12 na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia nos períodos de 2014 e 2016.

Local	K	Ca	Mg	Na	P	S(SO ₄)	pH _{água}
	-----cmol dm ⁻³ -----				mg L ⁻¹	mg kg ⁻¹	
<i>Outubro de 2014</i>							
Norte	0,28	7,2	0,86	0,13	13	3	5,9
Sul	0,39	7,0	0,76	0,12	16	3	5,8
<i>Agosto de 2016</i>							
CF 28	0,25	6,4	0,8	0,2	10	5	5,9
CF 42	0,29	7,2	0,9	0,22	9	6	5,8
CF 84	0,3	7,1	0,86	0,2	9	8	5,9
*Exigência mínima	0,26	-	0,34	-	15-20	11	5,3

*De acordo com Morton e Roberts, 1999. Dados de Norte e Sul representam as coordenadas geográficas dentro da área experimental.

Delineamento experimental e manejo da pastagem

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) com parcelas subdivididas, com três intervalos entre desfolhações (CF 28 dias, CF 42 dias e CF 84 dias) representaram as parcelas principais, e três diferentes níveis de dormência de alfafa: dormente (cv. AgR Palatable; FD2), semi dormente (cv. Grassland Kaituna; FD5) e extremamente não dormente (SARDI 10; FD10), compreenderam as subparcelas. O delineamento resultou em 9 tratamentos com 4 repetições, totalizando 36 parcelas (20 x 4,2 m) (Apêndice 1). A semeadura da alfafa ocorreu em 8 de outubro de 2014, as sementes inoculadas (Nodule®) foram distribuídas em densidades de 15,1; 11,8 e 11,1 kg ha⁻¹. Esta diferença foi em decorrência da taxa de germinação diferenciada de cada nível de dormência, objetivando uma germinação padrão de 10 kg ha⁻¹. O período de estabilização da pastagem terminou em 25 de janeiro de 2015, quando as hastes previamente marcadas atingiram 80% de florescimento, e então foi realizado corte de homogeneização da área a 5 cm de altura. A partir deste momento, os tratamentos foram rebaixados de acordo com os intervalos entre desfolhações. Os dados da fase de estabelecimento foram descritos por Ta et al. (2016).

O rebaixamento da pastagem para os tratamentos CF 28 e CF 42 consistiu no corte a 5 cm do solo usando um triturador de forragem Fieldmaster acoplado em trator munido de carreta forrageira. A altura de corte das plantas foi determinada para prevenir danos na coroa e garantir o corte de toda a biomassa aérea, evitando hastes residuais para o próximo ciclo de crescimento. O rebaixamento do tratamento CF 84 foi

geralmente sincronizado aos demais tratamentos e, devido às suas hastes mais grossas e firmes, foram realizados pastejo de ovelhas e/ou cordeiros por 3-5 dias, com subsequente corte de homogeneização das hastes restantes a 5 cm de altura do solo. A carga animal variou de acordo com a necessidade de remoção da matéria verde num período de 3-5 dias, utilizando a técnica “put-and-take” (MOTT & LUCAS, 1952). O período experimental foi de cinco anos, de outubro de 2014 a maio de 2019. Este período incluiu a fase de estabelecimento além de cinco estações de rebrotação, nas quais os intervalos entre desfolhações (CF) foram aplicados (Tabela 6.2.3).

Tabela 6.2.3 Período experimental para fase de estabelecimento e manejo de desfolhação de alfafa com níveis contrastantes de dormência na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Fase	Ano de rebrote	Duração experimental
Fase de estabelecimento	2014	De outubro de 2014 a janeiro de 2015 (110 dias)
1° rebrote	2015	De janeiro de 2015 a agosto de 2015 (188 dias)
2° rebrote	2015/16	De setembro de 2015 a maio de 2016 (255 dias)
3° rebrote	2016/17	De Julho de 2016 a abril de 2017 (283 dias)
4° rebrote	2017/18	De Julho de 2017 a abril de 2018 (277 dias)
5° rebrote	2018/19	De julho de 2018 a maio de 2019 (297 dias)

Controle de invasoras

Nos dois primeiros meses pós-emergência das plântulas, foi realizado controle manual de invasoras conforme necessário. Na primavera de 2015, o trevo branco (*Trifolium repens*) invadiu a área experimental, principalmente no tratamento CF 28. Para tanto, após coleta e rebaixamento destas parcelas, o herbicida Classic® (Chlorimuron-ethyl; 30 a.i ha⁻¹) foi aplicado nas parcelas referentes ao tratamento CF 28 (8 de outubro de 2015). No inverno de 2016, Nu-Trazine 900DF (Atrazina; 720g a.i ha⁻¹) foi aplicado em toda a área experimental para controle de azevém perene (*Lolium perene* L.), capim-galinha (*Poa annua* L.) e azevém anual.

A aplicação de Classic® para controle de trevo branco foi repetida em 11 de dezembro de 2017, 7 de maio de 2018, 26 de outubro de 2018 e 4 de dezembro de 2018. Em 30 de outubro de 2018, NuTrazine 900DF foi aplicado novamente para controle de língua de vaca (*Rumex obtusifolius* L.).

Irrigação e quantidade de água no solo

Do Ano 1 ao Ano 4, a exigência de irrigação foi calculada com base no déficit de umidade dos perfis do solo máximo de 250 mm, para evitar estresse hídrico. No Ano 5 a irrigação foi aplicada com base na necessidade de umedecer o solo e facilitar a coleta das raízes nas datas pré-estipuladas. Para tanto utilizou sistema de irrigação por aspersão utilizando aspersor móvel automático calculado para aplicar de 6 a 8 mm/h de água (Tabela 6.2.4).

A quantidade de água contida no solo foi mensurada a cada 15 dias utilizando Tubos de Sonda de Nêutrons (Neutron Probe Tubes, Troxler Electronic Industries, Inc., Research Triangle Park, Carolina do Norte, EUA) em profundidade de 0,2 a 2,0 m. Os tubos foram alocados em quatro pontos da área experimental, em piquete FD5 CF 42, considerada uma situação intermediária entre os tratamentos, sem tendências de extremos. A partir dos dados obtidos destas mensurações, um modelo simulado foi ajustado utilizando dados de precipitação (pluviosidade e irrigação) e drenagem do solo (BROWN, 2004; TEIXEIRA, 2006) (Figura 6.2.3).

Tabela 6.2.4 Irrigação aplicada no piquete I12 no Field Research Centre, Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia, de 2015 a 2019.

Data de início	Data de término	Quantidade (mm)
<i>Primeiro ano de rebrote</i>		
13/01/15	14/01/15	52
31/03/15	01/4/15	42
Total		94
<i>Segundo ano de rebrote</i>		
03/11/15	04/11/15	38
26/11/15	27/11/15	40
30/12/15	02/01/16	40
13/01/16	13/01/16	50
11/02/16	11/02/16	60
23/03/16	23/03/16	45
11/04/16	11/04/16	45
26/04/16	26/04/16	45
13/05/16	15/05/16	45
Total		408
<i>Terceiro ano de rebrote</i>		
08/12/16	09/12/16	60
09/01/17	10/01/17	60
22/02/17	23/02/17	60
05/03/17	06/03/17	60
Total		240
<i>Quarto ano de rebrote</i>		
12/11/17	13/11/17	40
20/11/17	21/11/17	40
29/11/17	30/11/17	30
13/12/17	14/12/17	30
14/02/18	15/02/18	30
20/02/18	21/02/18	30
Total		200
<i>Quinto ano de rebrote</i>		
10/10/18	11/10/18	30
12/11/18	13/11/18	30
07/01/19	08/01/19	30
28/01/19	29/01/19	90
07/02/19	07/02/19	30
18/02/19	20/02/19	90
22/02/19	22/02/19	30
07/03/19	08/03/19	60
Total		390

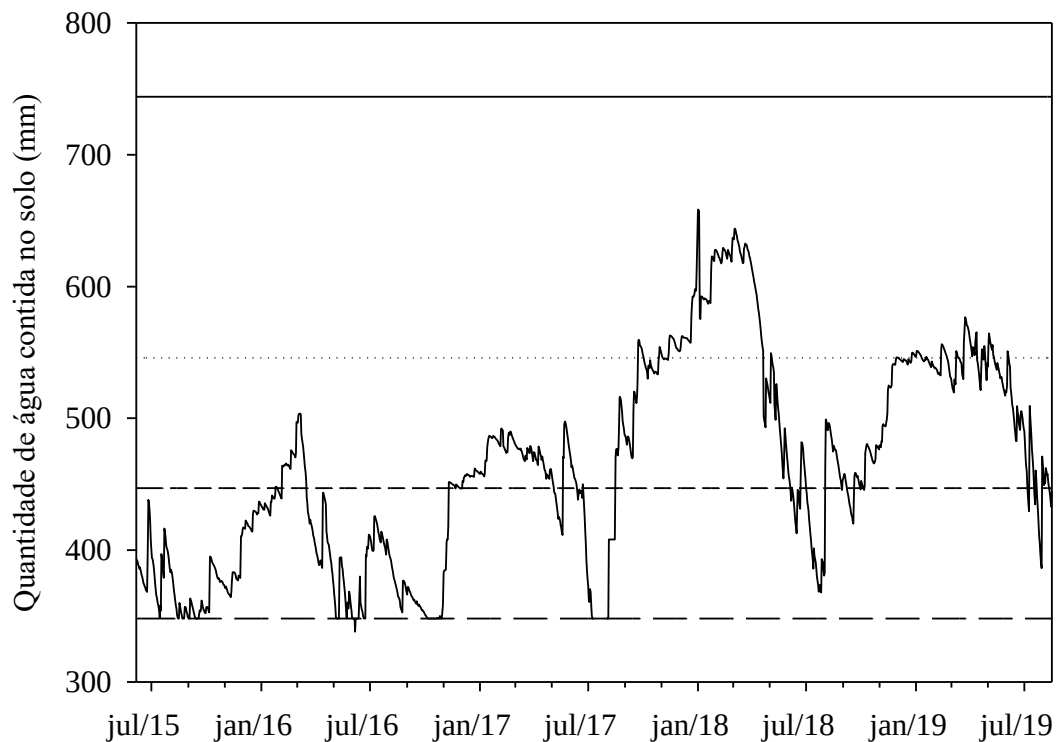


Figura 6.2.3 Quantidade total de água contida no solo (mm) do piquete 12 do Iversen Field por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

A linha sólida superior representa o limite máximo de contenção de água (744 mm); a linha pontilhada representa 75% da capacidade potencial de disponibilidade de água para as plantas (PAWC); a linha de traços curtos representa 50% da PAWC; a linha de traços longos representa o ponto de murcha permanente (348 mm).

Coleta de amostras e mensurações

A eficiência no uso da radiação anual ($EUR_{aérea}$, g MS MJ RFA_i^{-1}) foi calculada a partir da inclinação entre total anual acumulado de MS produzido (g DM ha^{-1}) e acúmulo anual de radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_i) (GOSSE et al., 1984). A $EUR_{aérea}$ de cada ciclo de rebrote seguiu o mesmo cálculo, porém utilizando somente os dados de cada ciclo de rebrote. A eficiência no uso de radiação total (EUR_{total} , g MS MJ RFA_i^{-1}) teve o sistema radicular incluído para se ter a inclinação entre a produção de biomassa total acumulada (hastes, coroa e raiz) e RFA_i acumulada para cada ciclo de rebrote, com a regressão forçada a zero. Estes valores foram eliminados quando houve redução de EUR_{total} dentro do ciclo de rebrote, o que significa perda de massa radicular.

O particionamento de MS para os órgãos subterrâneos ($P_{\text{raízes}}$) foi calculado pela relação entre $EUR_{\text{aérea}}$ e EUR_{total} (Equação 6.2.1).

$$P_{\text{raízes}} = 1 - (EUR_{\text{aérea}} / EUR_{\text{total}}) \quad \text{Equação 6.2.1}$$

Para calcular o índice nutricional de nitrogênio (INN, %) foi necessário encontrar o ponto crítico de N (INN_{crit} , %) plotando a concentração de N na porção aérea (%) contra produção de MS ($t \text{ MS ha}^{-1}$). Então, pela equação obtida, o INN foi calculado (Equação 6.2.2) como proposto por Lemaire e Gastal (1997).

$$INN = N_{\text{atual}} / N_{\text{crit}} \quad \text{Equação 6.2.2}$$

Análise estatística

Para analisar os efeitos das parcelas e sub parcelas, foi realizada análise de variância utilizando o PROC GLM, as diferenças significativas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Este teste ainda avaliou as interações entre os efeitos testados, no mesmo nível de significância. Regressões lineares e não lineares foram realizadas pelo PROC REG e PROC NLIN, respectivamente.

Para testar as diferenças dos parâmetros das regressões lineares, foram realizados testes de contrastes ortogonais, usando o PROC GLM. As regressões não lineares tiveram a soma dos quadrados dos resíduos de cada tratamento calculada utilizando variáveis *dummy* (teste de modelo de identidade e parâmetro de igualdade). Os resultados foram utilizados para o cálculo de qui-quadrado de cada parâmetro das equações. Apenas as comparações entre qui-quadrado calculado e qui-quadrado tabelado foram realizadas pelo teste F usando o software R®, versão 4.0.9 ($P=0.05$), e então comparados os parâmetros das regressões.

O cálculo para a determinação do r-quadrado das regressões não lineares foi realizado pela divisão da soma dos quadrados do modelo pela soma dos quadrados totais. Com a exceção da análise entre o qui-quadrado, todas as análises estatísticas foram realizadas no SAS®, University Edition. Os gráficos foram confeccionados no programa SigmaPlot, versão 13.0 (SPPSS, Inc.).

6.3 Resultados e discussão

Resultados

A inclinação entre produção acumulada de MS e acúmulo de RFA_i representa a eficiência no uso da radiação ($EUR_{aérea}$) (Figura 6.3.1).

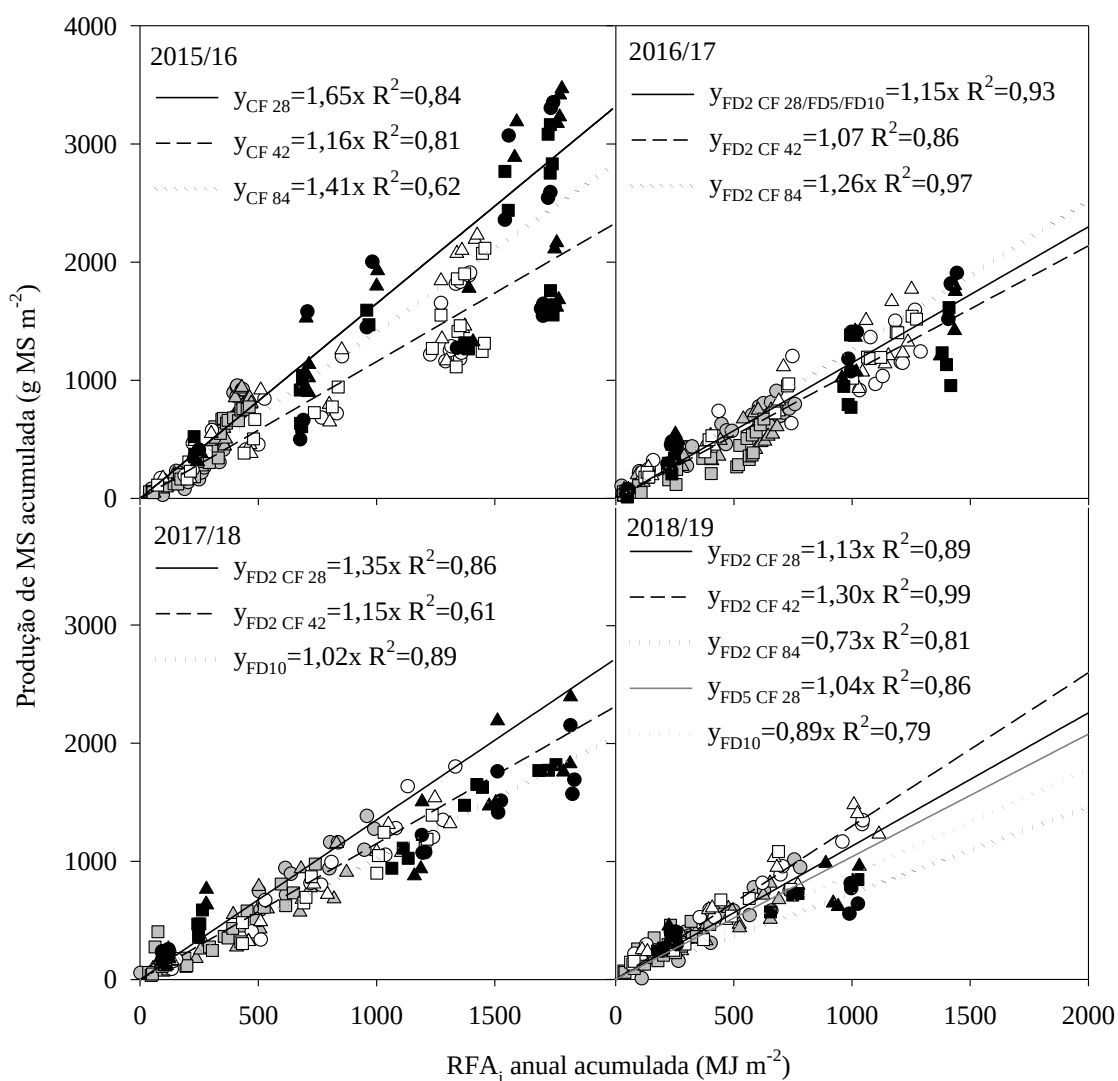


Figura 6.3.1 Produção de matéria seca acumulada anual (g MS m⁻²) e acúmulo de radiação fotossinteticamente ativa interceptada (MJ m⁻²) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 (○), 5 (Δ) e 10 (□) desfolhados com intervalos de 28 dias (símbolos cinza), 42 dias (símbolos abertos) e 84 dias (símbolos fechados) por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Houve diferenças ($P < 0,05$) nos ângulos de inclinação entre anos de rebrote e tratamentos. No Ano 2 (2015/16) não houve interação entre CF x FD ($P > 0,05$) e os níveis de dormência não tiveram efeito sobre a $EUR_{aérea}$. CF 28 apresentou o maior ($P < 0,05$) valor ($1,6 \text{ g MS MJ m}^{-2}$), seguido pelo CF 84 ($1,4 \text{ g MS MJ m}^{-2}$) e, finalmente, CF 42 ($1,1 \text{ g MS MJ m}^{-2}$). No terceiro ano (2016/17) os níveis de dormência FD5 e FD10 não diferiram ($P > 0,05$) do tratamento FD2 CF 28, e tiveram um ângulo de inclinação de $1,1 \text{ g MS MJ m}^{-2}$, aproximadamente $0,11 \text{ g MS MJ m}^{-2}$ menor ($P < 0,05$) que FD2 CF 84, e $0,08 \text{ g MS MJ m}^{-2}$ maior ($P < 0,05$) que FD2 CF 42.

No Ano 4 (2017/18) o FD2 CF 28 apresentou o maior ($P < 0,05$) ângulo de inclinação, uma $EUR_{aérea}$ de $1,3 \text{ g MS MJ m}^{-2}$. O FD2 CF 42 não diferiu ($P > 0,05$) de FD2 CF 84 e FD5 CF 28, que tiveram um ângulo de $1,1 \text{ g S MJ m}^{-2}$. A menor $EUR_{aérea}$ daquele ano pertenceu ao FD10, sem diferenças ($P > 0,05$) entre os intervalos entre desfolhações ou aos tratamentos FD5 CF 42 e FD5 CF 84 ($1,0 \text{ g MS MJ m}^{-2}$).

O Ano 5 teve os resultados mais individuais. O FD2 CF 42 produziu a maior $EUR_{aérea}$ daquele ano ($1,3 \text{ g MS MJ m}^{-2}$), enquanto que CF 28 resultou em um ângulo de $1,1 \text{ g MS MJ m}^{-2}$ e CF 84 reduziu para $0,7 \text{ g MS MJ m}^{-2}$. O FD2 CF 42 não diferiu ($P > 0,05$) de FD5 CF 42, enquanto que FD5 CF 28 apresentou ângulo de $1,0 \text{ g MS MJ m}^{-2}$, não tendo o FD5 CF 84 diferido de FD10 ($0,8 \text{ g MS MJ m}^{-2}$).

A média final de $EUR_{aérea}$ entre os níveis de dormência não diferiram ($P > 0,05$) com valores de $0,7 \text{ g MS MJ RFA}_i^{-1}$ (FD2), $0,7 \text{ g MS MJ RFA}_i^{-1}$ (FD5) e $0,8 \text{ g MS MJ RFA}_i^{-1}$ (FD10). Entre os intervalos entre desfolhações houve uma sutil variação de $0,68 \text{ g MS MJ RFA}_i^{-1}$ (CF 84) a $0,81 \text{ g MS MJ RFA}_i^{-1}$ (CF 28) (Figura 6.3.2).

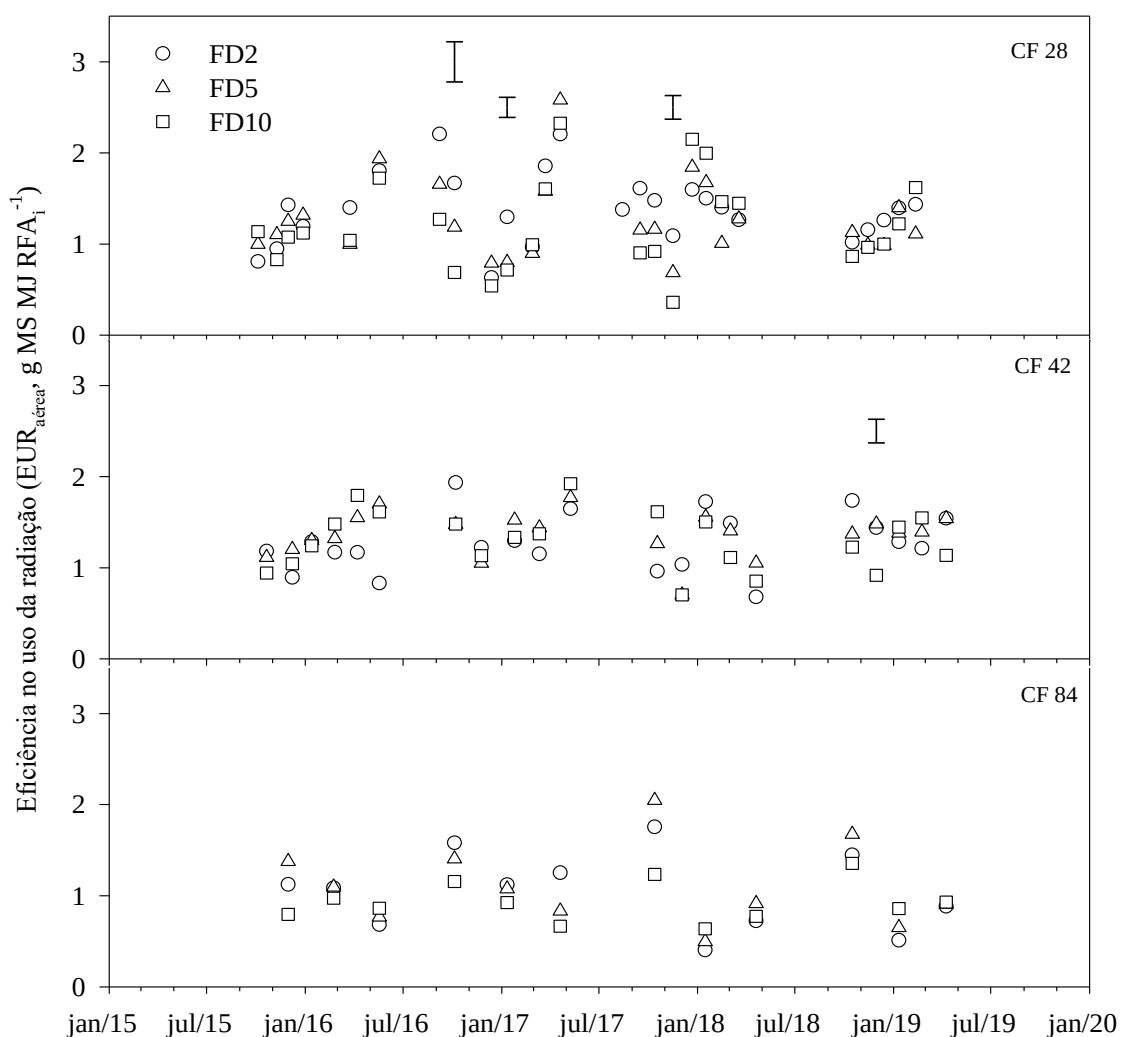


Figura 6.3.2 Eficiência no uso da radiação aérea (EUR_{aérea}, g MS MJ RFA_i⁻¹) de plantas de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 (○), 5 (Δ) e 10 (□) sob intervalos entre desfolhações (CF) de 28 dias, 42 dias e 84 dias por cinco anos em clima temperado.

As barras indicam o erro padrão da média ($\alpha=0,05$) para diferenças entre os níveis de dormência em cada intervalo entre desfolhações.

A EUR_{total} (material aéreo e radicular) foi plotada contra a temperatura média do ar (Figura 6.3.3). Os níveis de dormência apresentaram um padrão ($P>0,05$) dentro dos intervalos entre desfolhações, com uma redução durante o aumento do fotoperíodo. Os intervalos entre desfolhações causaram diferenças ($P<0,05$) nas equações, os ângulos foram de $-0,2 \text{ g MS MJ RFA}_i^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ no CF 28, enquanto que CF 42 reduziu para cerca de $0,6 \text{ g MS MJ RFA}_i^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ que não diferiu de CF 84 ($0,5 \text{ g MS MJ RFA}_i^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$).

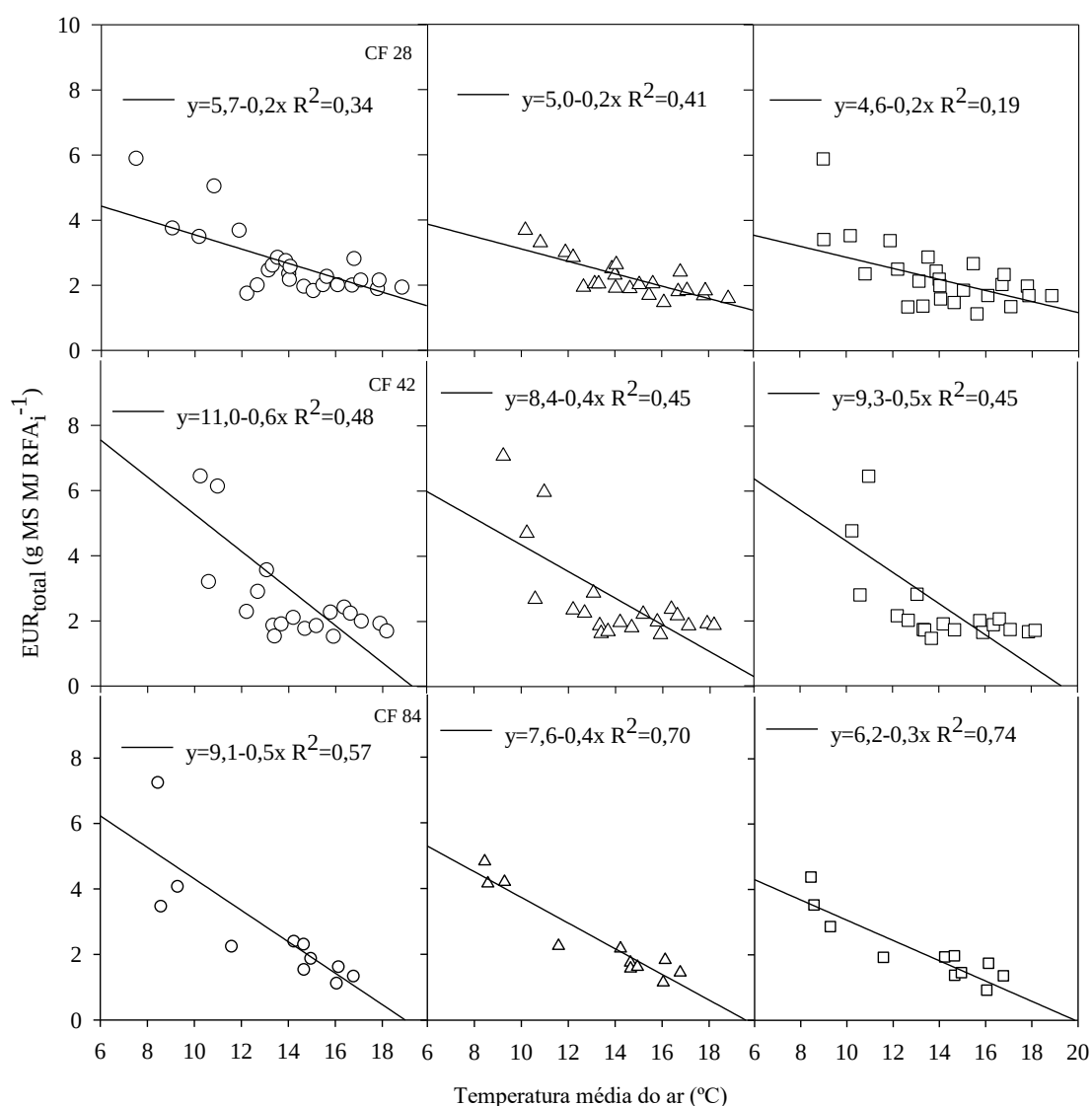


Figura 6.3.3 Eficiência no uso da radiação total (EUR_{total} , g MS MJ RFA_i^{-1}) de acordo com a temperatura média do ar ($^{\circ}C$) de alfafa com níveis de dormência (FD) 2 (○), 5 (△) e 10 (□) sob as frequências de desfolhação (CF) de 28 dias, 42 dias e 84 dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

A temperatura média do ar ainda afetou o particionamento de MS aos órgãos radiculares ($P_{raízes}$) da alfafa em fotoperíodo crescente ($P < 0,0001$) com uma redução média de $0,04$ g MS MJ $RFA_i^{-1} ^{\circ}C^{-1}$. Contudo, os tratamentos trabalharam sem diferenças em fotoperíodo decrescente, e apresentaram uma média de $0,04$ g MS MJ $RFA_i^{-1} ^{\circ}C^{-1}$ (Figura 6.3.4).

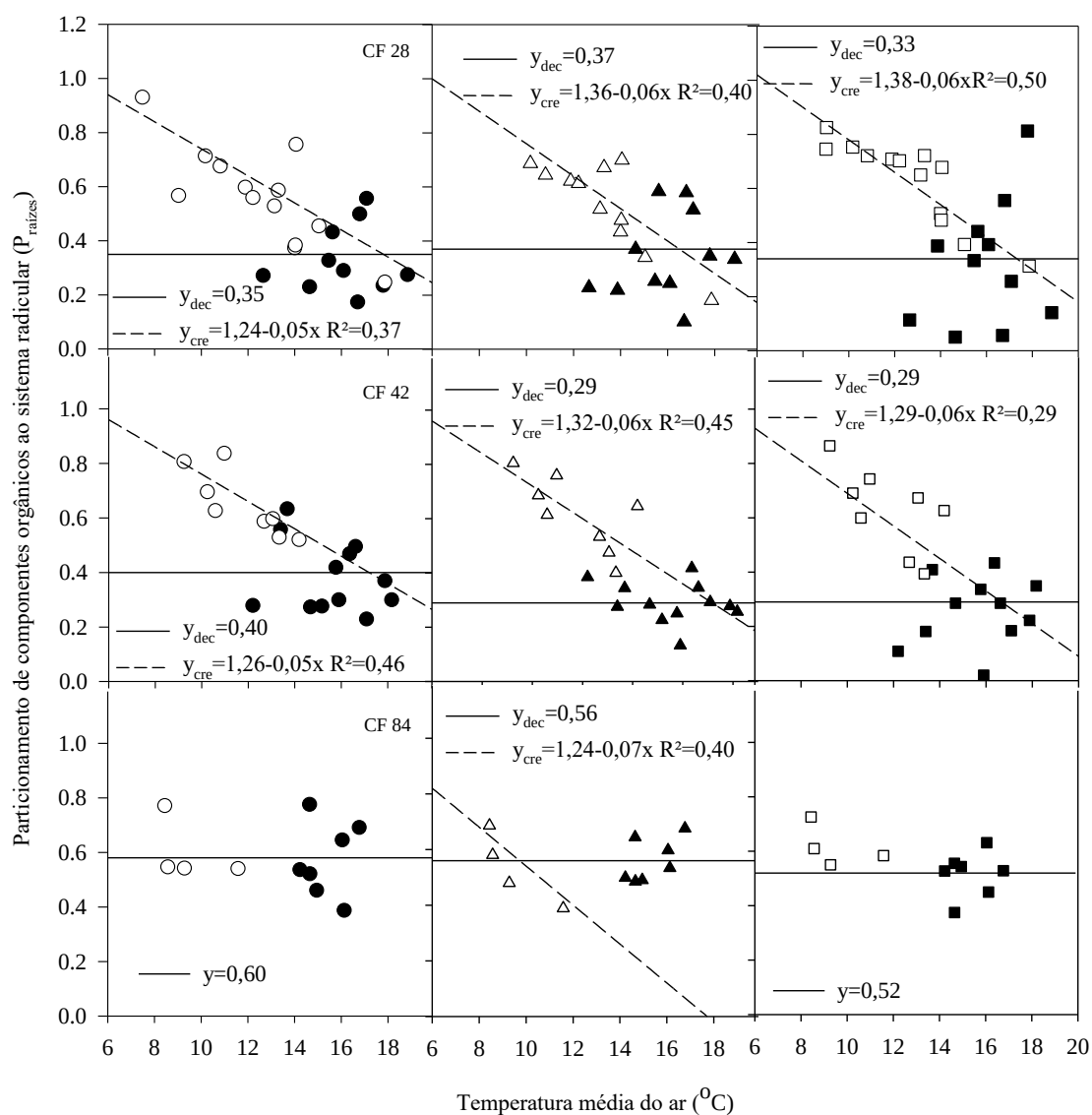


Figura 6.3.4 Particionamento de componentes orgânicos ao sistema radicular ($P_{raízes}$) em função da temperatura média do ar ($^{\circ}C$) de alfafa com níveis de dormência 2 (○), 5 (Δ) e 10 (□) sob intervalos entre desfolhações de 28 dias, 42 dias e 84 dias em fotoperíodo crescente (símbolos abertos) e decrescente (símbolos fechados) por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

A variação no fotoperíodo afetou ($P < 0,05$) o $P_{raízes}$ em alguns intervalos entre desfolhações e níveis de dormência (Figura 6.3.5). O fotoperíodo crescente reduziu o $P_{raízes}$ de plantas em FD10 CF 28 e FD5 CF 42 em taxa de $0,07 \text{ h}^{-1}$. O fotoperíodo decrescente teve comportamento constante de $1,7 \text{ h}^{-1}$, não havendo diferenças entre os

níveis de dormência ($P>0,05$), a exceção ($P<0,05$) foi FD5 CF 28 que aumentou o particionamento em fotoperíodo decrescente, numa taxa de $0,05 \text{ h}^{-1}$.

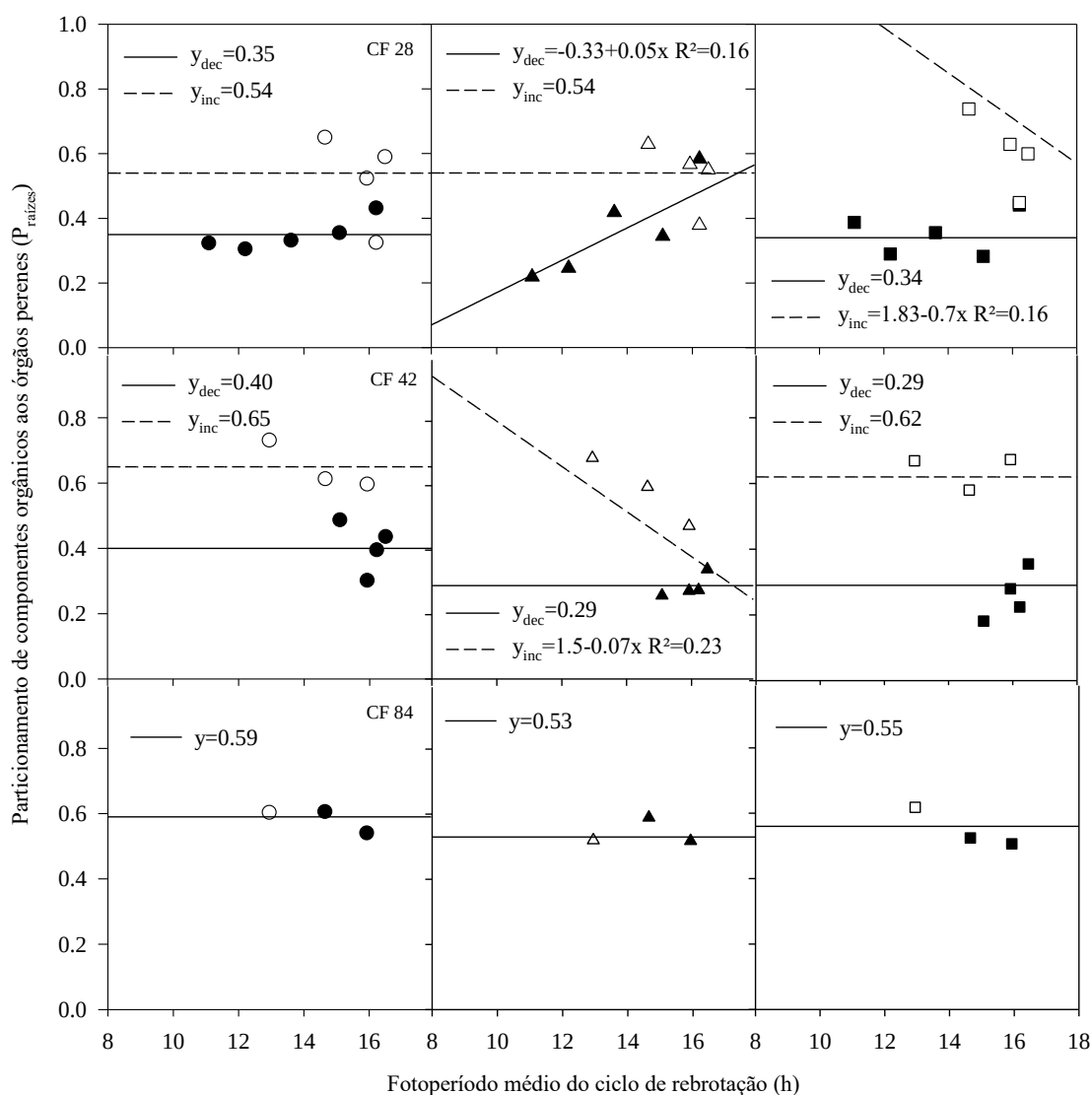


Figura 6.3.5 Particionamento de componentes orgânicos aos órgãos perenes ($P_{\text{raízes}}$) em função do fotoperíodo médio do ciclo de rebrote (h) de alfafa com níveis de dormência 2 ($\circ$), 5 (Δ) e 10 ($\square$) sob intervalos entre desfolhações de 28 dias, 42 dias e 84 dias em fotoperíodo crescente (símbolos abertos) e decrescente (símbolos fechados) por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Dentre os tratamentos que não apresentaram regressões significativas com relação aos fotoperíodos, FD2 foi o nível de dormência que menos foi afetado pelo intervalo

entre desfolhações, e manteve média de $0,45 \text{ h}^{-1}$ em fotoperíodo decrescente, e $0,59 \text{ h}^{-1}$ em fotoperíodo crescente.

Houve uma redução da concentração de N com o aumento da produção de MS (Figura 6.3.6a), isto foi observado para todos os níveis de dormência e intervalo entre desfolhações ($P>0,05$). A redução exponencial foi comparada com um modelo proposto por Lemaire (1985), mas estes foram diferentes ($P<0,05$) uma vez que o modelo teve maior concentração de N. A regressão foi usada para encontrar a concentração de N crítico (N_{crit} , %) nas plantas, que tiveram média de 3,7%.

O N_{crit} em relação à concentração de N na produção de MS aérea (N_{atual}) resultou no índice de N nutricional (INN) (Figura 6.3.6b). Houve diferenças ($P=0,0003$) no INN dos níveis de dormência em função da produção de MS. O FD2 teve maior INN em comparação ao FD10, enquanto que FD5 não diferiu destes ($P>0,05$). Cerca de 60% das amostras tiveram INN menor que um, dos quais a maioria foi composta por plantas de FD10 (~40%). 14% das amostras foram estimadas a ter INN acima de 1,2, dos quais apenas duas amostras pertenceram a CF 28 (ambas de FD2) e apenas nove amostras de FD10 (3,6% das amostras totais).

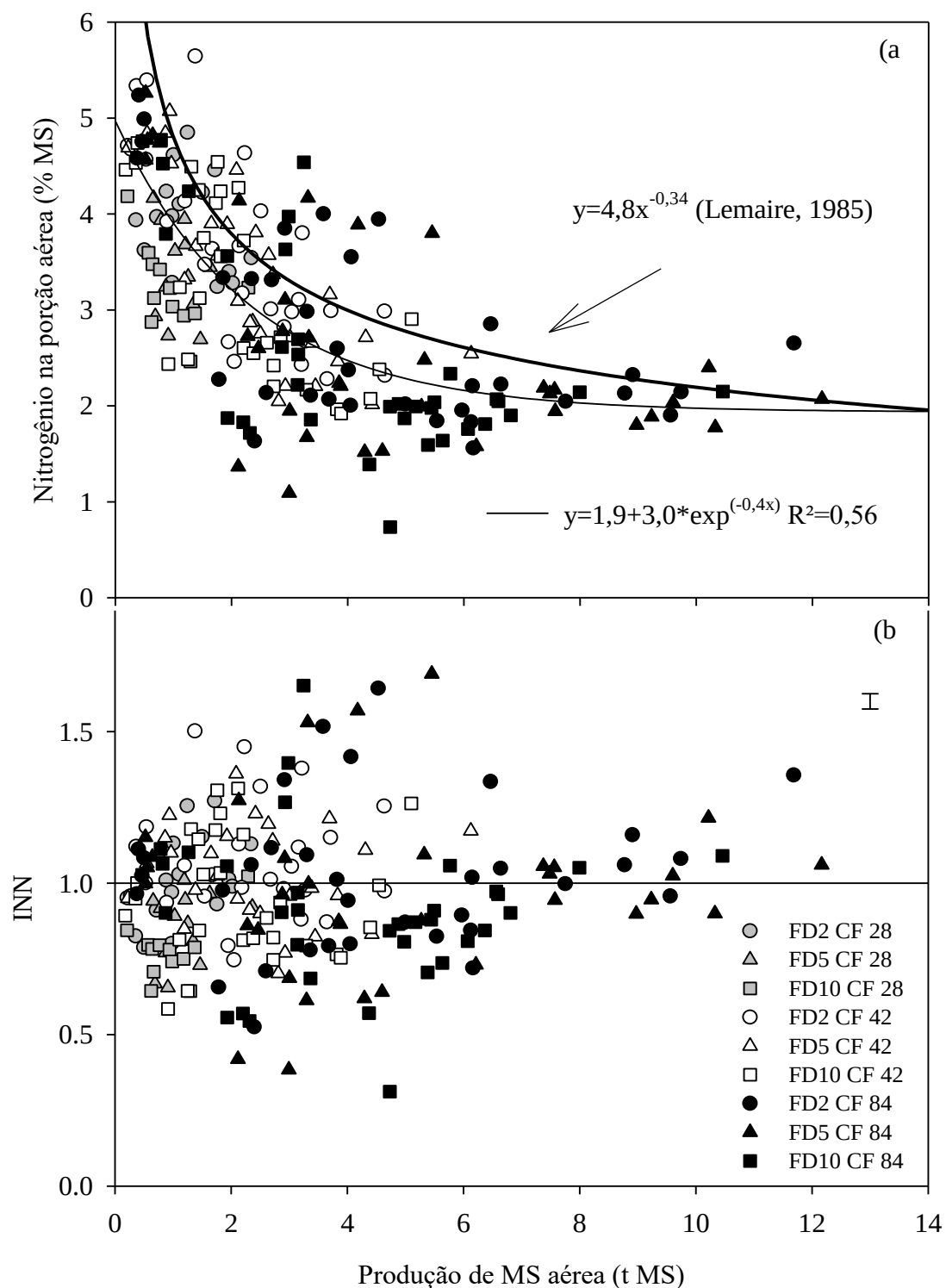


Figura 6.3.6 Concentração de N na porção aérea (%) (a) e índice de N nutricional (INN) (b) em função da produção de MS aérea (t MS) de plantas de alfafa com níveis de dormência (FD) 2, 5 e 10 submetidos a frequências de desfolhação de 28, 42 e 84 dias por cinco anos em clima temperado.

Discussão

Houve uma redução na $EUR_{aérea}$ com o tempo, principalmente quanto aos tratamentos CF 28 e CF 84, em que os ângulos de inclinação das regressões entre RFA_i e produção de MS partiram de 1,65 (CF 28) e 1,41 (CF 84) no Ano 2, para ~1,02 (CF 28) e <0,80 (CF 84) no Ano 5 (Figura 6.3.1). Essas variações estão associadas a processos morfológicos como menor IAF do CF 28 e maior taxa de senescência de folhas no CF 84 (Capítulo 5). A desfolhação é um processo benéfico ao dossel, uma vez que realiza a retirada do horizonte superior do relvado e permite a entrada de luz nos horizontes inferiores, o que reduz a senescência foliar (MATTERA et al., 2013). Porém, a retirada em excesso dessas folhas mais jovens, que têm maior atividade fotossintética, faz com que as plantas se tornem dependentes das folhas mais velhas, que por sua vez têm menos N e menor índice SPAD, o que reduz a eficiência do dossel (SIM & MOOT, 2019).

Levou cerca de dois anos para o FD10 apresentar redução na $EUR_{aérea}$ em CF 28 (Figura 6.3.2) comparado aos demais níveis de dormência, sendo que em CF 42 tal diferença foi apresentada somente no Ano 5, o que acompanhou os resultados produtivos (Capítulo 3). Tais resultados atestam a incapacidade do FD10 em sistemas de menor intervalo entre desfolhações, sendo mais indicado o CF 42 a este nível de dormência. Os valores foram superiores aos obtidos por Brown et al. (2006), mas também apresentaram certa sazonalidade, com aumento entre primavera e verão, e redução no outono. Isso ocorreu principalmente nos intervalos entre desfolhações CF 42 e CF 84, o que indica alterações em função de sinais externos (fotoperíodo e temperatura). Costa et al. (2011) obtiveram regressão quadrática entre $EUR_{aérea}$ e tempo de rebrote para *Axonopus aureus*, com valor máximo aos 52 dias de rebrote (~0,5 g MS MJ⁻¹) e posterior redução na $EUR_{aérea}$ até os 70 dias de rebrote.

A maior $EUR_{aérea}$ no CF 28 está associada à mobilização de reservas das raízes para as hastes no rebrote da primavera nos anos iniciais ($P_{aérea}$). Os resultados são consistentes com os apresentados por Teixeira et al. (2008) e Teixeira et al. (2011). Contudo, esse quadro foi reduzido nos anos subsequentes pela constante remobilização destas reservas e a indisponibilidade de tempo hábil para a realocação destas no sistema radicular, o que causou a exaustão destes órgãos, inadequado suprimento de N para o rebrote, e conseqüentemente, menores taxas de alongamento de folhas (MOOT et al., 2019), maior filocrono (BROWN et al., 2006) e menor produção de MS tanto aérea

quanto subterrânea. Portanto, o maior $EUR_{aérea}$ dos anos iniciais de CF 28 comprovam o excesso de uso das reservas orgânicas por estas plantas e apontam para o esgotamento destas.

Os resultados para particionamento em CF 84 não apresentaram variações, o que sugere uma mudança no comportamento ao longo do ciclo de rebrote, assim como apresentado por Costa et al. (2011) para $EUR_{aérea}$. É provável, que as plantas no tratamento CF 84 tenham aumentado o particionamento ao longo do ciclo, porém o processo reprodutivo tenha causado a mobilização destas reservas para a produção de sementes, mascarando tais resultados. Para tanto, experimentos futuros devem avaliar mais profundamente o fluxo de componentes através do ciclo de rebrote de plantas submetidas a longos intervalos entre desfolhações.

O menor $P_{raízes}$ do tratamento CF 28 comprova as afirmações anteriores, de que nem mesmo o FD2 e sua pré-disponibilidade à deposição de reservas pôde suportar baixo intervalo entre desfolhações como neste tratamento, uma vez que ao fim dos cinco anos não diferiu do FD10 (Figuras 6.3.4 e 6.3.5). A mobilização de reservas orgânicas para o rebrote está associado à redução da atividade da nitrogenase e absorção de N com a retirada da porção aérea (VANCE et al., 1979), um processo controlado geneticamente, mas também afetado pela idade da planta (TA et al., 1990). Avice et al. (1996) apontou uma redução da capacidade de mobilização de C e N das reservas para o rebrote com o aumento da idade da planta, uma vez que o processo de realocação destas reservas é considerado somente parcial quando há baixo intervalo entre desfolhações. Sendo assim, plantas no início da fase produtiva, com um ou dois anos, não apresentam grandes efeitos no $P_{raízes}$, consequentemente não há alterações na produção de MS (TA et al., 2020), com resultados mais acentuados em longo prazo.

A contradição entre a redução do $P_{raízes}$ apresentado neste trabalho, e o aumento desta em fotoperíodo e temperaturas crescentes apresentado na literatura (BROWN et al., 2005a; TEIXEIRA et al., 2008) pode também estar atrelado à alocação de N na porção aérea da planta em detrimento do aumento do estresse hídrico (Figura 6.2.3). De acordo com Chakwizira et al. (2018) a redução da disponibilidade de água no solo pode levar à maior concentração de N em locais específicos das folhas, numa tentativa de restringir a expansão do dossel. Essa resposta metabólica foca no feedback negativo emitido pelas folhas, que detectam menor exigência de N e acabam por entrar em uma espécie de dormência (CHAKWIZIRA et al., 2016). As respostas são a redução do

particionamento de componentes de reserva para as raízes, redução das taxas de aparecimento e expansão de folhas, e menor taxa de crescimento linear (ALVARO e MARINA, 2019).

A partir do acesso à produção de componentes radiculares, foi possível estimar a EUR_{total} da alfafa, ou seja, a resposta da planta como um todo (parte aérea e perene) às condições de manejo, clima e fertilidade a elas impostas. O modelo proposto por Brown et al. (2005a) sugere um aumento linear na EUR_{total} , numa taxa de $0,095 \text{ g MS MJ}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Contudo, os resultados foram opostos e apresentaram redução com o aumento da temperatura média. Teixeira e tal. (2008), que também não obteve respostas adequadas de EUR_{total} quanto às mudanças na temperatura, afirmaram que em detrimento da ausência de estímulo da temperatura, a deficiência de C e N e, ainda de água, se tornam os principais fatores limitantes no desempenho forrageiro.

Como apresentado na Figura 6.2.3, as plantas permaneceram boa parte do experimento (>75% do tempo) em algum nível de déficit hídrico. De acordo com Shoo et al. (2017) há uma correlação positiva entre EUR e eficiência no uso da água (EUA) pelas plantas, em situação de déficit hídrico os autores obtiveram menor EUR_{total} em comparação com sistema irrigado. Brown et al. (2012) e Del Pozo et al. (2017) concluíram que a menor disponibilidade de água no solo leva à menor transpiração e atividade dos estômatos, o que causa menor RFA_i e, conseqüentemente, menor EUR_{total} . Pode-se concluir que o déficit hídrico causado pela baixa disponibilidade de água no solo foi suficiente para desencadear uma reação metabólica que resultou em menor EUR_{total} das plantas de alfafa.

O maior impacto causado pelo CF 28 sobre a EUR_{total} está ainda conectado com o menor desenvolvimento dos órgãos radiculares destas plantas. Brown et al. (2005b) indicaram que plantas com sistema radicular mais superficial, como no caso das plantas em CF 28 e FD10, apresentam menor capacidade de extração de água do solo, por não atingirem os horizontes inferiores. Portanto, plantas que apresentavam deficiência de nutrientes para o rebrote aéreo, tiveram como efeito colateral a redução da capacidade de obtenção de água.

Além de déficit hídrico, também foi constatado baixo INN em alguns níveis de dormência, apesar de todos os tratamentos terem apresentado relação similar com a produção de MS (Figura 6.3.6). Lemaire et al. (2008) afirmaram que os valores de INN mais próximos a 1,0 são os ideais e indicam que não houve limitação deste nutriente

para o crescimento. Contudo, é possível observar resultados abaixo de 50% do suprimento da exigência crítica (FD5 e FD10). Lemaire et al. (1985) e Avise et al. (1997) afirmaram que não há influência genética ou o intervalo entre desfolhações em INN, porém apontaram o sombreamento de folhas como fator determinante. Portanto, pode-se concluir que, de maneira indireta, o INN é resultado da genética que coordena a arquitetura foliar do dossel, assim como o intervalo entre desfolhações usado para manipular tais padrões morfológicos.

6.4 Conclusões

O estresse causado pela frequência de desfolhação se tornou palpável no terceiro ano, quando houve reduções da $EUR_{aérea}$ das plantas em CF 28 com relação ao ano anterior. A menor $EUR_{aérea}$ do FD10 também pode ser facilmente observada ao longo dos anos, sem efeito das frequências de desfolhação, o que explica a queda da produção de matéria seca desta cultivar ao longo dos anos.

A redução da EUR_{total} com o aumento da temperatura, associada com a redução do particionamento de matéria seca aos órgãos perenes, confirmam o quadro de degradação de acordo com a frequência de desfolhação. Contudo, a maior média de $P_{raízes}$ de FD2 CF 42, indica tal tratamento como o mais promissor para a perenidade da cultura em tais situações ambientais.

Todos esses fatores estiveram associados à limitação de N causada pelas frequências de desfolhação, associada com a limitação hídrica inesperada na área. O FD2 se mostrou menos susceptível às limitações de N e água, o que o torna mais indicado à região de Canterbury, sendo o FD5 também indicado na presença de sistema de irrigação. Tais culturas devem ser manejadas a altura de ~65 cm para assegurar maior perenidade.

O nível de dormência FD10, se cultivado sob tais condições ambientais, deve ter baixa frequência de desfolhação, entre 42 e 84 dias, para aumentar sua persistência e produtividade.

6.5 Referências bibliográficas

- ALVARO, O.; MARINA, C. Variability of alfalfa (*Medicago sativa* L.) seasonal forage production in the southwest in Uruguay. **Agrociencia Uruguay**, v.23, n.1, p.1-11, 2019. Doi: 10.31285/AGRO.23.1.9
- AVICE, J.C.; OURRY, A.; LEMAIRE, G.; et al. Nitrogen and Carbon flows estimated by ^{15}N and ^{13}C pulse-chase labeling during regrowth of alfalfa. **Plant Physiology**, v.112, p.281-290, 1996.
- AVICE, J.C.; LEMAIRE, G.; OURRY, A.; et al Effects of the previous shoot removal frequency on subsequent shoot regrowth in two *Medicago sativa* L. cultivars. **Plant and Soil**, v.188, p.189-198, 1997.
- BROWN, H.E. **Understanding yield and water use of dryland forage crops in New Zealand**. 2005. 306p. Thesis (Doctor of Philosophy) – Lincoln University, Lincoln, Canterbury, New Zealand.
- BROWN, H. E.; MOOT, D.J.; McKENZIE, B.A. Temperature responses of lucerne radiation and water use efficiency. **Agronomy New Zealand**, v.35, p.23-32, 2005a.
- BROWN, H.E.; MOOT, D.J.; POLLOCK, K.M. Herbage production, persistence, nutritive characteristics and water use of perennial forages grown over 6 years on a Wakanui silt loam. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.48, n.4, p.423-439, 2005. Doi: 10.1080/00288233.2005.9513677
- BROWN, H.E.; MOOT, D.J.; TEIXEIRA, E.I. Radiation use efficiency and biomass partitioning of lucerne (*Medicago sativa* L.) in a temperate climate. **European Journal of Agronomy**, .25, p.319-327, 2006. Doi: 10.1016/j.eja.2006.06.008
- BROWN, H.E.; JAMIESON, P.D.; MOOT, D.J. Predicting the transpiration of lucerne. **European Journal of Agronomy**, v.43, p.9-17, 2012. Doi: 10.1016/j.eja.2012.03.012
- CHAKWIZIRA, E.; RUITER, J.M.; MALEY, S. TEIXEIRA, E. Evaluating the critical nitrogen dilution curve for storage root crops. **Field Crop Research**, v.199, p.21-30, 2016. Doi: 10.1016/j.fcr.2016.09.012
- CHAKWIZIRA, E.; TEIXEIRA, E. MEENKEN, E.; et al. Radiation use efficiency and biomass partitioning to storage roots in fodder beet crops. **European Journal of Agronomy**, v.92, p.63-71, 2018. Doi: 10.1016/j.eja.2017.10.002
- COSTA, N.L.; MORAES, A.; GIANLUPPI, V.; et al. Acúmulo de forragem e eficiência de utilização da radiação em pastagens de *Axonopus aureus*, durante o período seco, nos cerrados de Roraima. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.5, n.2, p.143-147, 2011.
- DEL POZO, A.; OVALLE, C.; ESPINOZA, S.; et al. Water relations and use-efficiency, plant survival and productivity of nine alfalfa (*Medicago sativa* L.)

- cultivars in dryland Mediterranean conditions. **European Journal of Agronomy**, v.84, p.16-22, 2017. Doi: 10.1016/j.eja.2016.12.002
- GOSSE, G.; CHARTIER, M.; LEMAIRE, G. Mise au point d'un modèle de prévision de production pour une culture de luzerne. **Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences**, v.298, n.18, p.541-544, 1984.
- HEWITT, A.E. New Zealand soil classification. **Landcare Research Science Series**, v.35, n.1, p.136, 2010.
- LEMAIRE, G.; CRUZ, P.; GOSSE, G.; et al. Study of the relationship between the dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation of lucerne (*Medicago sativa* L.). **Agronomie**, v.5, n.8, p.685-692, 1985.
- LEMAIRE, G. GASTAL, F. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIRE, G. (Ed.). **Diagnosis on the nitrogen status in crops**. Heidelberg: Springer-Verlag, 3-43, 1997.
- LEMAIRE, G.; JEUFFROY, M.H.; GASTAL, F. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage – Theory and practices for crop N management. **European Journal of Agronomy**, v.28, p.614-624, 2008. Doi: 10.1016/j.eja.2008.01.005
- MATTERA, J.; ROMERO, L.A.; CUATRÍN, A.L.; et al. Yield components, light interception and radiation use efficiency of Lucerne (*Medicago sativa* L.) in response to row spacing. **European Journal of Agronomy**, v.45, p.87-95, 2013. Doi: 10.1016/j.eja.2012.10.008
- MOOT, D.J., ROBERTSON, M.J., POLLOCK, K.M., Validation of the APSIM-Lucerne model for phenological development in a cool-temperate climate. In: **Proceedings...**, Hobart, Tasmania, 2001.
- OURY, F.; ROUSSET, M.; BÉRARD, P.; et al. Une étude de la qualité des blés hybrides à travers différents tests technologiques. **Agronomie**, v.14, p.377-385, 1994. Doi: 10.1051/agro:19940603
- SHOO, B.; KAGE, H.; SCHITTENHELM, S. Radiation use efficiency, chemical composition, and methane yield of biogas crops under rainfed and irrigated conditions. **European journal of Agronomy**, v.87, p.8-18, 2017. Doi: 10.1016/j.eja.2017.03.001
- SIM, R.E.; MOOT, D.J. The influence of spring grazing management on yield and water use of rainfed lucerne. **Journal of New Zealand Grasslands**, v.81, p.187-194, 2019. Doi: 10.33584/jnztg.2019.81.403
- TA, T.C.; MACDOWALL, F.D.H.; FARIS, M.A. Utilization of carbon and nitrogen reserves of alfalfa roots in supporting N-fixation and shoot regrowth. **Plant Soil**, v.127, p.231-236, 1990.

- TA, H.; TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J. Impact of autumn (fall) dormancy rating on growth and development of seedling Lucerne. **Journal of New Zealand Grasslands**, v.78, p.169-176, 2016.
- TEIXEIRA, E.I. **Understanding growth and development of lucerne crops (*Medicago sativa* L.) with contrasting levels of perennial reserves**. 2006. 298p. Thesis (Doctor of Philosophy) – Lincoln University, Lincoln, Canterbury, New Zealand.
- TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J.; MICKELBART, M.V. Seasonal patterns of root C and N reserves of lucerne crops (*Medicago sativa* L.) grown in a temperate climate were affected by defoliation regime. **European Journal of Agronomy**, v.26, p.10-20, 2007. Doi: 10.1016/j.eja.2006.08.010
- TEIXEIRA, E.I.; MOOT, D.J.; BRONW, H.E. Defoliation frequency and season affected radiation use efficiency and dry matter partitioning to roots of lucerne (*Medicago sativa* L.). **European Journal of Agronomy**, v.28, p.103-111, 2008. Doi 10.1016/j.eja.2007.05.004
- TEIXEIRA, E.I.; BROWN, H.E.; MEENKEN, E.D.; et al. Growth and phenological development patters differ between seedling ad regrowth lucerne crops (*Medicago sativa* L.). **European Journal of Agronomy**, v.35, p.47-55, 2011. Doi: 10.1016/j.eja.2011.03.006
- VANCE, C.P.; HEICHEL, G.H.; BARNES, D.K.; et al. Nitrogen fixation, nodule development, and vegetative regrowth of alfalfa (*Medicago sativa* L.) following harvest. **Plant Physiology**, v.64, p.1-8, 1979.
- WEBB, T.H.; CLAYDON, J.J.; HARRIS, S.R. Quantifying variability of soil physical properties within soil series to address modern land-use issues on the Canterbury Plains, New Zealand. **Soil Research**, v.38, p.1115-1129, 2000.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desta pesquisa foi quantificar os efeitos de diferentes intervalos entre desfolhações na produção de matéria seca e no valor nutritivo de alfafa com contrastantes níveis de dormência ao longo de cinco anos. Para completa compreensão dos processos envolvidos nestes resultados, objetivou-se também a avaliação da dinâmica das reservas orgânicas do sistema radicular, assim como a arquitetura do dossel forrageiro e processo de interceptação de radiação, envolvendo a eficiência no uso desta pelas plantas. Os níveis de dormência foram selecionados pelas suas diferenças fisiológicas, já conhecidas. Enquanto os regimes de desfolhação foram realizados com o objetivo de causar diferentes níveis de estresse nas plantas, com mudanças nas limitações de carbono (C) e nitrogênio (N).

As mudanças de comportamento foram então acompanhadas ao longo dos cinco anos, a partir de mensurações destrutivas e não destrutivas, ao longo das estações para quantificar as flutuações resultantes das alterações ambientais de fotoperíodo e temperatura do ar. Também foi estabelecido um pousio invernal, em que as plantas não foram colhidas no período entre maio a julho/agosto, para a avaliação da capacidade de estocagem de nutrientes e sobrevivência das plantas a tal situação.

As frequências de desfolhação foram eficazes em criar situações de estresse contrastantes, em que plantas submetidas ao CF 28 apresentaram menor produção acumulada de matéria seca já no Ano 2 (pós-fase de estabilização), em comparação aos CF 42, e não se recuperando nos anos seguintes, com máxima de $9,9 \text{ t ha}^{-1}$ de MS. Neste tratamento, a principal causa estrutural da redução acentuada de produção de matéria seca foi a redução da população de plantas ao longo dos anos, com destaque para o nível de dormência FD10. Inicialmente, acreditou-se que os piquetes fossem capazes de manter o índice de área foliar (IAF) com a chegada de radiação nos extratos inferiores, ou mesmo aumentar o peso das hastes remanescentes. Contudo, constatou-se que processos fisiológicos de grande impacto reduziram a capacidade de interceptação de radiação fotossinteticamente ativa desses dosséis, o que resultou na degradação avançada dos mesmos.

Assim como o FD10, FD2 e FD5 sob CF 28 também apresentaram reduções consideráveis na população, com impacto na produção de matéria seca, porém numa intensidade menor, o que aumentou a perenidade destas cultivares. Observou-se que tais

cultivares tiveram maior capacidade de particionamento de componentes orgânicos para o sistema radicular, o que permitiu maior número de rebrotes ao longo dos anos, a partir da mobilização destes para a porção aérea da planta. Contudo, as análises de eficiência total no uso da radiação (EUR_{total}) demonstraram que estes dosséis também apresentam certo grau de degradação, uma vez que sua capacidade de retenção de componentes em regiões subterrâneas tem reduzido ao longo dos anos.

Fatores morfométricos comprovaram a redução da capacidade do FD10 em promover o desenvolvimento do dossel forrageiro. Nos anos iniciais tal cultivar apresentou vantagens no contínuo desempenho ao longo das estações. Mas a redução da taxa de expansão foliar (TEF) ilustra que, a partir dos Anos 3 e 4 (CF 28 e CF 42, respectivamente), tais vantagens foram anuladas, não havendo melhorias em outras estações do ano. Ao contrário, em decorrência do estresse causado pelo CF 28, com menor disponibilidade de C, os cultivares FD2 e FD5 responderam com o aumento na TEF em situações de fotoperíodo e temperatura favoráveis. O que demonstra a capacidade destas cultivares em canalizar suas energias para obter maior eficiência em épocas propícias.

A maior altura das plantas de FD10, fator arraigado a tal nível de dormência, sugeria a maior produção desta cultivar, utilizando-se rotineiramente desta ferramenta para a determinação do momento da colheita. Todavia, a redução acentuada na população de plantas e hastes, principalmente em CF 28 e CF 42, reduziu também a confiabilidade desta avaliação, uma vez que sozinha não leva em consideração as condições do dossel. Outro fator que acompanhou tal processo foi o número de ramificações na haste principal, que por questões genéticas deveria ser mais alto em plantas FD10, mas não foram constatadas diferenças em tal característica a partir do Ano 3.

Por outro lado, o CF 84 permitiu às plantas completarem seu ciclo produtivo sem que houvesse limitações quanto a C e N. Como resposta, o tratamento foi o que menos apresentou diferenças entre os níveis de dormência, com o intuito de maximizar as características produtivas e morfológicas de cada cultivar. Quando comparado ao CF 42, a similaridade na produção de matéria seca apresentou sinais iniciais da baixa eficiência desta pastagem, tendo o menor valor nutritivo. Tais características denunciam problemas estruturais únicos deste tratamento. Estes foram posteriormente confirmados

pela maior senescência foliar, maior frequência de entrada em processo reprodutivo e menor eficiência no uso da radiação aérea ($EUR_{aérea}$).

De acordo com os dados reprodutivos, (Figura 5.3.14) recomenda-se a colheita das plantas de alfafa com no máximo 600 °Cd acumulados, uma vez que a partir disso obteve-se uma maior frequência de plantas em estágio de florescimento, o que reduz seu valor nutritivo e não afeta a produção de matéria seca. Observou-se também, pela ausência de diferenças quanto ao particionamento de componentes às raízes e EUR_{total} , que o processo de floração e geração das sementes reduz a eficiência dessas plantas, por exigir mobilização de componentes das raízes.

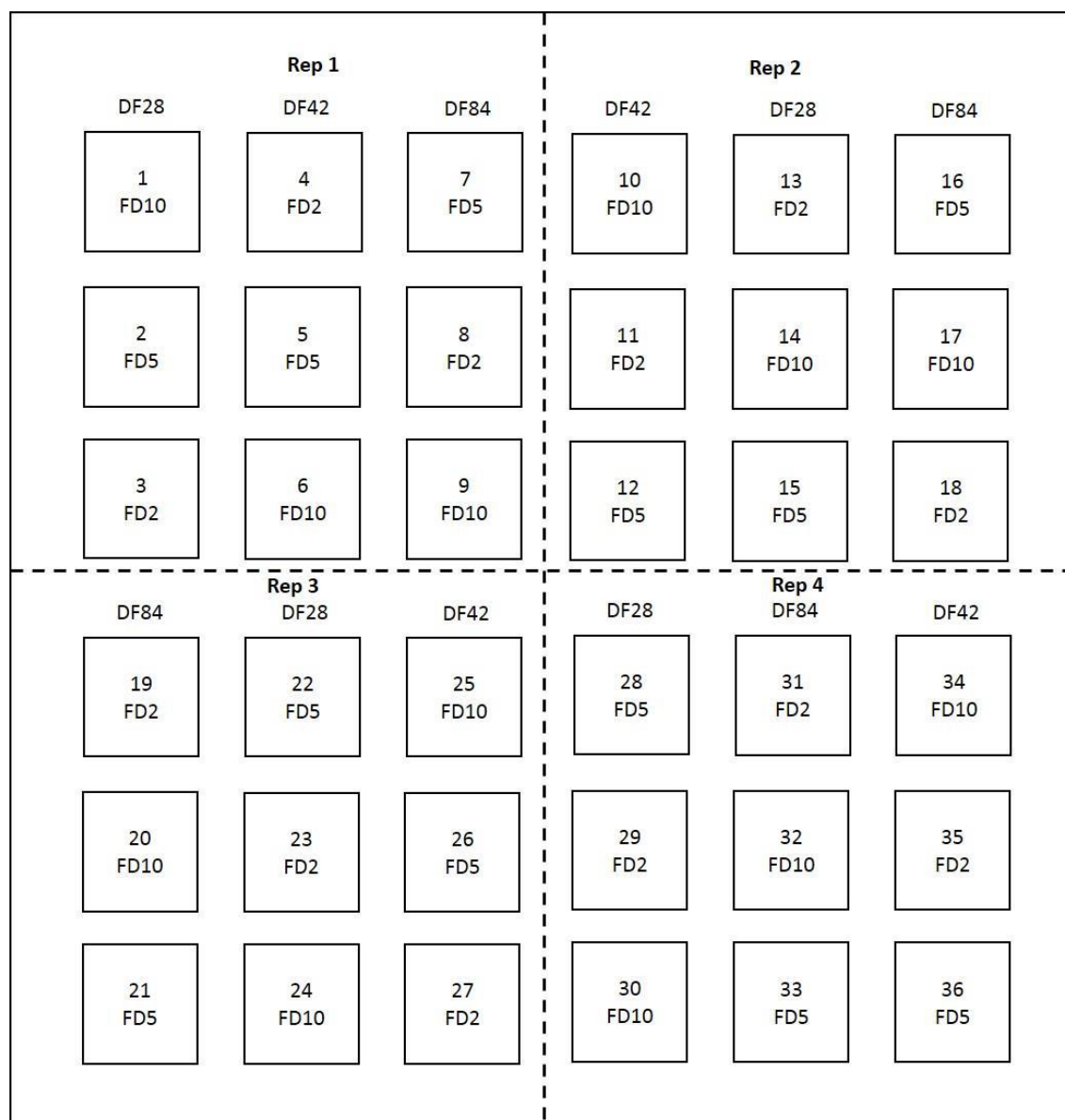
Entre os níveis de dormência, o principal fato a ser considerado é o índice de N nutritivo das plantas (INN), que apresentou menores valores para FD5 e FD10, independente da frequência de desfolhação. Esse valor é um eco da concentração de N presente na parte aérea da planta, e sua relação com a quantidade de N crítico para seu desenvolvimento. A concentração de N na planta varia conforme a quantidade de C disponível, assim como a situação hídrica da planta, para trocas gasosas e formação de nódulos nas raízes. Por se tratar de uma cultivar com menor produção de amido, açúcares solúveis e N no sistema radicular, é possível inferir uma pré-disponibilidade a esta condição no FD10. Contudo os efeitos da menor concentração de açúcares solúveis, associado à baixa disponibilidade de água para as plantas, pode ter reduzido ainda mais a capacidade de absorção de água e nutrientes por estas plantas, devido ao alto poder osmótico dos açúcares solúveis. Portanto, as plantas de FD2 foram as únicas que não apresentaram suficiente limitação de C para reduzir o aporte de N, tendo as demais resultado em INN abaixo de 60%.

Alguns pontos merecem ter maior investigação em pesquisas futuras, sendo eles:

- A avaliação da eficiência no uso de radiação dentro do ciclo de rebrote, com maior número de coletas para maior precisão na determinação da eficiência de tais espécies;
- A partir de então, será possível acompanhar os teores de componentes orgânicos nos órgãos perenes, para esclarecer questionamentos sobre a mobilização de componentes para o rebrote e reinício do particionamento para as raízes;

- Maior acompanhamento da massa específica das folhas, tendo sido encontrado diferenças quanto à espessura das folhas de certos níveis de dormência, o que pode afetar o cálculo para a determinação do índice de área foliar.

APÊNDICE 1 – Croqui da área experimental I12 no Iversen Field, Lincoln University.



APÊNDICE 2 – Material fotográfico das avaliações visuais realizadas em novembro de 2018 e fevereiro 2019.

Tratamento	Material fotográfico	
<i>Novembro de 2018</i>		
FD2 CF 28		
FD5 CF 28		
FD10 CF 28		

Tratamiento	Material fotográfico	
FD2 CF 42		
FD5 CF 42		
FD10 CF 42		
FD2 CF 84		

Tratamento	Material fotográfico	
FD5 CF 84		
FD10 CF 84		
<i>Fevereiro de 2019</i>		
FD2 CF 28		
FD5 CF 28		

Tratamiento	Material fotográfico	
FD10 CF 28		
FD2 CF 42		
FD5 CF 42		
FD10 CF 42		

Tratamiento	Material fotográfico	
FD2 CF 84		
FD5 CF 84		
FD10 CF 84		

APÊNDICE 3. Parâmetros das equações, coeficientes de determinação (R^2) e erro médio padrão ao final do ano de rebrote de radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_i) de alfafa por cinco anos em clima temperado.

Ano de rebrote		a	b	x_0	R^2	Erro padrão da média
CF 28						
2015/16		417,9	274,0	2308,0	0,98	17,49
2016/17		641,2	372,2	5836,0	0,97	17,48
2017/18		811,3	506,9	8971,0	0,87	167,1
2018/19	FD2/FD5	879,6	394,5	12120,0	0,97	26,47
	FD10	409,0	358,7	12150,0	0,99	
CF 42						
2015/16		1028,4	343,3	2503,8	0,98	24,30
2016/17		1014,0	367,1	5740,0	0,99	18,81
2017/18		904,0	356,6	8753,0	0,96	134,87
2018/19	FD2/FD5	1150,0	432,4	12100,0	0,99	62,42
	FD10	838,1	435,5	12110,0	0,99	
CF 84						
2015/16		1352,0	582,4	3082,0	0,92	100,02
2016/17		1335,0	370,7	5728,0	0,99	20,68
2017/18		1209,0	399,6	8632,0	0,91	256,47
2018/19		1406,0	411,4	12020,0	0,95	60,53

APÊNDICE 4. Parâmetros das equações coeficientes de determinação (R^2), nível de significância (P-valor) e erro médio padrão o índice de área foliar (IAF) de alfafa com três níveis de dormência (FD2, FD5 e FD10) submetidas a três frequências de desfolhação (CF 28, CF 42 e CF 84) por ciclo de rebrote durante cinco anos em clima temperado.

Frequência de desfolhação	Rotação	Equação	R^2	P valor	Erro padrão da média
CF 28	6	$y=-1726+0,05x$	0,52	0,04	0,28
	7	$y=-1133+0,03x$	0,97	0,53	0,16
	8	$y=-2305+0,05x$	0,89	0,50	0,16
	9	$y=-2239+0,05x$	0,75	0,39	0,02
	10	$y=-1667+0,04x$	0,93	0,26	0,23
	11	$y=-4484+0,01x$	0,56	0,008	0,13
	18	$y=-1975+0,04x$	0,82	0,72	0,06
	19	$y=-2472+0,06x$	0,80	0,05	0,43
	20	$y=-5836+0,13x$	0,99	0,0009	0,14
	21	$y=-504,6+0,01x$	0,42	0,39	0,17
	22	$y=-593,1+0,01x$	0,91	0,01	0,06
	23	$y=-1728+0,04x$	0,94	0,004	0,03
	28	$y=-3837+0,09x$	0,90	0,003	0,28
	29	$y=-3706+0,08x$	0,74	0,01	0,36
	30	$y=-1947+0,04x$	0,68	0,003	0,36
	31	$y=-5187+0,12x$	0,75	0,004	0,29
	32	$y=-3725+0,08x$	0,87	0,003	0,25
	37	$y=-1850+0,04x$	0,66	0,18	0,20
	38	$y=-2561+0,06x$	0,65	0,007	0,30
	39	$y=-2071+0,05x$	0,80	0,009	0,18
	40	$y=-2955+0,07x$	0,61	0,0003	0,25
	41	$y=-2490+0,06x$	0,64	0,0001	0,22
	42	$y=-3052+0,07x$	0,76	<0,0001	0,15
CF 42	6	$y=-4371+0,10x$	0,76	0,37	0,52
	7	$y=-4538+0,10x$	0,89	0,93	0,43
	8	$y=-4205+0,10x$	0,93	0,75	0,61
	9	$y=-5479+0,13x$	0,81	0,06	0,45
	10	$y=-3445+0,08x$	0,88	<0,0001	0,26
	11	$y=-1751+0,04x$	0,55	0,72	0,67
	15	$y=-913,9+0,78x$	0,98	0,57	0,52
	16	$y=-353,3+0,08x$	0,96	0,72	0,33
	17	$y=-2268+0,05x$	0,98	0,35	0,46
	20	$y=-3088+0,07x$	0,90	0,26	0,43
	21	$y=-2333+0,05x$	0,84	0,77	0,92
	22	$y=-3501+0,08x$	0,92	0,09	0,48
	23	$y=-3536+0,08x$	0,91	0,12	0,16
	24	$y=-6005+0,14x$	0,95	0,003	0,21
	27	$y=-4171+0,09x$	0,98	<0,0001	0,20
	28	$y=-1235+0,03x$	0,79	<0,0001	0,16

CF 84	29	$y=-1866+0,04x$	0,67	<0,0001	0,21
	30	$y=-2081+0,05x$	0,61	0,40	0,69
	31	$y=-2947+0,07x$	0,71		
	3	$y=-5115+0,12x$	0,81	0,25	0,61
		$y=875,2-0,02x$	0,21		
	4	$y=-603,9+0,14x$	0,83	0,95	0,70
		$y=-745,7+0,02x$	0,51		
	5	$y=-5136+0,12x$	0,96	0,70	0,29
		$y=3087-0,05x$	0,93		
	6	$y=-1954+0,05x$	0,74	0,74	0,64
	7	$y=-3872+0,09x$	0,96	0,0003	0,29
		$y=4654-0,01x$	0,11		
	9	$y=-3980+0,09x$	0,98	0,04	0,26
		$y=2690-0,06x$	0,84		
	11	$y=-1927+0,04x$	0,88	0,005	0,36
		$y=87,05-0,002x$	0,00		
	12	$y=-3687+0,08x$	0,79	0,005	0,50
	13	$y=-6837+0,16x$	0,92	<0,0001	0,24
		$y=1270-0,03x$	0,34		
	15	$y=-1040+0,02x$	0,79	<0,0001	0,21
	16	$y=-2469+0,05x$	0,78	<0,0001	0,18
		$y=40,63-0,0008x$	0,00		
	17	$y=-3970+0,09x$	0,76		
		$y=465,5-0,01x$	0,01		

APÊNDICE 5. Parâmetros das equações coeficientes de determinação (R^2), nível de significância (P-valor) e erro médio padrão de número de folhas primárias de alfafa com três níveis de dormência (FD2, FD5 e FD10) submetidos a três frequências de desfolhação (CF 28, CF 42 e CF 84) por ciclo de rebrote durante cinco anos em clima temperado.

Frequência de desfolhação	Rotação	Equação	R^2	P valor	Erro padrão da média
CF 28	1	$y=-20000+0,48x$	0,91	0,88	0,34
	2	$y=-19000+0,45x$	0,90	0,05	0,49
	3	$y=-13600+0,32x$	0,99	0,63	0,21
	4	$y=-16240+0,38x$	0,91	<0,0001	0,40
	6	$y=-16850+0,39x$	0,91	0,74	0,34
	7	$y=-14420+0,34x$	0,98	0,37	0,23
	8	$y=-21110+0,50x$	0,99	0,92	0,49
	9	$y=-16830+0,39x$	0,97	0,15	0,27
	10	$y=-21110+0,50x$	0,99	0,70	0,55
	11	$y=-19230+0,45x$	0,99	0,51	0,24
	12	$y=-13800+0,32x$	0,99	0,38	0,33
	13	$y=-12320+0,29x$	0,89	<0,0001	0,21
	14	$y=-11810+0,28x$	0,98	0,0005	0,22
	19	$y=-11630+0,27x$	0,99	0,36	0,30
	20	$y=-15410+0,36x$	0,99	0,78	0,19
	21	$y=-18430+0,43x$	0,99	0,94	0,43
	22	$y=-16280+0,38x$	0,99	0,46	0,33
	23	$y=-15020+0,35x$	0,92	<0,0001	0,36
	24	$y=-45740+0,11x$	0,90	0,32	0,31
	25	$y=-9699+0,22x$	0,99	0,45	0,31
	26	$y=-19600+0,45x$	0,99	0,66	0,34
	27	$y=-16110+0,37x$	0,97	0,03	0,42
	28	$y=-13920+0,32x$	0,94	0,09	0,25
	29	$y=-19250+0,45x$	0,99	0,30	0,29
	31	$y=-20750+0,48x$	0,99	0,17	0,34
	32	$y=-15300+0,35x$	0,99	0,27	0,28
	33	$y=-6568+0,15x$	0,90	<0,0001	0,27
	36	$y=-11060+0,25x$	0,99	0,82	0,30
	37	$y=-15840+0,36x$	0,56	0,02	0,31
	38	$y=-18290+0,42x$	0,92	0,17	0,26
	39	$y=-15140+0,48x$	0,84	<0,0001	0,30
	40	$y=-21100+0,48x$	0,92	0,46	0,29
	41	$y=-20960+0,48x$	0,94	0,68	0,33
	42	$y=-20140+0,46x$	0,95	0,87	0,29
	43	$y=-15860+0,36x$	0,84	0,18	0,26
CF 42	2	$y=-19980+4,7x$	0,96	0,96	0,43
	3	$y=-120600+2,8x$	0,98	0,29	0,48
	4	$y=-179900+4,3x$	0,95	0,38	0,51
	5	$y=-127700+3,0x$	0,99	0,0004	0,22

CF 84	6	$y=-17500+0,41x$	0,96	0,57	0,39
	7	$y=-18960+0,44x$	0,98	0,91	0,54
	8	$y=-27170+0,64x$	0,98	0,47	0,40
	9	$y=-20290+0,48x$	0,99	0,34	0,64
	10	$y=-18330+0,43x$	0,98	0,16	0,41
	11	$y=-16860+0,39x$	0,90	0,0001	0,49
	15	$y=-13370+0,31x$	0,99	0,90	0,23
	17	$y=-12630+0,29x$	0,97	0,04	0,19
	18	$y=-51790+0,12x$	0,80	<0,0001	0,28
	19	$y=-13080+0,30x$	0,96	0,13	0,34
	20	$y=-14910+0,34x$	0,96	0,16	0,33
	21	$y=-16440+0,38x$	0,98	0,83	0,31
	22	$y=-16730+0,39x$	0,98	0,86	0,57
	23	$y=-20320+0,47x$	0,99	0,25	0,53
	24	$y=-15490+0,36x$	0,99	0,40	0,31
	26	$y=-8205+0,18x$	0,97	0,05	0,42
	27	$y=-14020+0,32x$	0,95	0,69	0,39
	28	$y=-11610+0,26x$	0,78	0,01	0,29
	29	$y=-19600+0,45x$	0,88	0,43	0,33
	30	$y=-17440+0,40x$	0,93	0,02	0,29
	31	$y=-14790+0,34x$	0,86	0,53	0,23
	1	$y=-14350+0,34x$	0,91	0,51	0,59
	2	$y=-11620+0,27x$	0,85	0,004	0,28
	3	$y=-13510+0,32x$	0,91	0,99	0,62
	4	$y=-25380+0,60x$	0,95	0,92	0,35
	5	$y=-16910+0,39x$	0,94	0,94	0,63
	8	$y=-13470+0,31x$	0,98	0,44	0,32
	9	$y=-11730+0,27x$	0,95	0,28	0,35
	10	$y=-6473+0,15x$	0,90	0,03	0,29
	11	$y=-11560+0,26x$	0,96	0,06	0,33
	12	$y=-17900+0,41x$	0,98	0,21	0,49
	13	$y=-17660+0,41x$	0,99	0,47	0,65
	15	$y=-9060+0,21x$	0,97	0,31	0,39
	16	$y=-13540+0,31x$	0,81	0,25	0,43
	17	$y=-11100+0,25x$	0,81	0,47	0,38

APÊNDICE 6. Equações, coeficiente de determinação (R^2), nível de significância (P valor) e erro médio padrão da altura da haste principal de alfafa com diferentes níveis de dormência (FD2, FD5 e FD10) submetidos a frequências de desfolhação de 28, 42 e 84 dias por cinco anos na Lincoln University, Canterbury, Nova Zelândia.

Frequência de desfolhação	Rotação	Equação	R^2	P valor	Erro padrão da média
CF 28	1	$y=-5554+1,32x$	0,93	0,03	1,68
		$y=-8098+1,92x$	0,95		
	2	$y=-4313+1,02x$	0,77	0,13	1,23
	3	$y=-1625+0,38x$	0,87	0,0017	0,57
		$y=-3515+0,84x$	0,99		
	4	$y=-1345+0,32x$	0,57	0,0002	0,50
	6	$y=-8566+0,20x$	0,89	<0,0001	0,48
		$y=-2321+0,55x$	0,99		
	7	$y=-3014+0,71x$	0,99	0,14	0,64
	8	$y=-4572+1,08x$	0,98	0,06	0,89
	9	$y=-2835+0,67x$	0,83	0,05	0,50
	10	$y=-3844+0,91x$	0,99	<0,0001	0,82
		$y=-5288+1,24x$	0,99		
		$y=-6224+1,47x$	0,99		
	11	$y=-5837+1,38x$	0,96		0,87
	12	$y=-2470+0,58x$	0,77	0,06	0,88
	13	$y=-1171-0,27x$	0,39		0,48
	14	$y=-4958+0,11x$	0,52		0,69
	19	$y=-3823+0,89x$	0,99		1,82
	20	$y=-6535+1,53x$	0,99		0,98
	21	$y=-4175+0,97x$	0,99		1,44
	22	$y=-2329+0,54x$	0,99		0,93
	23	$y=-2005+0,46x$	0,99	0,16	0,96
	24	$y=-3653+0,08x$	0,92	0,0003	0,21
		$y=-5844+0,13x$	0,98		
	25	$y=-1025+0,24x$	0,98		0,27
	26	$y=-2370+0,55x$	0,99	0,10	0,52
	27	$y=-2805+0,65x$	0,98	0,26	0,61
	28	$y=-4405+1,02x$	0,87		0,74
	29	$y=-5525+1,28x$	0,98		0,59
	31	$y=-6644+1,54x$	0,98		1,14
	32	$y=-5043+1,17x$	0,97		0,82
	35	$y=-7215+1,67x$	0,94		0,31
	37	$y=-1250+0,29x$	0,86	0,79	0,94
	38	$y=-1820+0,42x$	0,87	0,05	1,52
	39	$y=-3766+0,87x$	0,97	0,36	1,60
	40	$y=-6142+1,41x$	0,98	0,56	2,04
	41	$y=-6422+1,48x$	0,99	0,92	1,36
	42	$y=-4859+1,18x$	0,97	0,82	1,18
	43	$y=-2759+0,63x$	0,71	0,23	1,29

CF 42	2	y=-5067+1,20x	0,88	<0,0001	2,66
		y=-8090+1,92x	0,96		
	3	y=-3307+0,78x	0,37	0,08	1,04
	4	y=-2122+0,50x	0,81	0,29	1,33
	6	y=-2430+0,57x	0,86	<0,0001	1,61
		y=-2857+0,66x	0,88		
		y=-3661+0,86x	0,91		
	7	y=-5387+1,27x	0,98		2,46
	8	y=-4677+1,10x	0,92		0,85
	9	y=-7688+1,81x	0,98		1,06
	10	y=-3239+0,76x	0,95	0,0052	1,55
		y=-5110+1,20x	0,96		
	11	y=-1314+0,30x	0,99	<0,0001	2,24
		y=-2081+0,49x	0,98		
		y=-4483+1,05x	0,99		
	15	y=-6433+1,51x	0,99		1,73
	17	y=-3794+0,88x	0,84	0,10	0,94
	18	y=-4443+0,10x	0,88	<0,0001	0,67
		y=-1213+0,28x	0,97		
	19	y=-1315+0,30x	0,85	0,81	0,48
	20	y=-2542+0,59x	0,96	0,0004	0,83
		y=-2853+0,66x	0,91		
	21	y=-5207+1,21x	0,98	0,07	1,87
	22	y=-6699+1,55x	0,95	0,28	1,82
	23	y=-123+1,88x	0,98	0,06	1,90
	24	y=-3373+0,78x	0,85	0,64	0,82
	26	y=-1022+0,23x	0,82		0,59
	27	y=-2204+0,51x	0,96	0,10	1,02
	28	y=-4255+0,98x	0,97	0,33	2,17
	29	y=-6341+1,46x	0,97	0,08	3,66
	30	y=-6805+1,56x	0,98	0,51	5,26
	31	y=-4582+1,05x	0,86	0,90	1,29
CF 84	1	y=-4861+1,15x	0,86	0,0014	0,80
		y=-6066+1,44x	0,88		
	2	y=-5742+0,13x	0,68	<0,0001	1,16
		y=-9042+0,21x	0,76		
		y=-1941+0,46x	0,85		
	3	y=-3212+0,76x	0,96	<0,0001	2,64
		y=-4181+0,98x	0,97		
	4	y=-4396+0,10x	0,85	0,0214	0,71
		y=-5629+0,13x	0,57		
	8	y=-6625+1,55x	0,97	0,0003	2,23
		y=-6167+1,44x	0,99		
	9	y=-5551+1,29x	0,93	0,91	0,37
	10	y=-6648+-0,11x	0,99	0,03	0,63
		y=-1392+0,32x	0,98		
	11	y=-2092+0,48x	0,91	0,0003	0,61
		y=-1793+0,42x	0,97		

12	$y=-8382+1,94x$	0,97	0,91	3,22
13	$y=-7137+1,65x$	0,99		2,08
15	$y=-1697+0,39x$	0,91	0,26	1,02
16	$y=-3731+0,85x$	0,96	0,78	8,22
17	$y=-4836+1,11x$	0,85	0,38	5,60

APÊNDICE 7. Equação, coeficiente de determinação (R^2), nível de significância (P valor) e erro médio padrão do número de ramos na haste principal ao final do ciclo de rebrote de alfafa com diferentes níveis de dormência (FD2, FD5 e FD10) submetidos frequências de desfolhação de 28, 42 e 84 dias por ciclo de rebrote por cinco anos em clima temperado.

Frequência de desfolhação	Rotação	Equação	R^2	P valor	Erro padrão da média
CF 28	1	$y=-259+0,006x$	0,66	0,58	0,49
	2	$y=-11430+0,27x$	0,95	0,11	0,50
	3	$y=-8388+0,20x$	0,99	0,45	0,33
	4	$y=-39,28+0,001x$	0,98	0,0097	0,72
	5	$y=-3733+0,09x$	0,80	0,0275	0,33
	6	$y=-2846+0,07x$	0,99	0,70	0,30
	7	$y=-4358+0,10x$	0,88	0,19	0,26
	8	$y=-3854+0,09x$	0,83	0,96	0,39
	9	$y=-5189+0,12x$	0,99	0,49	0,22
	10	$y=-6965+0,16x$	1,00	0,94	0,62
	11	$y=-1641+0,04x$	0,98	0,09	0,76
	12	$y=-1238+0,03x$	1,00	0,32	0,72
	13	$y=-907,7+0,02x$	1,00	0,27	0,25
	14	$y=-6998+0,16x$	1,00	0,11	0,45
	15	$y=-7476+0,17x$	1,00	0,94	0,43
	16	$y=-10000+0,23x$	1,00	0,33	0,38
	17	$y=-8564+0,20x$	1,00	0,47	1,32
	18	$y=-1613+0,04x$	0,99	0,73	0,47
	19	$y=-596,3+0,01x$	1,00	0,66	0,50
	20	$y=-8082+0,19x$	0,76	0,41	0,56
	21	$y=-6775+0,16x$	1,00	0,0289	0,42
	22	$y=-7992+0,18x$	0,81	0,29	0,36
	23	$y=-13260+0,31x$	1,00	0,30	0,29
	24	$y=-12250+0,28x$	1,00	0,0315	0,26
	25	$y=-7322+0,17x$	1,00	0,18	0,72
	26	$y=-99,52+0,002x$	1,00	0,68	0,35
	27	$y=-4183+0,09x$	1,00	0,15	0,67
	28	$y=-13660+0,31x$	0,96	0,19	0,48
	29	$y=-13710+0,31x$	0,99	0,15	0,67
	30	$y=-15640+0,36x$	0,95	0,40	0,40
	31	$y=-16310+0,37x$	0,99	0,81	0,38
	32	$y=-13080+0,3x$	0,95	0,74	0,37
	33	$y=-10460+0,24x$	0,91	0,56	0,48
CF 42	1	$y=-11550+0,27x$	0,92	0,32	0,47
	2	$y=-4973+0,12x$	0,84	0,19	0,42
	3	$y=-22600+0,53x$	0,75	0,19	0,42
		$y=20300-0,48x$	1,00	0,0052	
	4	$y=-64650+0,15x$	1,00	0,0004	0,22
	5	$y=-8053+0,19x$	0,94	0,24	0,37

CF 84	6	$y=-7630+0,18x$	0,99	0,75	0,28
	7	$y=-8716+0,20x$	0,98	0,26	0,36
	8	$y=-7946+0,19x$	1,00	0,33	0,64
	9	$y=-5912+0,14x$	0,81	0,18	0,25
	10	$y=-2477+0,06x$	0,90	<0,0001	0,49
	11	$y=-7116+0,16x$	1,00	0,0044	0,39
	12	$y=-8848+0,21x$	0,99	0,0200	0,28
	13	$y=-2618+0,06x$	0,97	0,40	0,31
	14	$y=-5944+0,14x$	0,98	0,0161	0,37
	15	$y=-7929+0,18x$	0,94	0,0289	0,42
	16	$y=-10210+0,24x$	0,96	0,09	0,43
	17	$y=-12170+0,28x$	0,99	0,36	0,53
	18	$y=-13020+0,30x$	0,99	0,16	0,44
	19	$y=-6122+0,14x$	0,89	0,92	0,40
	20	$y=-3774+0,08x$	1,00	0,05	0,42
	21	$y=-9945+0,23x$	0,99	0,23	0,69
	22	$y=-9165+0,21x$	0,83	0,32	0,90
	23	$y=-14110+0,32x$	0,96	0,31	0,57
	24	$y=-14350+0,33x$	0,95	0,77	1,37
	25	$y=-11860+0,27x$	0,95	0,56	0,48
	1	$y=-6551+0,15x$	0,76	0,37	0,93
	2	$y=-6422+0,15x$	0,74	0,08	0,32
	3	$y=-9483+0,22x$	0,98	0,96	0,56
		$y=7415-0,17x$	1,00	0,89	
	4	$y=-8674+0,20x$	0,94	0,33	0,70
		$y=3396-0,08x$	1,00	0,86	
	5	$y=-6600+0,15x$	0,99	0,07	0,48
		$y=15180-0,36x$	1,00	0,44	
	6	$y=-8323+0,19x$	0,97	0,62	0,62
	7	$y=-9031+0,21x$	0,96	0,56	0,94
	8	$y=-3369+0,78x$	0,97	<0,0001	0,35
	9	$y=-3978+0,93x$	0,99	0,24	0,37
	10	$y=-10910+0,25x$	0,98	0,25	0,62
	11	$y=-11600+0,27x$	1,00	0,27	0,28
	12	$y=-6682+0,15x$	0,92	0,23	0,69
	13	$y=-6354+0,15x$	0,85	0,89	2,07
	14	$y=-9214+0,21x$	0,84	0,44	0,44

APÊNDICE 8. Equação, coeficiente de determinação (R^2), nível de significância (P valor) e erro médio padrão do número de folhas senescentes ao final do ciclo de rebrote de alfafa com diferentes níveis de dormência (FD2, FD5 e FD10) submetidos frequências de desfolhação de 28, 42 e 84 dias por ciclo de rebrote por cinco anos em clima temperado.

Frequência de desfolhação	Rotação	Equação	R^2	P valor	Erro padrão da média
CF 28	1	$y=-4232+0,01x$	0,62	0,69	0,29
	2	$y=-4930+0,12x$	0,93	0,32	0,29
	3	$y=-1203+0,03x$	0,43	0,0111	0,15
		$y=-2255+0,05x$	0,43		
	4	$y=-4122+0,09x$	0,51	0,08	0,44
	6	$y=-4510+0,10x$	0,51	0,73	0,21
	7	$y=-3207+0,07x$	0,72	0,39	0,20
	8	$y=-3376+0,08x$	0,86	0,73	0,15
	9	$y=-2454+0,06x$	0,47	0,96	0,21
	10	$y=-6016+0,14x$	0,81	0,23	0,22
	11	$y=-4239+0,1x$	1	0,03	0,23
		$y=-2877+0,07x$	1		
	13	$y=-1769+0,04x$	1	<0,0001	0,13
		$y=-1965+0,05x$	1		
	14	$y=-1770+0,04x$	0,97	0,54	0,18
	19	$y=-2256+0,05x$	0,93	0,21	0,27
	20	$y=-3034+0,07x$	0,96	0,72	0,23
	21	$y=-2203+0,05x$	0,99	0,67	0,16
	22	$y=-2902+0,07x$	0,98	0,53	0,21
	23	$y=-2694+0,06x$	0,85	0,34	0,34
	26	$y=-3853+0,09x$	0,73	0,40	0,35
	27	$y=-3057+0,07x$	0,88	0,08	0,29
	28	$y=-1841+0,04x$	0,43	0,43	0,18
	29	$y=-1709+0,04x$	0,47	0,15	0,11
	31	$y=-3749+0,09x$	1	0,04	0,15
		$y=-2410+0,05x$	1		
	32	$y=-3561+0,08x$	0,95	0,07	0,11
	37	$y=-5384+0,12x$	0,78	0,75	0,54
	39	$y=-4122+0,09x$	0,89	0,17	0,43
	40	$y=-5308+0,12x$	0,89	0,17	0,43
	41	$y=-3643+0,08x$	0,96	0,20	0,29
	42	$y=-3483+0,08x$	0,85	0,55	0,27
	43	$y=-4690+0,11x$	0,77	0,52	0,40
CF 42	2	$y=-6330+0,15x$	0,80	0,73	0,46
	3	$y=-4231+0,10x$	0,54	0,42	0,32
	4	$y=-3842+0,09x$	0,99	0,43	0,43
	6	$y=-5357+0,12x$	0,81	0,57	0,30
	7	$y=-4824+0,11x$	0,88	0,38	0,41
	8	$y=-5387+0,12x$	0,59	0,94	0,29

CF 84	9	y=-3928+0,09x	1	0,02	0,45
		y=-5685+0,13x	1		
	10	y=-3925+0,09x	0,68	0,88	0,32
	11	y=-3438+0,08x	0,87	0,01	0,31
		y=-6114+0,14x	0,94		
	15	y=-3228+0,07x	0,99	0,44	0,32
	17	y=-1621+0,04x	0,96	<0,0001	0,18
		y=-2238+0,05x	0,98		
	19	y=-3453+0,08x	0,89	0,14	0,34
	20	y=-3656+0,08x	0,93	0,03	0,32
		y=-3053+0,07x	0,99		
	21	y=-5228+0,12x	0,85	0,93	0,24
	22	y=-3601+0,08x	0,92	0,85	0,52
	23	y=-3501+0,08x	0,86	0,13	0,36
	24	y=-7400+0,08x	0,20	0,28	0,28
	27	y=-6028+0,14x	0,93	0,007	0,55
		y=-4437+0,10x	0,98		
	28	y=-1628+0,04x	0,09	0,35	0,63
	29	y=-7294+0,16x	0,90	0,34	0,84
	30	y=-5907+0,13x	0,96	0,74	1,17
	31	y=-4391+0,10x	0,94	0,006	0,55
		y=-5846+0,13x	0,98		
	1	y=-6960+0,16x	0,86	0,17	1,85
	2	y=-4869+0,15x	0,73	0,58	0,35
	3	y=-4902+0,11x	0,88	0,73	2,01
	4	y=-5584+0,14x	0,58	0,98	0,46
	5	y=-6723+1,16x	0,87	0,56	1,46
	8	y=-3836+0,09x	0,84	0,93	0,42
	9	y=-3981+0,09x	0,95	0,58	0,86
	11	y=-3995+0,09x	0,84	0,93	0,61
	12	y=-4110+0,09x	0,83	0,40	0,63
	13	y=-4175+0,09x	0,99	0,59	0,37
	15	y=-2855+0,06x	0,87	0,07	0,75
	16	y=-7083+0,16x	0,78	0,07	0,51
	17	y=-5665+0,13x	0,92	0,18	1,43